



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ
им. Н. Исанова**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б.Н. Ельцина**

Диссертационный совет Д 05.19.597

На правах рукописи
УДК 624.04+ 699.84

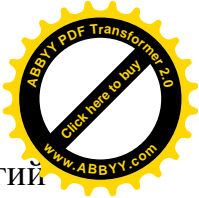
Бегалиев Улугбек Турдалиевич

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Бишкек – 2021



Работа выполнена в Институте строительства и инновационных технологий Международного университета инновационных технологий и на кафедре «Проектирование, возведение зданий и сейсмостойкое строительство» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова.

Научный консультант: **Абдыкалыков Акымбек**
доктор технических наук, профессор, заслуженный работник образования Кыргызской Республики, ректор Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова

Официальные оппоненты: **Ведяков Иван Иванович**
доктор технических наук, профессор, директор Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В.А. Кучеренко Акционерного общества «Научно-исследовательский центр «Строительство»

Исаков Ондасын Абдирашидович
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Архитектура и строительное производство» Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати (Dulaty University)

Раззаков Собиржон Жураевич
доктор технических наук, профессор, декан строительного факультета Наманганского инженерно-строительного института

Ведущая организация: **Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (Satbayev University)**, Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова по адресу: 050013, Республика Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, д.22а

Защита диссертации состоится 8 октября 2021г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.19.597 при Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720020, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Малдыбаева 34, б, ауд.1/101, www.ksucta.kg, тел: 0(312) 548566, факс: 0(312) 543561. Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/b/05--abk-h99-pgv>.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева 34, б и Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44 и на сайте www.ksucta.kg.

Автореферат разослан « 6 » сентября 2021г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Н.Ж. Маданбеков



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. По уровню обеспечения сейсмической безопасности зданий и сооружений строительные нормы и правила Кыргызской Республики отстают более чем на 30 лет от норм развитых стран, т.к. на этапе проектирования не принимаются во внимание следующие основные положения международных норм: учет пиковых ускорений грунтов; критерии регулярности зданий; распространение ускорений землетрясения от линии сейсмогенерирующих разломов; оценка существующих зданий и усиление конструкций зданий с учетом требований сейсмической безопасности. При оценке сейсмостойкости зданий и сооружений не учитываются комплекс работ по: определению и анализу распространения сейсмических усилий на здания с системами активной сейсмозащиты; экспериментально-теоретическому исследованию поведения зданий на сейсмические воздействия с учетом сейсмологической особенности территории Кыргызской Республики.

Актуальной является гармонизация национальных нормативно-технических документов на соответствие международным стандартам, которая будет способствовать развитию строительной науки, экономики и производства нашей страны. Обновлять действующие строительные нормы и правила Кыргызской Республики необходимо осуществлять способом плавного перехода и подготовкой специалистов соответствующего уровня.

Одними из актуальных вопросов рассматриваемой проблемы являются вопросы совершенствования научных основ проектирования и расчетов зданий с применением пиковых ускорений грунтов, изыскания возможностей повышения эксплуатационной пригодности существующих зданий, экспериментальные исследования поведения зданий с и без системы сейсмозащиты на воздействие сейсмических сил. Решение задач, позволяющих повысить сейсмическую безопасность и обеспечить необходимый уровень надежности зданий и сооружений, является актуальной проблемой.

Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами. Работа выполнена в соответствии с Государственной программой «Сейсмическая безопасность в Кыргызской Республике на 2012-2019 годы», утвержденной постановлением Правительства Кыргызской Республики, №523 от 29.08.2011 г.

Целью работы явилось выявление резервов несущей способности и повышение сейсмической безопасности существующих и вновь строящихся зданий и сооружений для условий территории Кыргызской Республики.

Задачи исследований:

– проведение инженерного анализа повреждаемости конструкций, оценка сейсмической уязвимости зданий существующей застройки, расчет сейсмоизолированных зданий;



– выявление особенности распределения сейсмических сил в конструкциях здания без и с системой сейсмоизолируемых резинометаллических опор с учетом сейсмических условий территории Кыргызской Республики;

– разработка методики натуральных экспериментальных исследований и установление динамических характеристик существующей испытательной платформы для испытания конструкций, их узлов и фрагментов зданий в Кыргызской Республике;

– актуализация строительных норм и правил Кыргызской Республики на соответствие основным положениям международных стандартов по повышению сейсмобезопасности существующих и вновь строящихся зданий и сооружений.

Научная новизна работы:

– разработан способ «инженерное лечение», позволяющий усилить аналитически подобранные конструктивные элементы системы по предложенным показателям, характеризующим фактическую C и требуемую D расчетную несущую способность повышая эксплуатационную пригодность и надежность существующих зданий (СН КР 22-01:2018);

– сформулированы экспериментально-теоретические основы оценки сейсмической опасности площадки строительства по пиковым ускорениям грунтов a_g с учетом расстояния до основной линии разлома, критериям регулярностей и определения расчетной сейсмической нагрузки по особенностям конструктивной схемы и ответственности зданий и сооружений для территории Кыргызской Республики (СН КР 20-02:2018 и СН КР 31-02:2018);

– построена математическая модель сейсмостойкости зданий с системами сейсмоизолируемых резинометаллических опор на основе диссипативных и деформирующих свойств тонкослойных резиновых элементов;

– предложены нормативная зависимость определения минимальных и максимальных перемещений при сейсмическом воздействии; эффективный период колебаний здания, зависящее от массы здания и жесткости системы сейсмоизоляции (СНиП КР 20-03:2006);

– экспериментально установлены динамические характеристики, нелинейное поведение и кручение испытательной платформы в условиях Кыргызской Республики, позволяющие выявить закономерности повреждаемости конструкций, их узлов и зданий при сейсмическом воздействии более 0,45g, что соответствует 9-балльной интенсивности по СН КР 20-02:2018;



– установлены в лабораторных условиях время затухания до 10 сек, снижения ускорения до 0,2g и амплитуды колебаний более 22 мм на основании результатов испытания платформы без и с резинометаллическими опорами.

Практическая значимость полученных результатов:

– повышение надежности и эксплуатационной пригодности зданий при усилении аналитически подобранных конструктивных элементов системы с использованием разработанного способа «инженерное лечение»;

– оценка сейсмичности площадки строительства посредством выбора реальных значений пиковых ускорений грунтов a_g и расстояния площадки строительства до основной линии разлома;

– определение расчетной сейсмической нагрузки и проектирование сейсмостойких зданий в соответствии с предложенными критериями регулярностей и коэффициента поведения конструктивного решения зданий и сооружений;

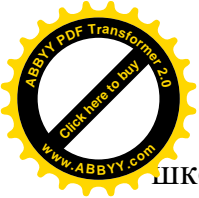
– конструирование сейсмоизолирующих резинометаллических опор по предложенным упрощенным зависимостям определения перемещений, эффективного периода колебаний и разработанной математической модели сейсмоизолируемого здания с учетом диссипативных и деформирующих свойств резиновых элементов;

– установление распределения сейсмических сил в конструкциях, повреждаемости конструкций, их узлов и здания на сейсмическое воздействие более 0,45g по разработанной методике экспериментальных исследований на испытательной платформе с модернизированной вибромашинной;

– актуализированы строительные нормы в области сейсмостойкого строительства для повышения надежности и обеспечения определенного уровня сейсмической безопасности зданий и сооружений.

Экономическая значимость полученных результатов. Разработанные специалистами Института сейсмологии НАН КР и принятые предыдущими нормами 2009 года значения коэффициента сейсмичности 0,7 g для 400 населенных пунктов в соответствии с требованиями новых строительных норм СН КР 20-02:2018 приняты фактические значения ускорений 0,59 g, 0,5 g и 0,49g для 6, 110 и 284 населенных пунктов соответственно. Использование этих данных в расчетах при проектировании зданий приводит к снижению сейсмических нагрузок на реальных строительных площадках строительства.

Применение способа «инженерное лечение» позволяет повысить сейсмостойкость при усилении аналитически подобранных конструктивных элементов здания. Установлено уменьшение стоимости строительно-монтажных работ по усилению конструкций здания способом «инженерного лечения» здания в 2 раза по сравнению с традиционным методом на примере 4



школ и 2 детских садов в гг. Балыкчы и Токтогул. Снижение стоимости усиления способом «инженерного лечения» составило более 15,0 тыс. сом/кв.м.

Строительство зданий с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор, которая учитывает диссипативные и демпфирующие свойства резиновых слоев, позволит снизить сейсмические воздействия на здания и сооружения до 1,5-2 баллов интенсивности землетрясения, что, как известно, для таких зданий, обеспечивает уменьшение себестоимости строительства до 12-15%.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

– способ «инженерное лечение» здания: об усилении аналитически подобранных конструктивных элементов для повышения сейсмостойкости здания;

– экспериментально-теоретические основы оценки сейсмической опасности площадки строительства по пиковым ускорениям грунтов a_g и расстоянию до основной линии сейсмогенерирующего разлома в условиях территории Кыргызской Республики, критериям регулярностей и определения расчетной сейсмической нагрузки по особенностям конструктивной схемы и ответственности зданий и сооружений;

– экспериментально установленные динамические характеристики модернизированной платформы;

– методика проведения натурального испытания здания на модернизированной испытательной платформе, имеющей нелинейное поведение и кручение при сейсмическом воздействии 0,45 g.

Личным вкладом автора являются:

– в предложении способа «инженерное лечение» здания об усилении аналитически подобранных конструктивных элементов для повышения сейсмостойкости здания;

– в обосновании гармонизированных с еврокодами предложений и сформулировании экспериментально-теоретических основ оценки сейсмической опасности площадки строительства по пиковым ускорениям грунтов в условиях территории Кыргызской Республики и определения расчетной сейсмической нагрузки по спектрам упругих реакций, особенностям конструктивной системы и ответственности зданий и сооружений;

– в разработке методики исследования поведения платформы при экспериментальном испытании на динамические нагрузки зданий разной комбинации, в том числе с и без систем гасителей колебаний, позволяющего выявить общие закономерности деформирования и разрушения конструкций. Методика апробирована при натурном испытании двухэтажного здания из легких стальных тонкостенных конструкций на сейсмические воздействия;



– в разработке математической модели здания с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор на основе диссипативных и демпфирующих свойств резиновых слоев.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации доложены на международных, отечественных и региональных конференциях: по сейсмостойкому строительству, сейсмической опасности, оценке сейсмостойкости, сейсмического риска и сейсмической уязвимости (Алматы-2006-2019, Стамбул-2007-2011, Бишкек-2012-2021, Салоники-2018); по распространению упругих и упругопластических волн, газовой и волновой динамике (Бишкек-2009-2017); по инновационным технологиям и передовым решениям (Бишкек-2013-2020); по глобальному планированию урбанизации и повышению торговой привлекательности жилых домов (Сеул-2015); по сейсмостойкому строительству (Бишкек-2016, 2018); Российской научной национальной конференции по сейсмическому микрорайонированию и сейсмостойкому строительству (Сочи-2015, Санкт-Петербург-2019); международной конференции «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии» (Бишкек-2014); международной научно-практической конференции «Вызовы современности: инновационное развитие строительной отрасли, проблемы ее цифровизации и стандартизации», посвященной 65-летию начала подготовки инженеров-строителей и архитекторов ФПИ-КГУСТА и республиканской научно-практической конференции «Современные технологии строительства зданий и сооружений. Проблемы и пути решения» (Бишкек-2019).

Достоверность результатов работы обоснована применением экспериментально-теоретических исследований и вероятностных методов математического моделирования зданий и обработкой результатов исследований на программных комплексах; допущений механики деформируемых твердых тел и теории сейсмостойкости зданий и сооружений; сопоставлениями полученных результатов решения конкретных задач исследования с ранее известными решениями ведущих ученых; удовлетворительным сопоставлением полученных экспериментально установленных результатов с ранее проведенными исследованиями других авторов.

Внедрение результатов исследования. Результаты работы внедрены при разработке строительных норм и проектировании зданий и сооружений Государственным институтом сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования Государственного агентства архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства при Кабинете министров Кыргызской Республики (ГИССИП Госстроя КР), Открытым акционерным обществом «Промпроект», строительной компанией «Каркас.KG» (ООО «Seido Systems»).



Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

Опубликовано 44 научных трудов, из них 2 монографии, 2 патента, 7 публикаций в журналах, индексируемых в базе данных Web of Science и Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения и пяти глав, заключений и рекомендаций, списка использованных источников и приложений. Текстовая часть на 300 страницах и приложения на 24 страницах. В работе содержится 43 таблицы, 137 рисунков, список использованных источников насчитывает 356 наименований, в том числе 174 – на английском языке.

Автор выражает глубокую благодарность за ценные советы и поддержку при выполнении работы научному консультанту, доктору технических наук, профессору А.А. Абдыкалыкову.

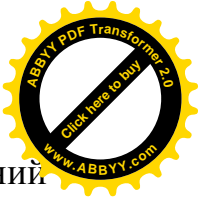
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении приведены необходимые сведения об актуальности темы, цель и задачи, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, практическая и теоретическая значимости, личный вклад автора диссертации. Обзор отдельных результатов исследований. Выявлены решаемые задачи.

В первой главе «Проблемы оценки и повышения сейсмостойкости зданий и сооружений» приведен литературный обзор, в котором изложены последствия произошедших землетрясений, уязвимость зданий существующей застройки, современные представления определения сейсмической опасности района и площадки строительства, расчетных сейсмических нагрузок, методы сейсмоусиления и применения активных систем сейсмоизоляции в странах СНГ и дальнем зарубежье. Рассмотрены вопросы, посвященные теоретическим основам учета пиковых ускорений грунтов, сейсмологических особенностей территории Кыргызской Республики, общие закономерности повреждений и дефектов сейсмостойкости существующих зданий, методы расчета эластомеров для гашения колебаний зданий на сейсмические воздействия. Особенности нормативных требований отдельных стран.

Анализ научно-технической литературы показывает, что сейсмостойкость зданий зависит от корректного выбора сейсмичности площадки строительства, определения расчетной сейсмической нагрузки, квалифицированного проектирования и качественного выполнения строительно-монтажных работ.

Существующая застройка представлена зданиями с различной степенью сейсмостойкости, т.к. возводилась в разное время, и отражает требования существовавших ранее нормативных документов, регламентирующих правила строительства в сейсмических районах и претерпевших существенные изменения.



В исследования по повышению сейсмостойкости зданий и сооружений внесли большой вклад следующие ученые: Я.М. Айзенберг, С.В. Поляков, Т.Ж. Жунусов, Т.Р. Рашидов, Дж. Хаузнер, Н. Ньюмарк, Дж. Келли, Т. Фузуки, А. Вада, С.Николич-Бржев, С. Джейн, М. Фардис, Э. Карвало, Е. Бут, А. Мартелли, К. Фуллер, М. Ердик, А. Ансал, Э. Хачиян, М. Мелкумян, Г.Н. Ашкинадзе, Г.А. Шапиро, И.Е. Ицков, М.У. Ашимбаев, Ш.А. Хакимов, Ю.И. Немчинов, В.А. Ржевский, И.Ф. Ципенюк, И.И. Ведяков, А.Г. Тяпин, Т.А. Белаш, А.М. Уздин, Ю.П. Назаров, А.А. Беспаяев, Т.О. Ормонбеков, В.С. Семенов, М.М. Деглина, М.К. Абдыбалиев, С.К. Уранова, Е.К. Калашников, Л.Л. Солдатова, М.Ч. Апсеметов и др.

В зарубежных странах сейсмическая опасность зоны, в которой располагается объект, оценивается величиной пикового ускорения грунта в долях g (ПГА) при землетрясении, которая обычно устанавливается строительными нормами. Значение ПГА для определенной зоны зависит от близости к источникам землетрясения и прогнозируемой вероятности превышения, например, в США и Канаде используется вероятность превышения 2% через 50 лет. Для сопоставления уровней интенсивности землетрясений с соответствующими значениями ПГА в мире используются разные шкалы: 9-уровневая шкала Рихтера; в Японии – 10-бальная шкала Шиндо (Shindo); 12-бальные в США, в Европе и в странах СНГ модифицированная шкала Меркалли (ММ), Европейская макросейсмическая шкала (EMS) и шкала Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK-64). Последняя шкала лежит в основе всех строительных норм и правил стран СНГ, в том числе Кыргызской Республики. Следует отметить, что шкалы по интенсивности разработаны по результатам обследования последствий землетрясений, произошедших до утверждения шкалы, и относятся к зданиям старой постройки. ПГА для скального грунта не меняется во всем мире. Поэтому в строительных нормах требовалось внести существенные изменения в расчетном определении сейсмичности площадки и сейсмических нагрузок. Пиковые ускорения грунтов для скалы не меняются, и разные шкалы включают свой диапазон значений ПГА.

Например, уровень интенсивности IX по ММ (чуть ниже, чем уровень интенсивности 9 по шкале MSK-64) соответствует значению ПГА не ниже 0,65g. Для сравнения, значение ПГА для расчетного землетрясения в г. Анкоридж, Аляска, составляет 0,4 g (Анкоридж — одно из самых сейсмоопасных мест в США). По прогнозам, в некоторых районах Кыргызской Республики с уровнем интенсивности 9 баллов по шкале MSK-64 могут произойти землетрясения магнитудой не менее 7,5 по шкале Рихтера, которая равна на более чем 0,5g.



В связи с этим значения ПГА и интенсивности землетрясений на новых картах сейсморайонирования Кыргызской Республики 2018 года сильно отличаются от предыдущих разработок сейсмологов и геологов.

На основе анализа научно-технической литературы определена цель и задачи исследований, в основу которых в работе сформулирована **научная гипотеза**. Сущность которой заключается в том, что при учете значений пиковых ускорений грунтов, критериев регулярностей зданий и способа «инженерное лечение» дает уточненную оценку сейсмичности площадки строительства, совершенствованное определение расчетных сейсмических нагрузок и резервов несущей способности конструкций, позволяющие не только повысить сейсмическую безопасность, но и обеспечить необходимый уровень надежности и долговечности зданий и сооружений при сейсмических воздействиях в условиях территории Кыргызской Республики.

Вторая глава «Методы проведения экспериментально-теоретических исследований» диссертации посвящена раскрытию методов экспериментально-теоретических исследований в области сейсмостойкого строительства по оценке сейсмичности площадки строительства и расчетной сейсмической нагрузки, применению способа «инженерного лечения» зданий для сейсмоусиления конструкций, определению распространения усилий в конструкциях сейсмоизолированных зданий на основе модели «грунт-опора-здание», проведения экспериментов на динамические нагрузки. Подробно расписана разработка математической модели здания с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор, исследования вибрационных воздействий на здания с резинометаллическими элементами, динамическое испытание платформы для исследования зданий разных конструктивных решений.

Объектом исследования является здания различных конструктивных систем и их поведение при сейсмических воздействиях. Предметом исследования является экспериментально-теоретические основы определения расчетной сейсмической нагрузки по пиковым ускорениям грунтов.

Определение сейсмичности площадки строительства с учетом референтных значений ПГА в долях g меняет привычный до сегодняшнего времени механизм расчетного обоснования и проектирования сейсмостойкости существующих и новых зданий. Если в разных странах используются вероятностные карты сейсмического районирования, то в Кыргызстане утверждены детерминистские карты. По последним определяются сейсмичность площадки в ускорениях и баллах. Значения горизонтальных пиковых ускорений даны для скальных грунтов типа IA. Для других грунтовых условий применяются соответствующие коэффициенты увеличения значений сейсмических нагрузок в зависимости от механических свойств грунта и распространению сейсмических волн.



Значения горизонтальных ускорений зависит от сейсмогенерирующих разломов, которых на территории Кыргызстана насчитывается более 100. Если раньше сейсмичность определялась в зависимости от укрупнения ускорений в баллах, то предложенная методика позволяет оценить значение ускорений на площадке строительства в зависимости от расстояния прохождения линии активного разлома. Предлагается определять спектры упругих реакций в ускорениях и перемещениях по отличающимся двум разным спектрам для вертикального однокомпонентного и горизонтальных двухкомпонентных сейсмических воздействий.

Учитывая проблемы сейсмической безопасности существующей застройки предлагается способ «инженерное лечение» здания: масштабная оценка уязвимости и сейсмостойкости существующих зданий, выявление конструктивных типов зданий для повышения их сейсмостойкости; экономически эффективное усиление предлагаемым способом (например, усиление напряженных и поврежденных несущих конструкций, установка вертикальных связей, диафрагм жесткости, устройство сейсмоизоляторов и др.); определение распространения сейсмических волн в конструкциях зданий с системами активной сейсмозащиты и без них.

Результаты интегрированной оценки на основе всеобъемлющей визуализации дали возможность представить сейсмическую уязвимость в зависимости от шести типов конструктивных решений ЕМСА (Earthquake Model Central Asia – Модель землетрясения Центральной Азии) и расположений зданий в населенных пунктах (табл. 1). Выбраны два варианта: населенные пункты с более 50,0 тыс. жителями (город) и менее 50,0 тыс. жителями (районный центр). на примере города Бишкек и районного центра в городе Карасуу.

Таблица 1 – Соотношение типологии ЕМСА конструктивных решений зданий существующей застройки в городе и районном центре

Тип ЕМСА	Конструктивное решение здания	Расположение населенного пункта	
		% город	% район
ЕМСА-1	Здания с несущими кирпичными стенами	35%	8%
ЕМСА-2	Здания с монолитными железобетонными стенами	7%	-
ЕМСА-3	Здания из сборных железобетонных конструкций	39%	4%
ЕМСА-4	Здания со стенами из глинистых материалов	15%	77%
ЕМСА-5	Деревянные здания	3%	11%
ЕМСА-6	Здания из металлических конструкций	1%	-

Если считать несейсмостойкими здания с конструктивными типами ЕМСА-1 и 4, то на территории города не менее 50% и районного центра не менее 85% зданий существующей застройки являются несейсмостойкими,

требуют усиления и увеличения срока эксплуатации (см. табл. 1). При этом предлагается определять расчетные значения фактической и требуемой несущих способностей конструкций зданий традиционным нормативным методом и упрощенными выражениями линейного динамического анализа.

Внедрение указанных выше предложений требует определение усилий в конструкциях при сейсмическом воздействии, которые возникают от распределения сейсмических волн в конструкциях, передаваемых, в данном случае, от фундамента к зданию или через сейсмоизоляционную опору, далее надпорной части здания. Сейсмоизоляция здания существующей застройки в зависимости от конструктивной системы возможна без усиления надпорной части здания и является одним из способов инженерного лечения.

При конструировании надпорную часть здания необходимо принять жесткой. Для гибкой конструктивной системы требуется усиление несущих конструкций надпорной части здания при параллельном изменении значения коэффициента поведения, зависящего от конструктивного типа здания существующей застройки.

По созданию математической модели здания с резинометаллическими опорами (РМО) и расчету по программе SAP2000 предложены исследования определенной последовательности, в том числе с учетом демпфирующих и диссипативных свойств РМО, и построение ее модели в программе SAP2000. В модели «грунт-опора-здание» РМО в виде упругой многослойной резинометаллической колонны круглого сечения радиуса R , состоящей из N слоев резины толщиной h , разделенных армирующими слоями металла (рис. 1). Деформируются только резиновые слои, армирующие слои металла являются абсолютно жесткими, и при этом применима линейная теория упругости.

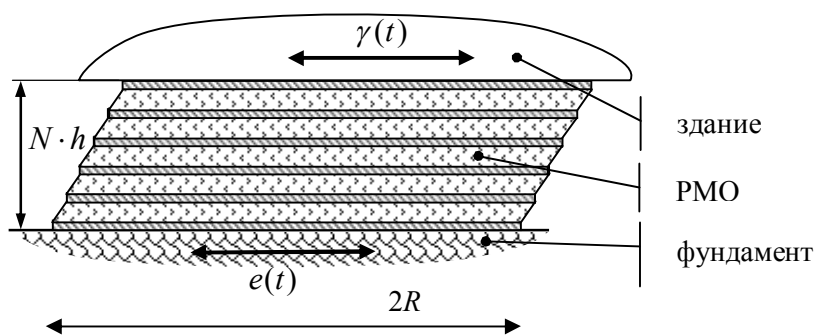


Рисунок 1 – Деформация опоры: R – линейный размер опоры; $e(t)$ – временная зависимость сдвига фундамента в горизонтальной плоскости; $\gamma(t)$ – соответствующее смещение здания под воздействием сейсмической нагрузки; N – число слоев резины в РМО; h – толщина резинового слоя

Надпорная часть здания в математической модели принимается жесткой с известным распределением в конструкциях усилий от сейсмических

воздействий. Построена математическая модель здания с системой сейсмоизоляции, где задана зависимость смещений земной поверхности во времени $e(t)$ и требуется найти смещение $\gamma(t)$ массы M с учетом вязкоупругих свойств резины. Доказано, что горизонтальные жесткости РМО примерно в $\sim 10^3$ раз меньше, чем вертикальная, что позволяет использовать опоры для защиты зданий от поперечных сейсмических воздействий.

При этом выявлена необходимость учета основных параметров резины: величина отношения модуля сдвига к модулю объемного сжатия G/K в пределах $10^{-4} \div 10^{-3}$; величина отношения толщины к поперечному сечению ε составляет несколько процентов; коэффициент Пуассона ν близок к 0,49; величина жесткости C в пределах $0,1 \div 1$.

Обоснование предложенных теоретических гипотез требует проведения экспериментов. Поэтому автором предлагается новая методика проведения испытаний платформы на динамические воздействия.

Динамические испытания платформы ГИССИП Госстроя КР с общим весом 69,0 тонн, построенной 40 лет назад, проводились с помощью вибромашины типа В-2 весом 3 тонны, разработанной с участием автора и являющейся первой за последние 30 лет машиной в Кыргызской Республике для экспериментального исследования сейсмостойкости натуральных зданий и сооружений (рис. 2).

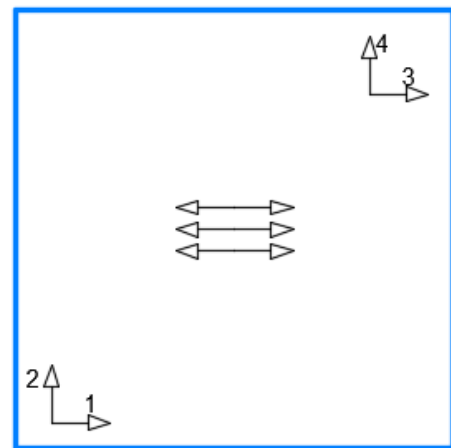
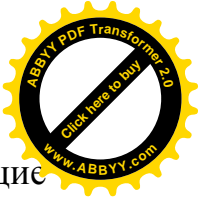


Рисунок 2 – Общий вид мобильной вибромашины и схема расстановки акселерометров на платформе

Вибромашина была жестко укреплена на покрытии платформы таким образом, чтобы равнодействующая возбуждаемых ею сил при испытании действовала несимметричным к горизонтальным осям платформы. Для обеспечения надежной связи с конструкциями объекта рама замоноличивалась бетоном класса по прочности на сжатие В25.

Регистрация инструментальных данных осуществлялась с помощью регистрирующего аппаратного комплекса РС-16 и 8 датчиков-акселерометров.



В зависимости от готовности объекта испытания, регистрирующие датчики устанавливались в двух местах по диагонали. Имеющиеся сейсмодатчики являются двухканальными, записи можно получить по двум направлениям горизонтальной компоненты, а также можно получить деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях одновременно.

Принятая схема расстановки датчиков позволила осуществлять регистрацию на всех этапах проведения динамических воздействий:

- пространственных форм деформирования объекта испытаний;
- амплитуд и перемещений колебаний в направлении интенсивного воздействия вибромашины без и с доборными грузами-дебалансами, навешиваемые на рычаги вибраторов;
- амплитуд и перемещений колебаний с и без устройства РМО в швы между фундаментом и надпорной частью платформы;
- амплитуд и перемещений крутильного колебания платформы при сейсмическом воздействии;
- максимальных амплитуд на соответствие пиковым ускорениям грунтов для скалы согласно шкале, приведенной в СН КР 20-02:2018.

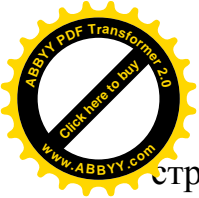
Доказана возможность натурального испытания здания на экспериментальной платформе с учетом референтных значений пиковых ускорений скальных грунтов и сейсмологических особенностей территории КР в пределах ускорений от 0,19-0,45 g.

Третья глава «Разработка экспериментально-теоретической основы расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия» включает обоснование разработанных для условий Кыргызской Республики положения по определению сейсмичности площадки строительства пиковым ускорения грунтов и расчетных сейсмических нагрузок, а также результаты их внедрения в нормативные документы.

Сейсмическая опасность определяется кроме традиционного способа по карте сейсмического микрорайонирования территории КР в горизонтальных ускорениях по формуле

$$a_g = a_{gR} \cdot S(a_{gR}) \cdot S_T, \quad (1)$$

где a_g – значения горизонтальных пиковых ускорений на площадке строительства при ее фактических грунтовых и топографических условиях; a_{gR} – референтные значения горизонтальных пиковых ускорений на рассматриваемой площадке строительства для скальных грунтов типа IA; $S(a_{gR})$ – коэффициент, характеризующий влияние фактических грунтовых условий площадки строительства на интенсивность горизонтальных сейсмических воздействий; S_T – коэффициент, учитывающий топографические эффекты усиления горизонтальных сейсмических воздействий на площадках



строительства, расположенных между основанием и вершиной хребтов или склонов, принимая в основаниях и возвышенностях $S_T = 1,0 \div 1,4$.

Горизонтальное сейсмическое воздействие описывается двумя ортогональными компонентами, считающимися независимыми и характеризующимися одинаковыми спектрами реакций. Для горизонтальных и вертикальных компонент сейсмического воздействия, учитываемых при расчете зданий и сооружений, спектр расчетных реакций $S_d(T)$ определяется с помощью следующих уравнений:

$$0 \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot \frac{2,5}{q}, \quad (2)$$

$$T \geq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right], \quad \text{но не менее } \beta \cdot a_g, \quad (3)$$

где $S_d(T)$ – спектр расчетных реакций, характеризующий горизонтальную или вертикальную компоненты сейсмического воздействия; T_C – максимальное значение периода на постоянном участке графика спектральных ускорений; T – период колебаний линейной системы с одной степенью свободы в горизонтальном или вертикальном направлении; a_g – расчетное горизонтальное или вертикальное ускорение на площадке строительства; β – показатель нижней границы спектра расчетных реакций для горизонтальных компонент, $\beta = 0,2$; q – коэффициент поведения; k – показатель степени.

Значение коэффициента, зависящее от типа грунтовых условий $S(a_{gR})$ для площадок строительства, расположенных в зоне влияния активного разлома (для примера зоны влияния Ыссык-Атинского активного разлома (рис. 3), следует умножать на коэффициент k_{gF} , учитывающий расстояние от площадки строительства до магистральной линии разлома, который определяется с помощью выражения, принятого в СН КР 31-02:2018:

$$1,0 \leq k_{gF} = 1,25 - 0,0002R \leq 1,2. \quad (4)$$

При этом значение коэффициента k_{gF} , учитывающего расстояние от площадки строительства до магистральной линии другого разлома, можно применять, модифицируя предельные значения в зависимости от оцененных величин максимальной моментной магнитуды для каждого типа разлома и его сегментов.

Расчетные сейсмические нагрузки F_{ik} определяются в зависимости от сейсмичности района строительства, типа грунтовых условий по сейсмическим свойствам, сейсмичности площадки строительства, значения пиковых ускорений грунтов, а также особенности конструктивной схемы и ответственности зданий и сооружений.

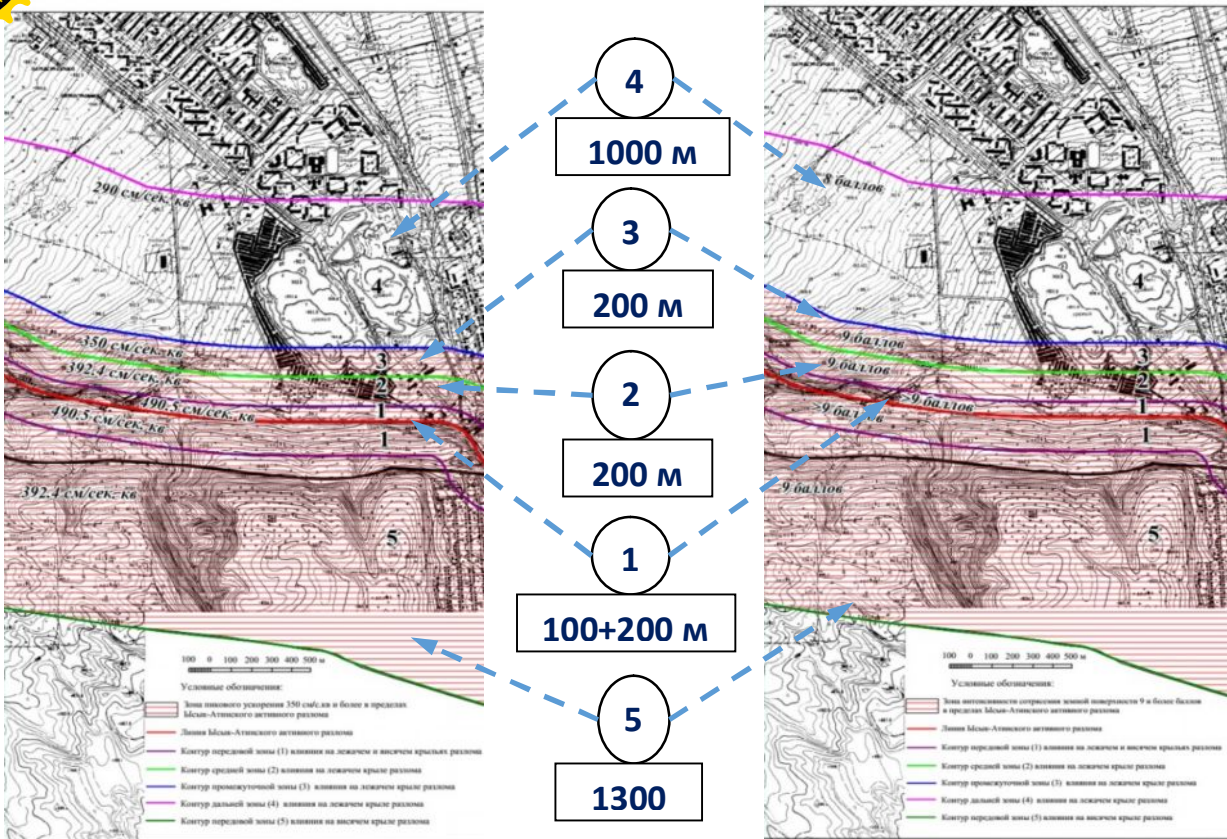


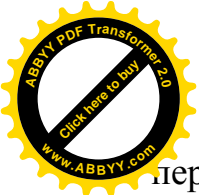
Рисунок 3 – Зоны влияния Ыссык-Атинского активного разлома, в метрах

Каждому сочетанию классов ответственности зданий по назначению и этажности присвоены значения коэффициентов ответственности γ_{Ih} и γ_{Iv} , учитываемые при определении расчетных горизонтальных и вертикальных сейсмических нагрузок соответственно. Значения коэффициентов ответственности для зданий принимаются в зависимости от сочетания классов их ответственности по назначению и этажности.

Конструктивные схемы зданий при проектировании на сейсмические воздействия подразделяются на следующие категории: регулярные, умеренно нерегулярные и чрезмерно нерегулярные в плане и по высоте.

Следствием такого разделения являются соответствующие особенности проектирования зданий по требованиям норм сейсмостойкого строительства. Влияние следствий регулярности конструкции для расчета и проектирования, характеристики регулярности здания в плане и по высоте рассматриваются по отдельности.

Расчет зданий, не удовлетворяющих специальным критериям регулярности, проводится с использованием пространственной модели. При этом расчетное сейсмическое воздействие прилагается вдоль всех значимых горизонтальных направлений и их ортогональных горизонтальных направлений. Для зданий с элементами, воспринимающими нагрузки в двух



перпендикулярных направлениях, эти два направления рассматриваются в качестве основных.

Значения коэффициента поведения q учитываются при определении расчетных горизонтальных сейсмических нагрузок на регулярные по высоте здания и сооружения. Для учета эффектов одновременного действия на здание или сооружение горизонтальных компонент сейсмического воздействия комбинации модальных реакций могут быть: оценена максимальная реакция здания или сооружения на каждую отдельную компоненту сейсмического воздействия; для определения максимальной величины эффекта сейсмического воздействия от двух компонент, следует применить правило комбинирования в соответствии с требованиями строительных норм по сейсмостойкому строительству.

Горизонтальные перекосы этажей зданий ограничиваются для обеспечения безопасности людей и предотвращения разрушений стеновых заполнений, перегородок, витражей и других ненесущих конструктивных и неконструктивных элементов. Величины горизонтальных перекосов этажей d_{rs} должны соответствовать условию

$$d_{rs} \leq \frac{h \cdot \varepsilon}{q}, \quad (5)$$

где d_{rs} – перекося этажа при расчетных сейсмических нагрузках на здание; h – высота этажа; ε – коэффициент, зависящий от вида соединения между ненесущими стеновыми и несущими конструкциями здания, принимается равным 0,020, 0,015 или 0,010.

Для повышения сейсмостойкости существующих зданий автором предлагается способ «инженерное лечение», где коэффициент сейсмической безопасности r_s определяется по формуле:

$$r_s = \frac{C}{D}, \quad (6)$$

где C – показатель, характеризующий фактическую расчетную несущую способность конструктивной системы или её элементов; D – показатель, характеризующий требуемую по действующим нормам расчетную несущую способность рассматриваемой конструктивной системы или её элементов.

В качестве показателей C и D могут приниматься: а) псевдо-поперечные нагрузки; величины поэтажных сейсмических нагрузок на здание; б) величины поперечной силы в основании здания или в уровне рассматриваемого этажа; в) величины усилия от сейсмических нагрузок в сечениях конструкций; г) сопротивление вертикальных несущих конструкций на сдвиг; д) величины деформаций узлов конструкций при сейсмическом воздействии.

Определить значения показателей C и D можно методом спектрального анализа на основании требований действующих норм по сейсмостойкому

строительству и предложенным в диссертации упрощенным формулам методом линейного динамического анализа.

Предложения по усилению и анализ несущей способности здания приводятся далее на примере усиления конструкций здания из сборного железобетонного каркаса серии ИИС-04. Двухэтажное здание с размерами в плане 12,0х33,0 м, высота 1 этажа – 4,10 м, 2 этажа – 3,3 м. Расчетный анализ конструктивной системы сборного каркаса показал сильную сейсмическую уязвимость. Предлагается заменить самонесущие кирпичные стены на легкие конструкции для уменьшения сейсмической нагрузки.

Сейсмоусиление сборного железобетонного каркаса возможно возведением вертикальной железобетонной диафрагмы для повышения общей несущей способности здания и уменьшения горизонтального перегиба этажей (рис. 4).

Вместо железобетонной диафрагмы, в рамках способа «инженерное лечение» для усиления сборного железобетонного каркаса допускается устройство вертикальных стальных связей жесткости. При этом производится двойной анализ до и после усиления. Определяется фактическая расчетная несущая способность C и требуемая расчетная несущая способность D .

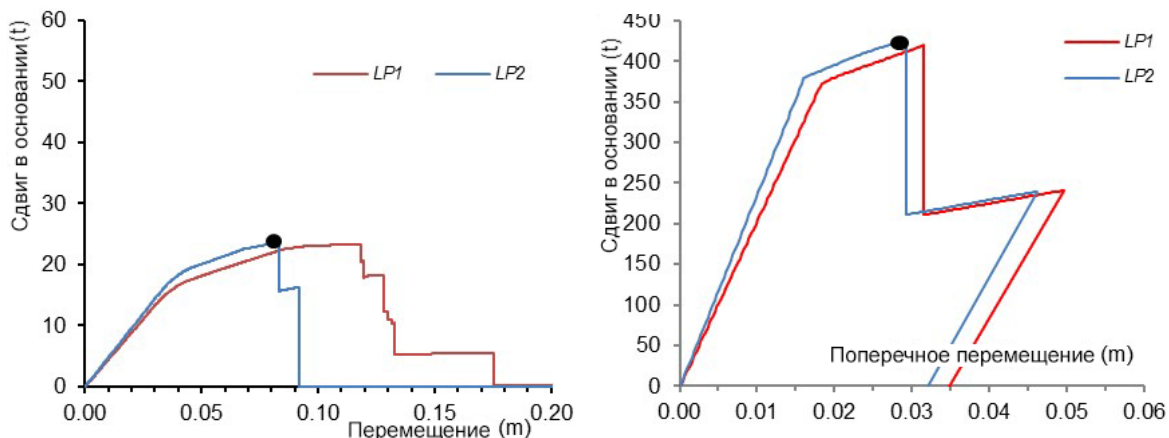


Рисунок 4 – Кривая несущей способности поперечной рамы существующего здания серии ИИС-04 до усиления (LP2: максимальная сила 23,65 т и перемещение 83,4 мм) и после усиления вертикальными диагональными стальными связями жесткости (LP2: максимальная сила 425,6 т и перемещение 29 мм)

Устройство новых стеновых диафрагм жесткости увеличит значение коэффициента поведения по сравнению со значением, приведенном в СН КР 20-02:2018. Например, каркасное здание становится рамно-связевой конструктивной системой, или кирпичное здание становится комплексной и значение коэффициента поведения изменится с 3,0 на 4,0 или 3,3 соответственно.

В четвертой главе «Поведение здания на основе моделирования динамических характеристик конструкций» приведены результаты исследований поведения и определение динамических характеристик зданий.

Разрабатывались модели зданий разных конструктивных схем. Для этого производились записи собственных колебаний зданий в течение одного месяца, днем и ночью с перерывами для переустановки измерительных приборов на здания существующей застройки по г.Бишкек.

Собственные колебания были зафиксированы с использованием сейсмических станций в пяти выбранных зданиях разного конструктивного решения: железобетонный каркас с навесными панелями; крупнопанельные здания серии 105 и 464; железобетонный каркас с диафрагмами жесткости; каркасное здание с кирпичным заполнением. Здания расположены в разных частях города Бишкек. Каждая станция осуществляла запись 24-битной DSS-CUBE3 дигитайзером, подключенным к трехкомпонентному сейсмоприёмнику 4,5 Гц. Частота дискретизации была установлена на 400 Гц, обеспечена связь со встроенной GPS-системой. Так как не всегда были доступны сигналы антенны GPS внутри зданий, синхронизация времени проводилась до и после записей.

Количество используемых датчиков и время записи варьировались в зависимости от расстояния здания до местоположения регистрирующей аппаратуры. По возможности были установлены по три датчика на каждом выбранном этаже и один – снаружи здания.

Спектры показывали две горизонтальные и вертикальные составляющие движения вдоль главной оси здания. Спектры проанализированы (рис. 5) по записям датчиков, установленных на колоннах по одной вертикальной линии, на разных частотных диапазонах (1-2 Гц; 3-5 Гц; 6-9 Гц), которые включают в себя основные резонансные пики (в прямом и обратном режимах).

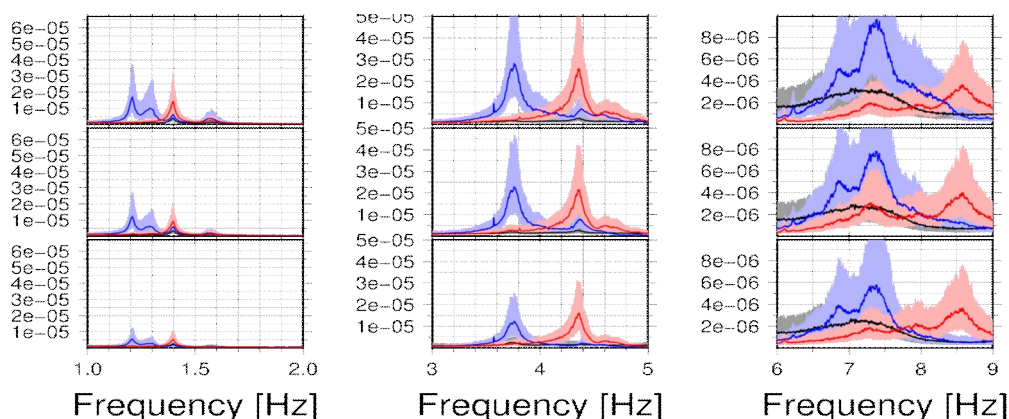


Рисунок 5 – Фрагмент записей спектров по датчикам, установленным по вертикали, с учетом диапазонов частот (1-2 Гц; 3-5 Гц; 6-9 Гц)

Для интерпретации спектров использовался оперативный метод разложения в частотной области FDD. Основные частоты в резонансах

Определены сингулярно для первых шести форм колебаний (первый и второй изгибающие и крутящая формы). 4, 5 и 6 формы колебаний показаны на рис. 6.

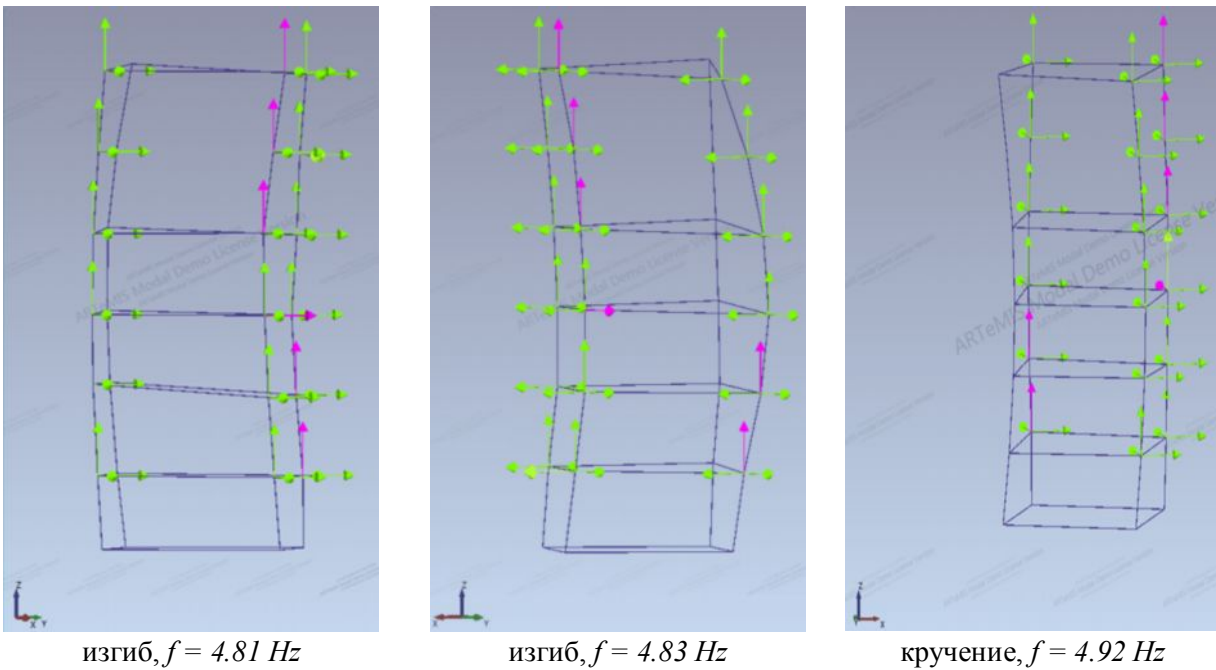


Рисунок 6 – Формы колебаний здания

Первые записи и результаты модального анализа выполнялись для здания из монолитного железобетонного каркаса с диафрагмами жесткости. Датчики устанавливались через этаж, в связи с чем составлена условная схема рамного каркаса с указанием точек расположения датчиков и их показания деформаций (желтым и красным цветами).

По модальному анализу Р. Бринкера вычислены собственные частоты ω_i и формы колебаний Φ_i в качестве основных динамических параметров здания. С математической точки зрения, этот шаг определяет обобщенную задачу на собственные значения для матрицы масс M и матрицы жесткостей K с $(n \times n)$ диагональной матрицей квадратов частот и $(N \times n)$ матрица формы колебаний:

$$(K - \Omega \cdot M) \cdot \Phi = 0, \tag{7}$$

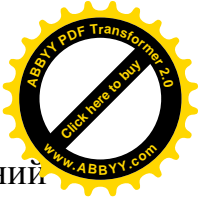
$$\Omega = \text{diag}\{\omega_i^2\}, i = 1, \dots, n \tag{8}$$

$$\Phi = \{\Phi_1, \dots, \Phi_n\}. \tag{9}$$

Здесь n – количество форм и N – общее число степеней свободы. Для сравнения с записями, круговые частоты можно представить в виде

$$f = \frac{\omega}{2\pi} [\text{Hz}]. \tag{10}$$

Показаны расчетные формы колебаний с соответствующими собственными частотами. Низкие частоты соответствуют изгибу и режиму крутильных колебаний. Для симметричной схемы существуют два ортогональных изгибных колебания с той же частотой. Симметрия нарушается расположением лестницы и внутренних стен из каменной кладки.



Результаты анализа показали, что по записям собственных колебаний можно интерпретировать поведение здания и распространение волн на основе компьютерного моделирования здания, принимая во внимание, что при частоте 8,3 Гц возникает напряжение в нижних этажах, и при частоте 2,24 Гц заметны крутящие усилия в здании каркасно-стеновой конструктивной схемы. Такой анализ возможен для обычных зданий.

Для здания с сейсмоизоляционными РМО необходимо решить ряд других задач перед определением усилий в конструкциях. Как было указано в модели с одной степенью свободы, в первом приближении, то есть без учета деформаций конструкции здания, смещение здания $\gamma(t)$ под воздействием сейсмической нагрузки определяется уравнением:

$$\ddot{\gamma}(t) + \omega_0^2 \cdot \left[(\gamma(t) - e(t)) - \int_{-\infty}^t R(t-\tau) \cdot (\gamma(\tau) - e(\tau)) d\tau \right] = 0, \quad (11)$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{SG_0}{N \cdot h \cdot M}}$ - характерная частота системы, $e(t)$ - заданная временная зависимость смещений грунта.

Данное уравнение может быть решено численно методом интегральных преобразований. Фурье-образ уравнения (11) имеет следующий вид:

$$-\omega^2 \gamma(\omega) + \omega_0^2 \cdot [1 - R(\omega)] \cdot (\gamma(\omega) - e(\omega)) = 0, \quad (12)$$

где $\gamma(\omega)$, $e(\omega)$, $R(\omega)$ - Фурье-образы $\gamma(t)$, $e(t)$, $R(t)$. Разрешая данное алгебраическое равенство относительно $\gamma(\omega)$, получаем

$$\gamma(\omega) = e(\omega) \cdot \frac{(1 - R(\omega))}{(1 - R(\omega)) - (\omega/\omega_0)^2}, \quad \text{где } R(\omega) = \frac{1}{(i\omega)^{(1+\alpha)} + \beta} \text{ или}$$

$$\gamma(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} d\omega \cdot \exp(i\omega t) \cdot e(\omega) \cdot \frac{1 - R(\omega)}{1 - R(\omega) - (\omega/\omega_0)^2}. \quad (13)$$

Данное выражение позволяет вычислить в квадратурах зависимость $\gamma(t)$, если известны записи спектров по времени смещений почвы $e(\omega)$.

Для реальных землетрясений смещение $e(t)$ представляет собой достаточно сложную, сильно хаотизированную функцию времени со столь же сложным частотным спектром.

Решение задач по анализу распространения волн в конструкциях надпорной части здания начали с построения модели РМО. Программа SAP-2000 позволила при помощи метода конечных элементов рассчитывать сейсмическое воздействие на здание при наличии демпфирующих элементов в конструкции, которое можно смоделировать при помощи использования элементов Nlink element типа Damper element в модели здания (рис. 7).

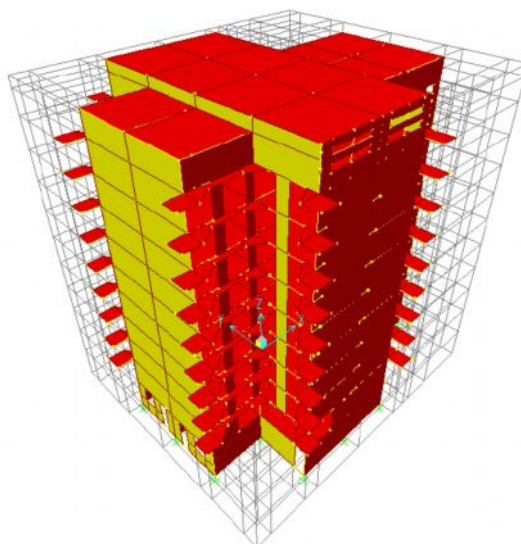


Рисунок 7 – Общий вид модели здания с РМО, расположенные под колоннами между верхней и нижней частями фундаментной плиты

Данный тип демпфирующего элемента в рамках конечно-элементного подхода определяет зависимость между приложенными силами и смещениями посредством вязкоупругой модели Максвелла для каждой степени свободы. Зависимость между приложенной силой - f и относительным смещением - d задается следующим образом:

$$f_1(t) = c \cdot \dot{d}_a(t) \quad f_2(t) = c \cdot d_s(t). \quad (14)$$

Модель РМО скомбинирована средствами SAP-2000 в виде параллельно соединенных элементов данного типа. В общем случае, количество используемых демпфирующих элементов может варьироваться.

Выбранный метод построения модели РМО средствами SAP-2000 в виде параллельно соединенных элементов Максвелла обладает следующим изъяном: он не учитывает прочность резины при статических нагрузках. Действительно, если выбрать относительное смещение узлов $d(t)$ вида

$$d(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ d^* = const, & t > 0 \end{cases} \quad (15)$$

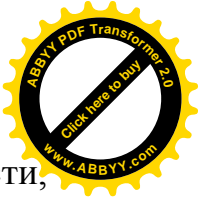
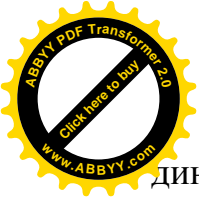
поскольку для ядра релаксации $K(t)$ имеем, что

$$\left[1 - \int_0^{\infty} d\tau \cdot K(\tau) \right] = 0. \quad (16)$$

В то же время, аналитическая модель РМО обладает статическим модулем жесткости, не равным нулю, так как $f(t)|_{t \rightarrow \infty} = C_{\infty} \cdot d^*$, где

$$C_{\infty} = C \cdot \left[1 - \int_0^{\infty} d\tau \cdot R(\tau) \right] \quad (17)$$

и $C_{\infty} \neq 0$. Следовательно, построенная в SAP-2000 модель РМО не может быть использована в статических расчетах, но поскольку нас интересует



динамическое поведение конструкции при воздействии конечной длительности, то на промежутках времени меньших максимального периода релаксации, отсутствием конечной статической упругости у модели, составленной из ячеек Максвелла, можно пренебречь.

Проводился расчет поведения РМО под воздействием приложенных напряжений. Оценка точности приближенной модели РМО может быть сделана на основе рассмотренной выше модели с одной степенью свободы. В этом случае можно аналитически рассчитать смещение массы M и сравнить его с расчетом, выполненным в программе SAP-2000, для предварительно построенной модели РМО. В качестве примера рассмотрим массу $M=10^6$ кг, которая изолирована от поверхности земли РМО с суммарной толщиной резинового слоя $N \cdot h=0.1$ м и площадью поверхности $S=0.25$ м², в качестве наполнителя опоры рассматривалась резина с параметрами:

$$G_0 = 1,76 \cdot 10^2 \text{ т/м}^2, G_\infty = 0,74 \cdot 10^2 \text{ т/м}^2, \alpha = -0.6, \beta = 1.062, \quad (18)$$

где G_0 - мгновенный модуль жесткости; G_∞ - статический модуль жесткости; параметры α, β - описывают реологические свойства резины.

Полагается, что смещение поверхности фундамента $e(t)$ задается следующей зависимостью:

$$e(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ t^3 e^{-t} \cdot \cos(t), & t > 0 \end{cases} \quad (19)$$

Тогда смещение массы M для аналитической модели РМО определяется следующей задачей Коши

$$\begin{cases} M \cdot \ddot{\gamma}(t) = -\left(\frac{S \cdot G_0}{N \cdot h}\right) \cdot \left[(\gamma(t) - e(t)) - \int_0^t d\tau \cdot (\gamma(\tau) - e(\tau)) \cdot R(t-\tau) \right], \\ e(t) = t^3 e^{-t} \cdot \cos(t), \quad t > 0, \quad \gamma(0) = 0, \quad \dot{\gamma}(0) = 0 \end{cases} \quad (20)$$

где $\left(\frac{S \cdot G_0}{N \cdot h}\right)$ - «мгновенная» жесткость РМО на сдвиг, $\gamma(t)$ - смещение массы M .

Были найдены следующие параметры $\{\alpha_i, p_i\}$ для модели РМО, состоящей из трех демпфирующих элементов:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 0.037628, & \alpha_2 &= 1.83345, & \alpha_3 &= 25.4101, \\ p_1 &= 0.471758, & p_2 &= 0.288093, & p_3 &= 0.24015. \end{aligned} \quad (21)$$

При пересчете параметров $\{\alpha_i, p_i\}$ в параметры демпфирующих элементов $\{k_i, c_i\}$ были получены следующие их значения:

$$\begin{aligned} k_1 &= 2.07 \cdot 10^2 \text{ м/м}, & k_2 &= 1.27 \cdot 10^2 \text{ м/м}, & k_3 &= 1.06 \cdot 10^2 \text{ м/м}, \\ c_1 &= 55.16 \cdot 10^2 \text{ м/м}, & c_2 &= 0.69 \cdot 10^2 \text{ м/м}, & c_3 &= 0.041 \cdot 10^2 \text{ м/м}. \end{aligned} \quad (22)$$

Они были исходными данными для модели РМО в программе SAP-2000 и дальнейшего расчета зависимости $\gamma(t)$ при помощи шифрования в SAP-2000. Результат расчета представлен на рис. 8, где построен график зависимости $\gamma(t)$,

полученной в результате решения задачи и рассчитанной в программе SAP-2000.

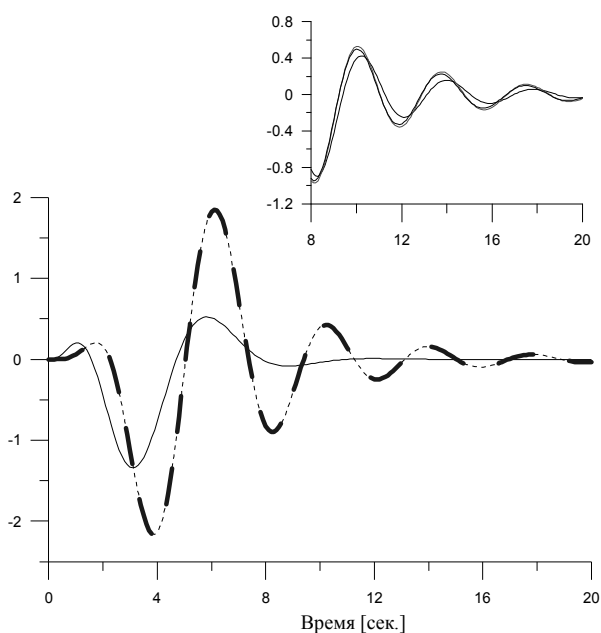


Рисунок 8 – Зависимость смещения массы M от времени для модели с одной степенью свободы $\gamma(t)$: — — решение задачи (20); результат расчета в SAP-2000 с моделью РМО; — смещение поверхности фундамента $e(t)$

Как видно из рис. 8, расчет по SAP-2000, практически не отличается от аналитического решения. Для оценки точности модели РМО выполнены расчеты с различным количеством демпфирующих элементов. В верхней части рис. 8 приведены результаты расчетов для трех, четырех и пяти демпфирующих элементов. В области наибольших отклонений ($t < 9$ с) результаты для рассмотренных вариантов практически совпадают. При больших значениях t различие не превышает нескольких процентов, а амплитуда колебаний в этой области становится достаточно малой.

Удовлетворительное совпадение результатов расчета и моделирования указывает на адекватность модели РМО, построенной в программе SAP-2000, при этом с достаточной точностью можно ограничиться моделью, состоящей из трех демпфирующих элементов.

Использованный алгоритм аппроксимации реологических свойств резины не является единственно возможным. В некоторых случаях более удобно аппроксимировать свойства резины в частотном представлении. Автором рассмотрена аппроксимация в частотном представлении на примере резины марки «28Э». Результаты аппроксимации реологических свойств резины в рамках предложенных подходов показывают, что с достаточной точностью свойства резины могут быть описаны простой моделью демпфирующего элемента, составленного из небольшого количества ячеек Максвелла. В

настоящих расчетах были использованы модели демпфирующих элементов, состоящие из трех ячеек Максвелла, что обеспечивало достаточную точность.

Предложенная автором модель РМО в программе SAP-2000 позволяет промоделировать воздействие сильного землетрясения на сейсмоизолированное здание. Для демонстрации действия системы сейсмозащиты были проведены расчеты воздействия типичного для Центральной Азии сильного землетрясения. Для этого была смоделирована система сейсмической защиты, состоящая из 24 РМО. В соответствии с конструкцией здания опоры располагались между фундаментом и основными несущими колоннами. В качестве элементов системы сейсмической защиты здания были выбраны РМО круглого сечения.

Расчет по программе SAP-2000 показывает, что колебательные характеристики модели сейсмоизолированного здания существенно отличаются от модели без РМО. Периоды собственных колебаний модели с элементами сейсмической защиты приведены в первой строке в табл. 2.

Таблица 2 – Периоды собственных колебаний здания с РМО

№	1	2	3	4	5	6
t [с]	1.99	1.98	1.83	0.27	0.26	0.16
t _{v3} [с]	0.460	0.423	0.280	0.144	0.125	0.112

Они существенно отличаются от периодов собственных колебаний модели без опор (вторая строка). Такое же существенное изменение претерпевают формы собственных колебаний. Формы собственных колебаний модели с РМО соответствуют движениям здания, изолированного от движений фундамента.

Точно так же, поведение моделей зданий с РМО и без них существенно различное. На рис. 9 приведены временные зависимости амплитуд ускорений для одного и того же узла обеих моделей, расположенного на крыше здания.

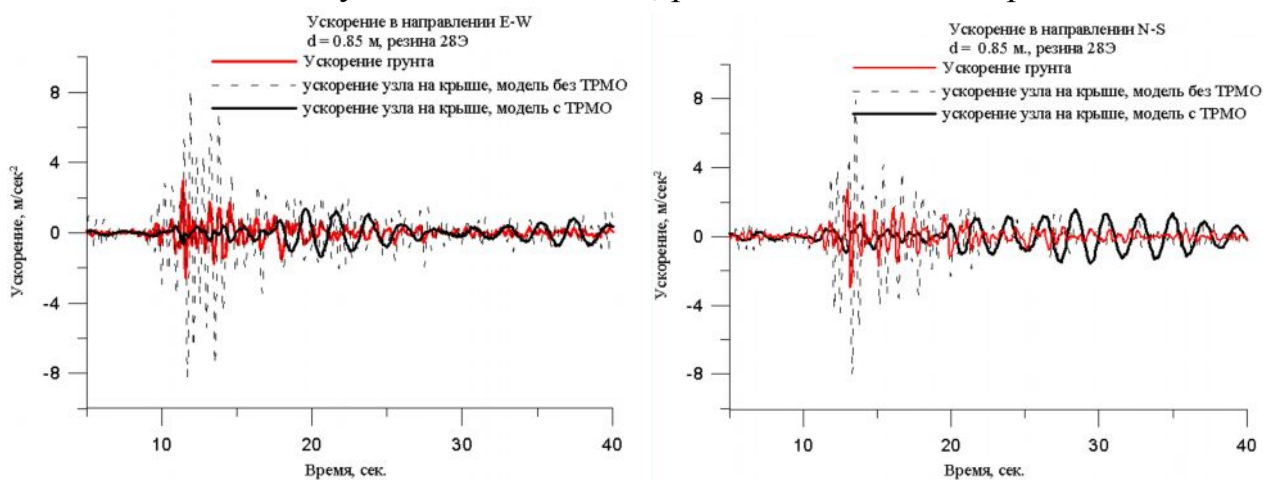


Рисунок 9 – Временные зависимости ускорений в направлениях В-З и С-Ю

В случае здания без сейсмозащиты происходит увеличение ускорений в ~ 3 раза, а для здания с РМО ускорения заметно уменьшаются в ~ 2 раза. Так, если максимальная величина ускорения грунта по оси С-Ю составляет ~ 3 м/сек², то для здания без РМО максимальная величина ускорения на крыше здания составляет $\sim 8,5$ м/сек², а для здания с РМО $\sim 1,6$ м/сек².

Переходим к анализу распределения усилий, т.е. напряженного состояния элементов здания под воздействием сейсмических нагрузок. Важной характеристикой эффективности системы сейсмозащиты является степень ослабления напряжений в элементах конструкции здания, возникающих при землетрясениях. На рис. 10 приведены зависимости продольной силы и изгибающего момента в наиболее нагруженных элементах конструкции для двух моделей здания с и без РМО.

Как видно из приведенных результатов, система защиты обеспечивает значительное ослабление напряжений. Так, величина продольной силы уменьшается более чем в 5 раз, а величина изгибающего момента – в 4 раза. Отметим, что напряжения, возникающие в здании без защиты, являются близкими к критическим. Для защищенного здания нагрузки также достаточно велики, но не превышают допустимых нормами СНиП КР 20-02:2006.

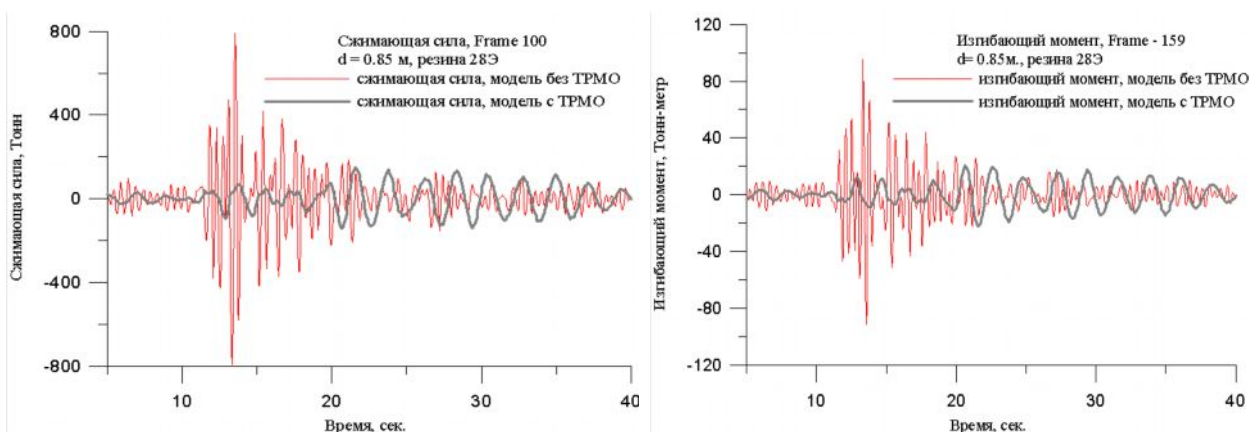


Рисунок 10 – Временные зависимости продольной силы для Frame 100 и временные зависимости изгибающего момента для Frame 159

Анализ приведенных результатов для ускорений и напряжений свидетельствует об эффективности сейсмозащиты. Однако, здание продолжает совершать колебания с заметной амплитудой и после действия наиболее интенсивных толчков грунта. В связи с чем учитываются демпфирующие и диссипативные свойства резинового слоя сейсмоизолирующей опоры.

Основными параметрами системы сейсмоизоляции являются: величины массы и моментов инерции, коэффициенты жесткости и демпфирования систем сейсмоизоляции. При выборе значений основных параметров необходимо, чтобы динамические нагрузки, передающиеся на несущие конструкции, были

снижены до уровня, при котором амплитуды колебаний конструкций не превысят значений, допускаемых требованиями СН КР 20-02:2018.

При проектировании систем сейсмоизоляции предусматривается расположение сейсмоизоляторов с учетом влияния на частоты собственных колебаний изолируемого здания или сооружения. Удаление сейсмоизоляторов в любом направлении от центра масс изолируемого здания или сооружения повышает, а приближение их к центру масс понижает эти частоты.

Расчет зданий с системами сейсмоизоляции можно выполнить на сейсмическое воздействие по временному разложению с использованием оцифрованных записей землетрясений расчетной интенсивности.

В пятой главе «Экспериментально-теоретические исследования здания и испытательной платформы на сейсмические воздействия» приведены результаты экспериментальных исследований зданий в лаборатории и на испытательной платформе.

Поведение надпорной части макета здания с РМО при воздействии вибрации изучалось на лабораторном вибростенде КГТУ им. И. Раззакова (рис. 11, а). Частота и амплитуда колебаний имитировались при различных оборотах двигателей. Было установлено 6 датчиков на разных уровнях: на столешнице; на 3, 6 и 9 уровнях перекрытий; на вертикальных элементах 2 и 5 этажей.

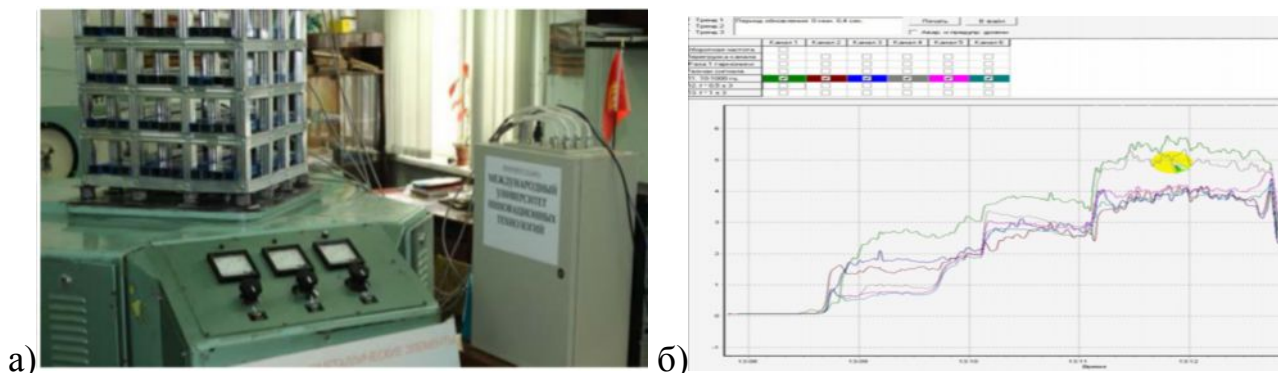


Рисунок 11 – Общий вид макета здания на вибростенде с пультом управления и регистрирующего модуля СТД 2060 (а) и Вибрация по осям X-Y и по оси X, частота на вибростенде 35 Гц (б)

Установленное на компьютере программное обеспечение Vibroscope позволило получить сигнал от преобразователей вибраций. Записи колебаний в реальном времени осуществлялись по двухкомпонентным в осях X-Y, Y-Z, X-Z и однокомпонентным направлениям по осям X и Y. По некоторым из записей в осях X-Y и по X (рис. 11, б) можно сделать вывод о смещениях этажей.

Перемещения на уровне столешницы и верхних этажей отличались в зависимости от силы воздействия. Распределение волны от вибрационных воздействий равномерно передавалось на надпорную часть и смещения 3, 6 и 9 уровней составляли в пределах 2-3 мм из-за жесткой конструктивной системы

макета здания. Записи колебаний показали, что эластомерные свойства РМО снижают колебания на 0,15 g, что соответствует интенсивности в 1-2 балла.

Проведенные исследования показывают адекватность математической модели, где распределение усилий в конструкциях снижается на ускорения, равное 0,12-0,23 g. Предложенные уравнения расчета критических перемещений и периодов колебаний сейсмоизолирующих элементов и распространение усилий колебаний на надпорную часть здания соответствуют горизонтальному перекосу этажей.

Для масштабных исследований и практического применения РМО в виде активной системы сейсмоизоляции требовались дополнительные испытания.

После введения новых положений в строительные нормы по учету ПГА последовала необходимость проведения испытаний, соответствующих ускорениям и для сравнения с нормами по сейсмостойкому строительству.

Проведено испытание платформы ГИССИП Госстроя КР на динамические нагрузки в пяти этапах на:

1. Поступательное интенсивное воздействие вибромашины без грузов-дебалансов;
2. Поступательное интенсивное воздействие вибромашины с 6 грузами-дебалансами на каждый рычаг весом 0,46т;
3. Интенсивное воздействие вибромашины с полным загрузением грузами-дебалансами с общим весом 1,23т;
4. Интенсивное воздействие вибромашины с полным загрузением на максимальное ускорение (рис. 12);
5. Интенсивное воздействие вибромашины на платформу с РМО.

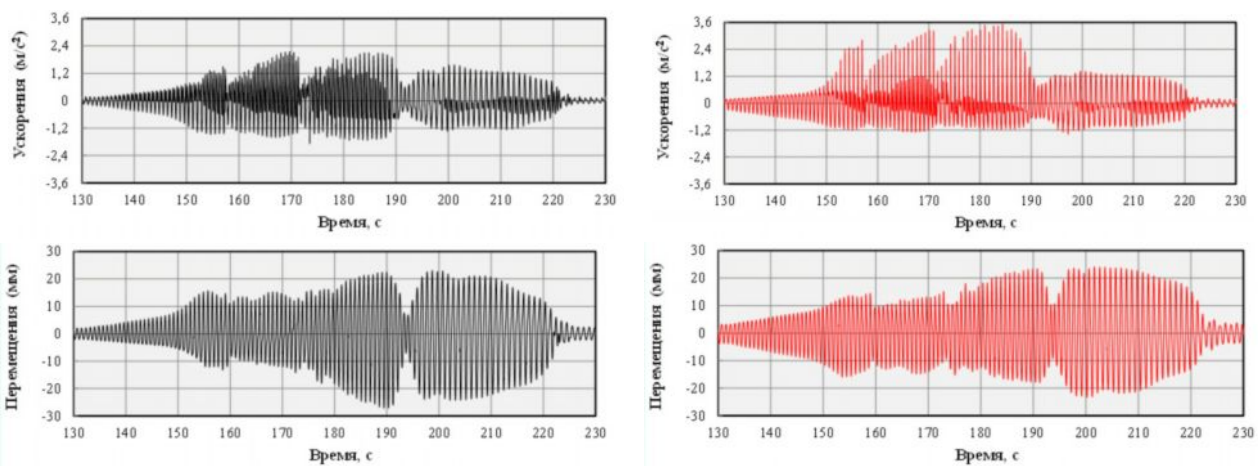


Рисунок 12 – Инструментальные записи ускорений и перемещений колебаний платформы вдоль и поперек оси вибромашины с полным загрузением, полученные на 4 этапе испытаний, показания датчиков на 1, 2, 3 и 4

Каждый этап испытаний заключался в двукратном плавном прохождении через резонансы: вначале путем увеличения частоты вращения дебалансов для

записи прямого резонанса, а затем – уменьшением частоты вращения дебалансов для записи обратного резонанса.

Железобетонная испытательная платформа опирается с четырех сторон на шаровые опоры и имеет зазоры между фундаментной и надопорной частью. Вибромашина В-2 жестко установлена на покрытии платформы.

С целью поиска влияния РМО на поведение платформы в процессе вибрационных воздействий вибромашинной с полным нагружением были построены эпюры ее крутильного поведения в определенное время в разном диапазоне, в том числе 152-154 с, 187-188,3 с.

Эпюры записей величин ускорений и перемещений, полученные датчиками 1 и 2 в диапазоне времени 152,7-153,7 с, а также зеркальные показания датчиков 3 и 4 в диапазоне времени 153,3-154,2 с показывают поведение платформы равномерным смещением и знакопеременное воздействие вибромашинной.

Сейсмическое воздействие вибромашинной передает крутящие силы платформе с максимальным смещением на 27 мм, а также максимальным ускорением на 0,36 g (рис. 13).

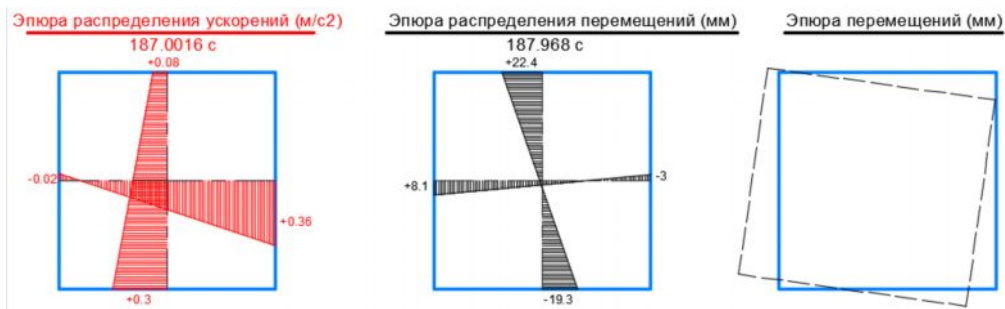


Рисунок 13 – Эпюры распределения ускорений (m/s^2) и перемещений (мм) платформы на 4 этапе испытаний при периодах колебаний 0.85 с платформы с полным нагружением, без РМО, показания в период времени 187,0-187,9 с

Сравнение полученных чисел с данными «Шкалы соответствия интенсивности землетрясения в баллах и пиковых ускорениях в скальных грунтах» по СН КР 20-02:2018 доказало, что диапазону значений равной 0,2-0,4g соответствует интенсивности 8 баллов. Таким образом установлено, что платформа при полном нагружении вибромашинной может доказать крутильные и крутильно-поступательные колебания в плане, что охарактеризованы зарегистрированными величинами ускорений, соответствующими воздействиям реальных сейсмических сил.

В соответствии с требованиями норм по сейсмостойкому строительству учет кручения от объемно-планировочного решения и кручения второго порядка должны осуществляться при расчете на сейсмические воздействия зданий и сооружений.



Настоящим экспериментальным исследованием на 4 этапе установлена возможность проведения испытаний на кручение с максимальным ускорением более 0,36 g равных 8-бальной интенсивности, и перемещений более 27 мм, приравненных минимальному пределу антисейсмического шва, установленных в строительных нормах 2018 года. До настоящего времени экспериментальные исследования на кручение были затруднительными в условиях Кыргызстана. Автором диссертации решен данный вопрос и реализован на практике.

На 5 этапе испытаний в зазор между фундаментной и надопорной частями платформы установлены РМО из резины марки 3467, изготовленной в цехе 2456 по ул. Сыдыгалиева г. Бишкек.

Датчики записи ускорений и перемещений под воздействием вибромашины с полным нагружением и гасителями колебаний в виде РМО зафиксировали меньшие показания чем на объекте без гасителей колебаний.

Результаты записей показывают снижение ускорений на 0,07 g в одном направлении и 0,13 g в другом. Перемещение вместо максимального 27 мм стало максимум 6,8 мм. Записи доказывают снижение сейсмических сил на надопорную часть здания, но в то же время эксперименты показывают диссипацию энергии в РМО. Диссипативные свойства резинового слоя энергии учтены при разработке математической модели «основание-опора-здание».

Сравнительные величины ускорений и перемещений, зарегистрированных по записям колебаний платформы с и без РМО, показывают гашение колебаний платформы с эластомерами (табл. 3).

Таблица 3 – Сравнительные величины ускорений и перемещений платформы

№ датчиков	Направление объекта	Величины ускорений (g), м/с ²	Величины перемещений (p), мм
1	Продольное	0.21 - 0.31 = -0,1	23.1 - 7.6 = 15.5
		0.19 - 0.31 = -0.12	27.1 - 7.1 = 20.0
2	Поперечное	0.19 - 0.13 = 0.06	10.6 - 2.2 = 8.4
		0.08 - 0.14 = -0.06	11.6 - 2.2 = 9.4
3	Продольное	0.35 - 0.32 = 0.03	23.4 - 8.9 = 14.5
		0.13 - 0.07 = 0.06	24.1 - 8.2 = 15.9
4	Поперечное	0.45 - 0.21 = 0.24	10.0 - 2.9 = 7.1
		0.14 - 0.14 = 0.00	11.0 - 2.6 = 8.4

Анализ результатов испытаний, с детально приведенными записями ускорений и перемещений, свидетельствует о создании новых возможностей экспериментальных исследований в Кыргызской Республике.

Результаты экспериментальных исследований позволили установить, что при интенсивных динамических нагрузках объект испытаний работал как нелинейная система, обусловленный нелинейным деформированием шаровых опор и установкой вибромашины с отклонением от параллельной зависимости

геометрических параметров платформы. Поведение платформы с учетом передачи усилий через шаровые опоры нужно исследовать в последующих работах, поскольку эти задачи не ставились для данной работы.

Для представления о поведении платформы в процессе вибрационных воздействий построены пространственные формы ее деформирования во времени. Построение горизонтальных форм деформирования объекта осуществлялось с помощью специальной программы, в которой инструментальные цифровые записи перемещений характерных точек объекта задавались в качестве исходных данных (рис. 14).

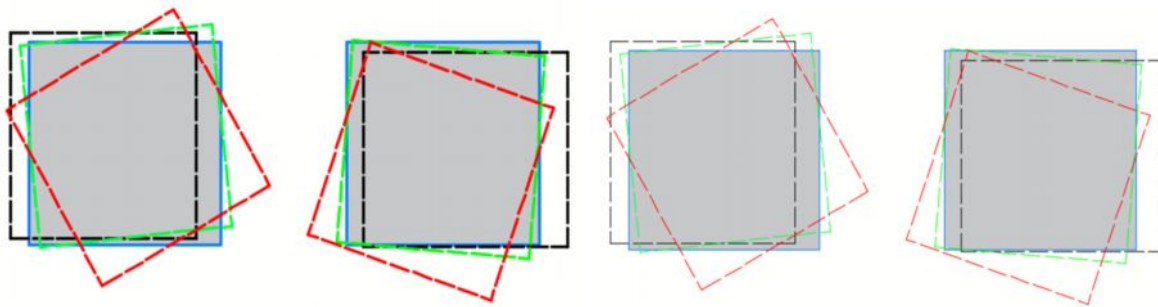


Рисунок 14 – Схемы горизонтальных деформаций покрытия платформы в плане на 4 и 5 этапах испытаний

В процессе испытаний платформа совершала сложные пространственные колебания в горизонтальной плоскости.

Анализ полученных инструментальных записей позволил выявить разные формы колебаний платформы:

- поступательные колебания платформы в направлении вибрационного воздействия.
- крутильное колебание платформы при вибрационном воздействии;
- снижение величин ускорений и перемещений платформы при вибрационном воздействии с использованием резинометаллических опор.

Чтобы проверить установленные динамические характеристики платформы, поставлена задача о проведении испытания реального здания и соответствие требованиям новых строительных норм СН КР 20-02:2018, которые включают расчеты по пиковым ускорениям грунтов и спектрам реакции.

Было проведено испытание двухэтажного здания из легких стальных тонкостенных конструкций с общим размером в плане 6,0x6,0 м (рис. 15).

Здание испытывалось несколько раз в разных состояниях – без и с обшивкой из ОСБ, также, с и без РМО. Схемы горизонтальных перемещений перекрытия и покрытия здания в плане в конкретные моменты времени испытаний показаны на рис. 17.

Полученные инструментальные записи и построенные схемы деформирования объекта позволили выявить 2 формы вынужденных колебаний

платформы с установленным на нем объектом: форма 1 – представляла собой поступательные колебания в направлении вибрационного воздействия; форма 2 – крутильные колебания в плане.



Рисунок 15 – Здание из легких стальных конструкций без и с обшивкой

Схемы горизонтальных перемещений платформы и покрытия объекта испытаний в плане в конкретные моменты времени показаны на рис. 16.

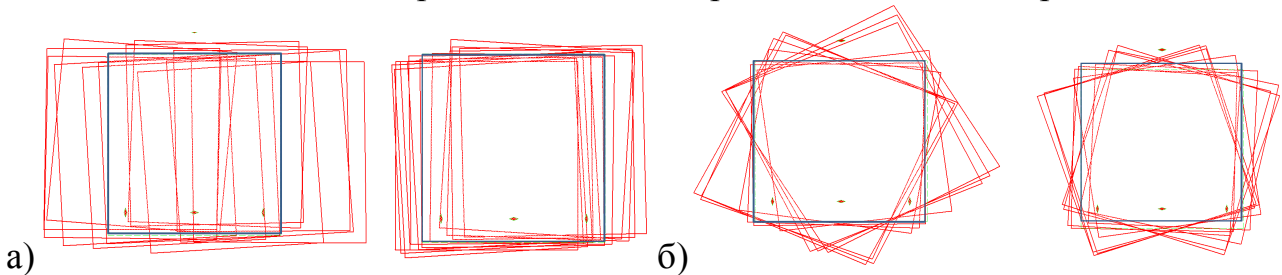


Рисунок 16 – Формы деформирования объекта испытаний в плане в уровне покрытия (схема слева) и платформы (схема справа) на этапе испытаний VI, построенные в формате 2D: а) поступательная форма; б) крутильная форма

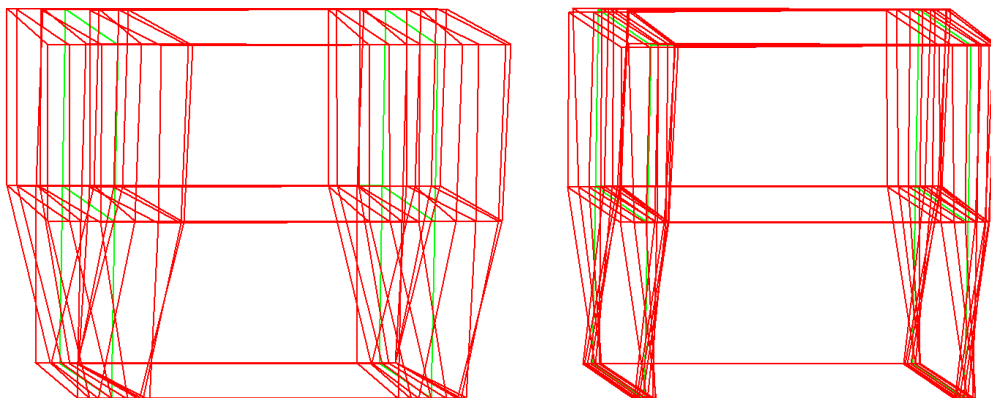


Рисунок 17 – Схемы горизонтальных перемещений перекрытия и покрытия здания в плане в конкретные моменты времени

Определены величины горизонтального перекоса этажей здания с и без обшивки (рис. 18). Анализ испытаний показывает наименьшее горизонтальное смещение этажей здания при обшивке с плитами ОСБ.

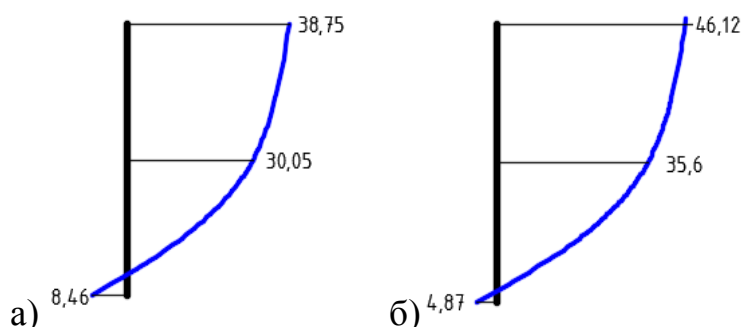


Рисунок 18 – Запись ускорений поперечных колебаний и формы поперечных смещений с обшивкой (а) и без обшивки (б) здания из ОСБ, мм, по высоте

О величинах инерционных нагрузок и о горизонтальных деформациях объекта относительно платформы свидетельствуют записи горизонтальных ускорений и перемещений, показанные на рис. 19.

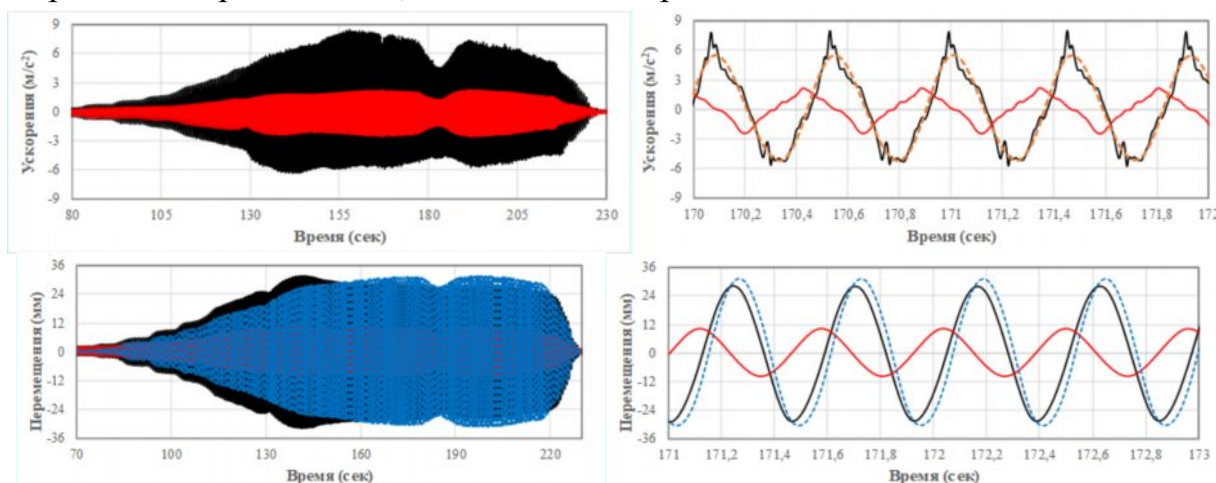


Рисунок 19 – Записи горизонтальных ускорений и перемещений геометрических центров платформы и объекта испытаний в уровне перекрытия над первым этажом в направлении вибрации на V этапе испытаний

Для сравнения интенсивности динамических воздействий, имевших место при испытаниях здания-представителя, с интенсивностью реальных сейсмических воздействий, на рис. 20 сопоставлены спектры реакций в ускорениях, построенные по инструментальным записям колебаний платформы (красные линии) и нормативные спектры реакций (черные линии), построенные при значениях ускорений основания 0,1g, 0,2g и 0,4g (рис. 20).

При построении спектров реакций значения коэффициентов демпфирования колебаний были приняты 5% (сплошные линии) и 15% (пунктирные линии) от критического.

Указанный диапазон значений коэффициентов демпфирования охватывает все реалистичные значения «эффективного вязкого демпфирования» при существенно нелинейном поведении конструктивных систем зданий.

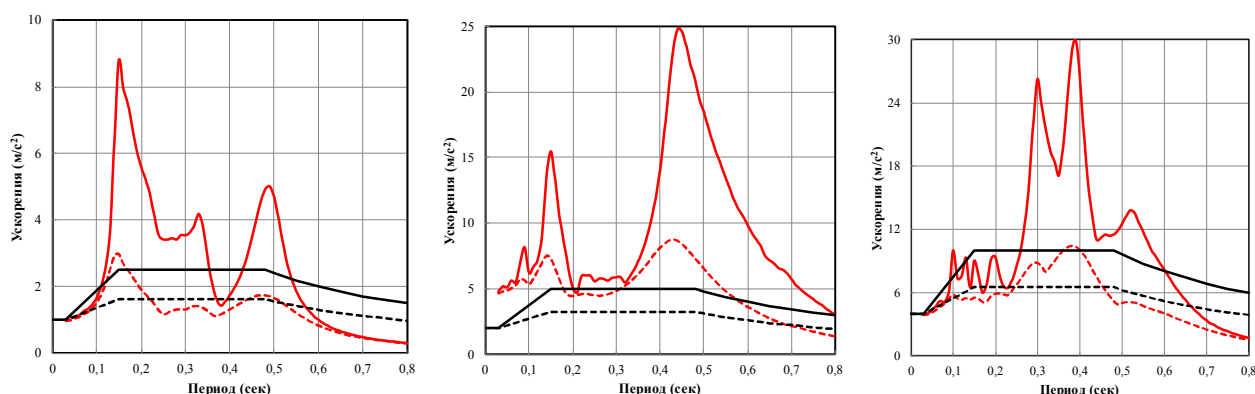


Рисунок 20 – Спектры реакций, построенные по инструментальным записям на этапах испытаний I, II и IX, и нормативные спектры реакций, построенные при ускорениях основания 0,1g, 0,2g и 0,4g

Из сопоставления спектров реакций, в том числе приведенных в качестве примеров на рис. 20 следует, что интенсивность динамических воздействий на этапах испытаний: I – сопоставима с интенсивностью сейсмических воздействий при 7-балльных землетрясениях; II-VI – сопоставима при 8-9-балльных; VII-IX – сопоставима при 9-балльных землетрясениях.

По инструментальным записям разных колебаний составлены спектры реакции здания из ЛСТК для дальнейшего расчетного анализа и конструирования для масштабного проектирования и строительства (рис. 21).

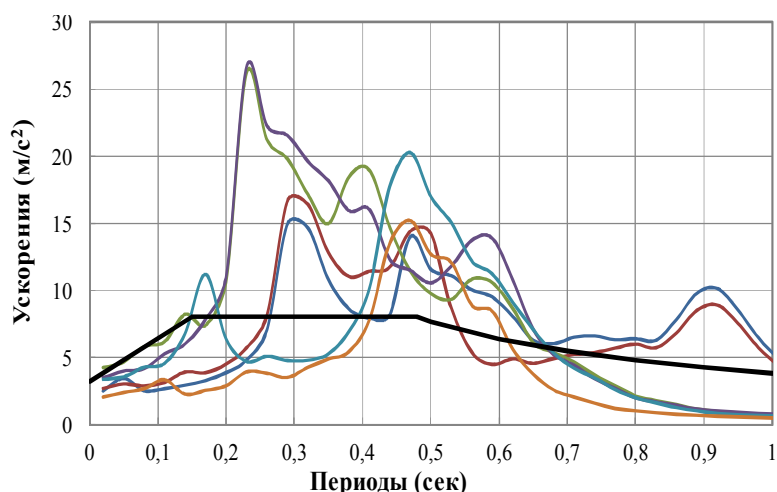


Рисунок 21 – Спектры реакции здания из ЛСТК при испытании на платформе в разных ускорениях, максимально 0,37 g: жирная черная линия – нормативный спектр при ускорении 0,32 g и коэффициенте поведения 1; все остальные линии – спектры, построенные по записям ускорений, полученным на разных этапах испытаний на фундаментной плите, то есть платформе



Все проведенные испытания доказали зарегистрированные ускорения реального сейсмического воздействия на платформу и адекватность ее дальнейшего применения для экспериментальных исследований зданий разных конструктивных систем.

Горизонтальные инерционные нагрузки, действовавшие на объект испытаний при его колебаниях по основным поступательным формам, превышали проектную, и ускорения достигли 0,45 g, что соответствует интенсивности землетрясений, равной 9 и более баллов в соответствии со шкалой, приведенной в строительных нормах СН КР 20-02:2018.

Горизонтальные инерционные нагрузки, действовавшие на платформу при ее крутильных колебаниях, многократно превышали редуцированные расчетные нагрузки, соответствующие сейсмичности 9 баллов.

Горизонтальная деформация платформы при установке РМО в швы показала затухание колебаний и получила меньшее смещение чем без эластомеров, не менее в два раза, то есть 20 мм, а ускорение снизилось в пределах 0,07-0,24, приравненное к 1-2 баллам интенсивности сейсмических воздействий.

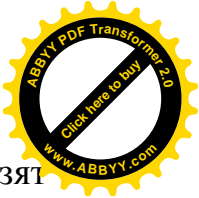
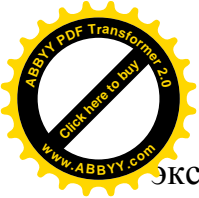
В шестой главе «Технико-экономическая оценка расчета и усиления зданий» рассчитана технико-экономическая оценка результатов актуализации нормативных документов и предложенного способа «инженерное лечение» здания.

Общие затраты на строительство при учете пиковых ускорений грунтов, в результате увеличения коэффициента сейсмической опасности будут повышаться в пределах 1-3% от общей себестоимости строительства. Крупные затраты, как правило, будут произведены на приобретение площадки строительства ~10%, проектирование, инженерные изыскания, экспертизу и получение разрешения на строительство - 10%, возведение здания - 50%, подключение и строительство инженерных сетей - 8%, отделка фасада и благоустройство территории - 5%, маркетинг и социальные рекламы - 4%, экономический эффект составит - 13%.

На практике способ «инженерное лечение» успешно применялся при сейсмоусилении 4-школ и 2-детских сада в городах Балыкчы и Токтогул в рамках проекта Всемирного Банка по программе Министерства образования и науки Кыргызской Республики.

Экономическая эффективность усиления несущих конструкций составляла уменьшение стоимости строительного-монтажных работ в 2 раза по сравнению с усилением традиционным методом. Для указанных 6 строительных объектов уменьшение стоимости усиления способом «инженерное лечение» составило более 15,0 тыс. сом/кв.м.

Как правило, поведение не всех конструкций и узлов можно математически моделировать и учитывать на стадии проектирования и



Экспертизы. Экспериментальные испытания зданий максимально снизят экономические затраты и гарантируют сейсмическую безопасность зданий и их жителей. Экономические расчеты показали, что стоимость натуральных испытаний 12-этажного крупнопанельного здания составляет не менее 1500 сом/кв.м. Такой расчет дает обоснование для одного объекта. При массовом строительстве из крупнопанельного домостроения одного лишь микрорайона стоимость испытания окажется значительно меньше и максимально может составить не более 150 сом/кв.м для всех типовых зданий.

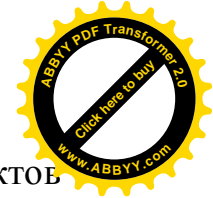
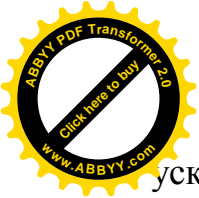
Экспериментально-теоретическое обоснование применения новых конструктивных систем зданий и их элементов способствует предотвращению и снижению ущерба последствий землетрясений. Испытание модернизированной платформы отвечает требованиям новых строительных норм по сейсмостойкому строительству. Стоимость проведения экспериментальных исследований колеблется приблизительно от 0,7% стоимости испытуемых конструкций малоэтажных и от 0,5% - многоэтажных зданий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ ранее проведенных экспериментально-теоретических исследований выявил отсутствие системного подхода к оценке сейсмичности площадки строительства по пиковым ускорениям грунтов на основе реальных грунтово-геологических условий территории Кыргызской Республики и определению расчетных сейсмических нагрузок в зависимости от регулярности конструктивных решений здания и способности к рассеиванию энергии, учету ответственности здания по назначению и этажности. Исследование распределения усилий в конструкциях и поведение зданий при землетрясениях показал, что классические повреждения несущих конструкций остаются основными проблемами сейсмостойкого строительства и обеспечения сейсмической безопасности.

2. Впервые разработаны и внедрены в строительные нормы Кыргызской Республики положения по определению расчетных сейсмических нагрузок с учетом: спектров расчетных реакций $S_d(T)$; значений пиковых ускорений грунтов по сейсмическим свойствам для условий территории Кыргызской Республики; коэффициента поведения конструктивной схемы q , позволяющий уменьшить величину спектра реакций от 1,0 до 5,0; повышающего коэффициента ответственности зданий и сооружений со значением от 0,5 до 1,5.

3. Доказана необходимость введения вместо коэффициентов сейсмичности, равных 0,7g для 400 населенных пунктов с сейсмичностью 9 и более баллов по нормам 2009 года, принять реальные значения пиковых



ускорений грунтов 0,59g, 0,5g и 0,49g для 6, 110 и 284 населенных пунктов соответственно. Расчет сейсмических нагрузок с учетом этих данных существенно влияют на снижение горизонтальных сил.

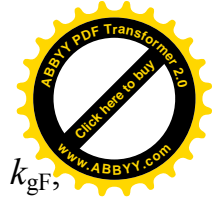
4. Предложена математическая модель здания с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор, впервые учитывающая вязкоупругие свойства резины, которые не были учтены в ранних исследованиях. В модели задана зависимость смещений земной поверхности во времени $e(t)$ и требуется найти смещение $\gamma(t)$ и массу M с учетом вязкоупругих свойств резины. При расчетах значение горизонтальной жесткости резинометаллических опор следует принимать равным $\sim 10^3$ раз меньше, чем вертикальная, что позволяет использовать опоры для защиты зданий от поперечных сейсмических воздействий. Величину отношения модуля сдвига к модулю объемного сжатия G/K следует выбрать в пределах $10^{-4} \div 10^{-3}$; значение коэффициента Пуассона ν близко к 0,49; величину жесткости C в пределах $0,1 \div 1$.

5. Доказана адекватность математической модели, предложенных уравнений расчета критических перемещений и периодов колебаний сейсмоизолируемого здания для выявления распределения усилий в конструкциях надпорной части здания. В том числе записи колебаний показали, что эластомерные свойства резинометаллических опор снижают колебания на 0,2g или на 1-2 балла по интенсивности землетрясений.

6. Подтверждена необходимость использования упрощенных зависимостей определения нормативных перемещений, эффективного периода колебаний, величины критических сейсмических сил на сейсмоизолированное здание для условий Кыргызской Республики и внедрены в строительные нормы и правила (СНиП КР 20-03:2006).

7. Впервые в Кыргызской Республике экспериментально-теоретическими исследованиями установлено крутильное колебание испытательной платформы как нелинейной системы при загрузке вибромашины на 1,23 т, которое достигало максимальных ускорений более 0,45 g и максимальных горизонтальных перемещений более 27,1 мм, что соответствует интенсивности землетрясений 9 и более баллов по шкале, приведенной в СН КР 20-02:2018, и апробирована натурным испытанием двухэтажного здания из ЛСТК.

8. Установлено экспериментально-теоретическими исследованиями снижение ускорения платформы с резинометаллическими опорами до 0,2g, измерено распространение сейсмических сил, также аналитически показано уменьшение ускорений каркасного здания с сейсмоизолирующими резинометаллическими опорами в ~ 2 раза. В расчетах здания с РМО при максимальном ускорении грунта равной ~ 3 м/сек² максимальное значение ускорения на крыше здания следует принимать равным $\sim 1,6$ м/сек², а для здания без РМО $\sim 8,5$ м/сек².



9. Установлена нормативная зависимость коэффициента k_{GF} , учитывающего расстояние площадки строительства от сейсмогенерирующего Ыссык-Атинского разлома и внедрена в нормы 2018 года. Значение коэффициента k_{GF} допускается применять для каждого типа разлома и ее сегментов модифицируя предельные значения в зависимости от оцененных величин максимальной магнитуды.

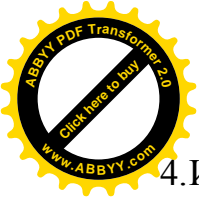
10. Разработан новый способ «инженерное лечение», предусматривающий повышение сопротивления конструкций к поперечным сейсмическим силам при усилении аналитически подобранных конструктивных элементов и позволяющий увеличить эксплуатационную пригодность на более 40 лет соблюдая требования сейсмической безопасности. Полученные результаты подтверждаются внедрением коэффициента сейсмической безопасности здания в СН КР 22-01:2018 для численной оценки сейсмостойкости на основании фактической и требуемой расчетной несущей способности конструктивной системы.

11. Экономическая эффективность внедрения зависимостей и показателей заключается в повышении сейсмостойкости и сейсмической безопасности существующих и вновь строящихся зданий и сооружений в Кыргызской Республике для сохранения жизнедеятельности населения и снижению сейсмического риска.

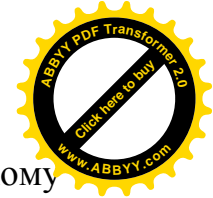
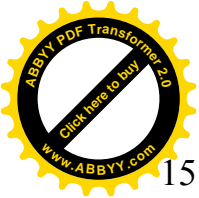
В результате экспериментально-теоретических исследований решены научно-технические основы повышения надежности, долговечности и сейсмостойкости зданий и сооружений гармонизацией строительных норм на соответствие международным стандартам, совершенствованием методов проектирования и расчета конструктивной системы.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

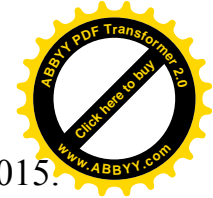
1. Ормонбеков, Т.О. Применение тонкослойных резинометаллических опор для сейсмозащиты зданий в условиях территории КР [Текст]: монография / Т.О. Ормонбеков, Г.А. Максимов, **У.Т. Бегалиев** и др. – Б.: Учкун, 2005. – 215 с.
2. Иманбеков, С.Т. Изменения и дополнения в требования норм проектирования по сейсмостойкому строительству [Текст] / С.Т. Иманбеков, **У.Т. Бегалиев** // Труды международ. конференции по распространению упругих и упругопласт. волн, посвящ. 100-летию академика, Героя Соцтруда Х.А. Рахматулина. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2009. – С. 278-281.
3. Ормонбеков, Т.О. Расчет напряженного состояния цилиндрического резинометаллического слоя [Текст] / Т.О. Ормонбеков, Б.Б. Барпиев, **У.Т. Бегалиев** // Труды международ. конференции по распространению упругих и упругопласт. волн, посвящ. 100-летию академика, Героя Соцтруда Х. А. Рахматулина. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2009. – С. 330-335.



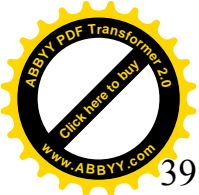
4. Иманбеков, С.Т. Извлечения из нормативных документов по строительству, действующих на территории Кыргызской Республики [Текст]: справочное пособие / С.Т. Иманбеков, **У.Т. Бегалиев**, М.Т. Касымова и др. – Б.: Илим, 2009. – 321 с.
5. **Бегалиев, У.Т.** Оценка сейсмического риска с использованием информационных технологий [Текст] / У.Т. Бегалиев // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2011. – №2 (2 том). – С. 182-185.
6. **Бегалиев, У.Т.** Программа по выбору метода усиления конструкций здания [Текст] / У.Т. Бегалиев // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2011. – №2 (2 том). – С. 186-189.
7. Bindi, D. Towards an improved seismic risk scenario for Bishkek, Kyrgyz Republic [Text] / D. Bindi, M. Mayfield, S. Parolai, J. Zschau, **U. Begaliev**, K. Abdrakhmatov, B. Moldobekov // Soil Dynamics and Earthquake Engineering // Elsevier Science Publishing Company, Inc., V. 31, #3, 2011. – P. 521-525.
8. Ормонбеков, Т.О. Разработка математической модели и алгоритма расчета тонкослойной резинометаллической опоры [Текст] / Т.О. Ормонбеков, **У.Т. Бегалиев** // Труды междунаrod. науч. конференции «Рахматулинские чтения». – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2011. – С. 265-271.
9. Ормонбеков, Т.О. Рекомендации по проведению сейсмического микрорайонирования для целей строительства [Текст] / Т.О. Ормонбеков, К.Е. Абдрахматов, **У.Т. Бегалиев**, И.З. Гайнутдинов // Труды междунаrod. науч. конференции «Рахматулинские чтения». – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2011. – С. 327-332.
10. Ормонбеков, Т.О. Инновационные методы повышения сейсмостойкости зданий и сооружений [Текст] / Т.О. Ормонбеков, **У.Т. Бегалиев** // Труды междунаrod. науч. конференции «Рахматулинские чтения». – Б.: Инст. физико-технич. проблем и материаловед. НАН КР, 2011. – С. 364-367.
11. Ормонбеков, Т.О. Математическая модель и алгоритм расчета тонкослойной резинометаллической опоры [Текст] / Т.О. Ормонбеков, **У.Т. Бегалиев** // Материаловедение. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2012. - №1. – С. 7-12.
12. **Бегалиев, У.Т.** Модель сейсмоизолированного здания по SAP-2000 [Текст] / У. Т. Бегалиев // Материаловедение. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2012. - №1. – С. 29-33.
13. Wieland, M. Estimating building inventory for rapid seismic vulnerability assessment: towards an integrated approach based on multi-source imaging [Text] / M. Wieland, M. Pittore, S. Parolai, J. Zschau, B. Moldobekov, **U. Begaliev** // Soil Dynamics and Earthquake Engineering // Elsevier Science Publishing Company, Inc., V. 36, 2012. – P. 70-83.
14. **Бегалиев, У.Т.** Построение модели сейсмоизолированного здания по SAP-2000 [Текст] / У.Т. Бегалиев // Труды междунаrod. науч. конференции, посвящ. памяти академика М. Я. Леонова «Современные проблемы механики сплошной среды». – Б.: НАН КР и КГТУ им. И. Раззакова, 2012. – С. 247-253.



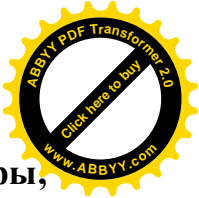
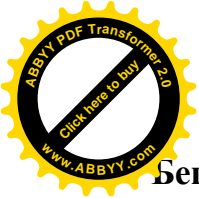
15. **Бегалиев, У.Т.** Основные требования в нормах по сейсмостойкому строительству, введенные за годы суверенитета КР [Текст] / У.Т. Бегалиев // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2013. – №3 (45, 1 том). – С. 199-205.
16. **Бегалиев, У.Т.** Композитные материалы для усиления конструкций [Текст] / У. Т. Бегалиев, Э. Корчубай у. // Труды I международ. науч.-практ. конф.-конкурса науч. докл. студ. и мол. ученых «Инновац. технологии и передовые решения» // Материаловедение. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2013. – №1. – С. 77-79.
17. **Бегалиев, У.Т.** Резинометаллические опоры для сейсмозащиты зданий и сооружений [Текст] / У.Т. Бегалиев // Труды I международ. науч.-практ. конф.-конкурса науч. докл. студ. и мол. ученых «Инновац. технологии и передовые решения» // Материаловедение. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2013. – №1. – С. 267-273.
18. **Бегалиев, У.Т.** Критерии разрушения резиновых элементов [Текст] / У.Т. Бегалиев // Труды международ. науч. конференции «Рахматулинские-Ормонбековские чтения» // Материаловедение. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2013. – №2. – С. 20-29.
19. **Бегалиев, У.Т.** Определение оптимальных параметров тонкослойных резинометаллических элементов [Текст] / У.Т. Бегалиев // Труды международ. науч. конференции «Рахматулинские-Ормонбековские чтения» // Материаловедение. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2013. – №2 (6). – С. 29-32.
20. **Бегалиев, У.Т.** Матрица повреждений и графики уязвимости для различных типов ЕМСА [Текст] / У.Т. Бегалиев, К.Т. Канболотов // Мат. международ. конф. «Дистанц. и назем-е исслед. Земли в ЦА». – Б., 2014. – С. 130-132.
21. **Бегалиев, У.Т.** Динамические нагружения тонкослойных резинометаллических элементов / У.Т. Бегалиев, Р.Н. Аскарбеков // Материаловедение. – Бишкек, 2014. – № 4 (7). – С. 11-14.
22. **Бегалиев, У.Т.** Классификация конструктивных схем зданий Центральной Азии [Текст] / У.Т. Бегалиев, К.Т. Канболотов // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2014. – №3 (45, 1 том). – С. 47-50.
23. Усупаев, Ш.Э. Система оповещения сейсмокатастроф для города Бишкек / Ш. Э. Усупаев, С. Ж. Орунбаев, Б. Д. Молдобеков, **У. Бегалиев**, С. Паролай, Д. Бинди // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Б., 2014. – № 33. – С. 392-399.
24. Пат. 1717 Кыргызская Республика, МПК E04B 1/36 (2014.01) F16F 15/04 (2014.01). Резинометаллическая опора с сердечником [Текст] / **У.Т. Бегалиев**, Р.Н. Аскарбеков, С.А. Токомбаев, Б.Б. Барпиев. – № 20140081.1; заявл. 03.07.2014; опубл. 31.03.2015, Бюл. № 3. – 2 с. : ил.
25. Пат. 1718 Кыргызская Республика, МПК E04B 1/36 (2014.01) F16F 15/04 (2014.01). Резинометаллическая опора [Текст] / **У.Т. Бегалиев**, Р.Н. Аскарбеков, С.А. Токомбаев, Б.Б. Барпиев. – № 20140082.1; заявл. 03.07.2014; опубл. 31.03.2015, Бюл. № 3. – 2 с. : ил.
26. Parolai, S. Preface: Earthquake Model Central Asia: seismic hazard and risk assessment in Central Asia [Text] / S. Parolai, J. Zschau, **U. Begaliev** // Annals of



- Geophysics, Special Issue. Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2015. – 58, #1, S0101.
27. Wieland, M. Towards a cross-border exposure model for the Earthquake Model Central Asia [Text] / M. Wieland, M. Pittore, S. Parolai, **U. Begaliev**, P. Yasunov, J. Niyazov, S. Tyagunov, B. Moldobekov, T. Abakanov // Annals of Geophysics, Special Issue. 2015. – 58, #1, S0106. – P. 1-8.
 28. Petrovic, B. Building monitoring in Bishkek and Dushanbe by the use of ambient vibration analysis [Text] / B. Petrovic, D. Bindi, M. Pilz, M. Serio, S. Parolai, **U. Begaliev**, S. Orunbaev, J. Niyazov // Annals of Geophysics, Special Issue, 2015. – 58, #1, S0110. – P.1-13.
 29. Wieland, M. A Multiscale Exposure Model for Seismic Risk Assessment in Central Asia [Text] / M. Wieland, M. Pittore, S. Parolai, **U. Begaliev**, P. Yasunov, S. Tyagunov, B. Moldobekov, S. Saidiy, I. Ilyasov, T. Abakanov // Seismological Research Letters, 2015. – #86 (1). – P. 210-222.
 30. **Бегалиев, У.Т.** Создание модели тонкослойного резинометаллического элемента [Текст] / У.Т. Бегалиев // Труды III международ.науч.-практ. конф.-конкурса науч. докл. студ. и мол.ученых // Материаловедение. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2015. – №2. – С. 225-227.
 31. **Бегалиев, У.Т.** Упругопластический расчет пластин и оболочек [Текст] / У.Т. Бегалиев // Труды III международ.науч.-практ. конф.-конкурса науч. докл. студ. и мол.ученых // Материаловедение. – Б.: ИФТПиМ НАН КР, 2015. – №2. – С. 227-229.
 32. Abdykalykov, A. Global Urban Planning Policy and Housing Construction Market Trends in Kyrgyzstan [Презентация доклада] / A. Abdykalykov, **U. Begaliev**, P. Jolbolduev // The 15th International Symposium “Global urban planning housing construction market trends”, SeoulTech, 2015. – P. 43-78.
 33. **Бегалиев, У.Т.** Разработка математической модели трехмерной кусочно-однородной геологической среды с нарушениями для решения задач [Текст] / У. Т. Бегалиев // Материаловедение. – Бишкек, 2015. – № 3 (13). – С. 68-71.
 34. **Бегалиев, У.Т.** Аппроксимация методом наименьших квадратов с помощью кусочно-гладкой неоднозначной поверхности [Текст] / У.Т. Бегалиев // Материаловедение. – Бишкек, 2015. - № 3 (13). - С. 71-72.
 35. **Бегалиев, У.Т.** Резинометаллический эластомерный элемент для гашения колебаний [Текст] / У.Т. Бегалиев // Материаловедение. – Бишкек, 2016. – № 1 (12). – С. 14-19.
 36. **Бегалиев, У.Т.** Моделирование вязкоупругих демпферов для конструктивного применения [Текст] / У.Т. Бегалиев // Наука и инновационные технологии. - Б.: МУИТ, 2016. – № 1. - С. 201-209.
 37. **Бегалиев, У.Т.** Осциллятор с одной степенью свободы и вязкоупругим демпфером [Текст] / У.Т. Бегалиев // Наука и инновационные технологии. – Б.: МУИТ, 2016. – № 1. - С. 209-214.
 38. **Бегалиев, У.Т.** Уязвимость зданий и сооружений при сейсмических воздействиях в КР [Текст] / У.Т. Бегалиев // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – Москва, 2017. – № 3 (29). – С. 25-26.



39. Абдыкалыков, А.А. Повышение сейсмостойкости кирпичных зданий усилением несущих конструкций [Текст] / А.А. Абдыкалыков, **У.Т. Бегалиев** // Наука и инновационные технологии. – Б.: МУИТ, 2017. – № 3 (3). – С. 139-142.
40. **Бегалиев, У.Т.** Применение легких стальных тонкостенных холодноформованных конструкций в строительстве [Текст] / **У.Т. Бегалиев**, Д. Абдыкалыков // Наука и инновационные технологии. – Б.: МУИТ, 2018. – № 8 (8). – С. 150-153.
41. Brzev, S. Practical Seismic Design and Construction Manual for Retrofitting School in the Kyrgyz Republic [Text]: Monograph = Практическое пособие по проектированию и конструированию сейсмоусиления зданий школ в Кыргызской Республике / S. Brzev, **U. Begaliev**. – Bishkek: 2018. – 251 p.
42. **Бегалиев, У.Т.** Динамическое поведение здания на основе моделирования методом конечных элементов [Текст] / У. Бегалиев, И. Петрина, Д. Бинди, Б. Петрович, С. Орунбаев, Т. Шералиев, А. Мостбок // Материаловедение. – Бишкек, 2018. – № 1 (14). – С. 11-23.
43. Абдрахматов, К.Е. Сейсмическая опасность населенных пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики [Текст]: монография / К.Е. Абдрахматов, **У.Т. Бегалиев**, М. Омуралиев и др. – Бишкек: ОсОО «Триада Принт», 2019. – 98 с.
44. Бржев, С. Состояние проектирования и конструирования сейсмоусиления зданий в кыргызской республике [Текст] / С. Бржев, **У.Т. Бегалиев** // Наука и инновационные технологии. – Б.: МУИТ, 2019. – № 10 (10). – С. 3-20.



Бегалиев Улугбек Турдалиевичтин 05.23.01 – курулуш конструкциялары, имараттар жана курулмалар адистиги боюнча техника илимдеринин доктору окумуштуулук даражасын изденүү үчүн «Үйлөрдүн жана имараттардын сейсматуруштуулугун жогорулатуунун эксперименталдык-теоретикалык негиздери» темасындагы диссертациялык ишине берилген

РЕЗЮМЕ

Негизги сөздөр: сыноо платформасы, инженердик дарылоо, абал коэффициенти, грунттун пиктеги ылдамдануусу, күчтөрдүн таралуусу, резинометалл сейсмоизоляциялоочу опоралар, сейсмикалык коопсуздук, сейсматуруктуу курулуш, сейсмокүчтөндүрүү, эксперименталдык сыноолор, эксплуатацияга жарамдуулук, термелүүнүн эффективдүү периоду.

Изилдөөнүн объектиси: имараттардын ар түрдүү конструктивдүү системалары жана алардын сейсмикалык таасирдеги абалы.

Изилдөөнүн предмети: грунттун пиктеги ылдамдануусу аркылуу эсептик сейсмикалык күчтөрдү аныктоодо эксперименталдык-теоретикалык негиздер.

Изилдөөнүн максаты: Кыргыз Республикасынын аймагынын шарттары үчүн учурдагы жана жаңы курулган имараттар менен курулмалардын көтөрүү жөндөмүнүн резервдерин аныктоо жана сейсмикалык коопсуздугун жогорулатуу.

Изилдөөнүн методдору: грунттун пиктеги ылдамдануусу аркылуу курулуш аянтчанын сейсмиктигин аныктоо ыкмасы, экономикалык эффективдүүлүктү жана тейлөө жөндөмдүүлүгүн эске алуу менен имараттарды сейсмикалык бекемдөө ыкмасы, платформанын жана имараттын динамикалык сыноо ыкмасы. Комплекстүү камера, В-2 вибрациялык машина, сейсмикалык термелүүлөрдү жазуучу жабдуулар колдонулган.

Изилдөөнүн натыйжалары жана илимий жаңылыгы: имараттардын аналитикалык тандалган структуралык элементтерин бекемдөөгө мүмкүндүк берүүчү "инженердик дарылоо" ыкмасы; курулуштун сейсмикалык коркунучун грунттун пиктеги ылдамдануусу a_g боюнча баалоо үчүн эксперименталдык жана теориялык негиздер; Кыргыз Республикасынын аймагы үчүн имараттар менен курулмалардын регулярдуулук критерийлери жана структуралык схеманын өзгөчөлүктөрү жана алардын жоопкерчилиги боюнча сейсмикалык долбоордук жүктөмдү аныктоо; имараттын ишенимдүүлүгүн, бышыктыгын жана тейлөө жөндөмдүүлүгүн жогорулатуу; 0,45g ылдамдануу менен сыноо аянтчасынын динамикалык параметрлерин эксперименталдык түрдө аныкталган.

Колдонуунун деңгээли: изилдөөнүн жыйынтыктары КР КНЖЖ 20-03:2006, КР КЧ 20-02:2018, КР КЧ 22-01:2018, КР КЧ 31-02:2018 киргизилген, КР Мамкурулуштун Жер титирөөгө туруктуу курулуш жана инженердик долбоорлоо мамлекеттик институтунун эксперименталдык изилдөөлөрүндө, «Промпроект» ААК жана «Каркас.КГ» курулуш компаниясы (ЖЧК «Seido Systems») аркылуу үйлөрдү жана имараттарды долбоорлоо жана курууда колдонулган.

Колдонулуучу тармактар: билим, илим-изилдөө жана долбоорлоо ишмердүүлүгүндө; сейсмикалык рискти аныктоодо, үйлөрдүн жана имараттардын сейсматуруктуулугун жогорулатууда.



РЕЗЮМЕ

диссертации Бегалиева Улугбека Турдалиевича на тему
«Экспериментально-теоретические основы повышения сейсмостойкости
зданий и сооружений» на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности
05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения

Ключевые слова: испытательная платформа, инженерное лечение, коэффициент поведения, пиковые ускорения грунтов, распространение усилий, резинOMETаллические сейсмоизолирующие опоры, сейсмическая безопасность, сейсмостойкое строительство, сейсмоусиление, экспериментальные испытания, эксплуатационная пригодность, эффективный период колебания.

Объект исследования: здания различных конструктивных систем и их поведение при сейсмических воздействиях.

Предмет исследования: экспериментально-теоретические основы определения расчетной сейсмической нагрузки по пиковым ускорениям грунтов.

Цель работы: выявление резервов несущей способности и повышение сейсмической безопасности существующих и вновь строящихся зданий и сооружений для условий территории Кыргызской Республики.

Методы исследования и аппаратура: методика определения сейсмичности площадки строительства с учетом пиковых ускорений грунтов, способ сейсмоусиления зданий с учетом экономической эффективности и эксплуатационной пригодности, методика динамических испытаний платформы и здания. Используются всеобъемлющая камера, вибрационная машина В-2, регистрирующая аппаратура сейсмических колебаний.

Полученные результаты и их новизна: способ «инженерное лечение» позволяющий усилить аналитически подобранные конструктивные элементы зданий; экспериментально-теоретические основы оценки сейсмической опасности площадки строительства по пиковым ускорениям грунтов a_g , критериям регулярностей и определения расчетной сейсмической нагрузки по особенностям конструктивной схемы и ответственности зданий и сооружений для территории КР; повышена надежность, долговечность и эксплуатационная пригодность здания; экспериментально установлены динамические параметры испытательной платформы с ускорением 0,45 g.

Степень использования: результаты исследования внедрены при разработке СНиП КР 20-03:2006, СН КР 20-02:2018, СН КР 22-01:2018, СН КР 31-02:2018, экспериментальном исследовании ГИССИП Госстроя КР, проектировании и строительстве зданий и сооружений ОАО «Промпроект», строительной компанией «Каркас.KG» (ООО «Seido Systems»).

Область применения: образовательная, научно-исследовательская и проектная деятельности; оценка сейсмического риска, повышение сейсмостойкости зданий и сооружений.



SUMMARY

of the dissertation of Begaliev Ulugbek Turdalievich on the topic "Experimental and theoretical foundations for increasing the seismic resistance of buildings and structures" to achieve a scientific degree of Doctor of Engineering Sciences in specialty 05.23.01 - building constructions, buildings and structures

Key words: testing platform, engineering treatment, behavior coefficient, peak ground acceleration, spreading efforts, rubber-metal seismic isolation bearings, seismic safety, earthquake-resistant construction, seismic retrofitting, experimental testing, serviceability, effective ground motion period.

Research object: buildings of various structural systems and their behavior under seismic influences.

Research subject: experimental and theoretical foundations for determining the design seismic load by peak ground acceleration.

Research purpose: identification of load bearing capacity reserves and improvement of seismic safety of existing and newly constructed buildings and structures for the conditions of the territory of the Kyrgyz Republic.

Research methods and equipment: method for determining the construction site seismicity, taking into account the peak ground acceleration, method for seismic retrofitting of buildings, taking into account an economic efficiency and serviceability, method for dynamic testing of the platform and building. The overall comprehensive camera, vibration machine V-2 and recording equipment of seismic vibrations were used.

Results obtained and originality: the "engineering treatment" method allowing to strengthen the analytically selected buildings structural elements; experimental and theoretical foundations for assessing the seismic hazard of the construction site by peak ground acceleration a_g , regularity criteria and design seismic load determination by the features of the structural scheme and responsibility of the buildings and structures for the territory of the Kyrgyz Republic; reliability, durability and serviceability of the building were increased; dynamic parameters of the testing platform with an acceleration of 0.45 g were experimentally established.

Degree of use: the research results were introduced in the development of seismic design codes as SNiP KR 20-03:2006, SN KR 20-02:2018, SN KR 22-01:2018, SN KR 31-02:2018, in experimental studies by State Institute on Earthquake Engineering and Design under the Gosstroy of the Kyrgyz Republic, design and construction of buildings and structures by JSC «Promproject», construction company "Karkas.KG" (LLC «Seido Systems»).

Application area: educational, scientific research and design activities; seismic risk assessment, increasing the seismic resistance of buildings and structures.



Бегалиев Улугбек Турдалиевич

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Формат 60x84/16. Печать офсетная.
Объем 3,05 п.л. Тираж 100 экз.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
MAXPRINT
Б А С М А С Ы

Типография «Maxprint»
Адрес: 720045, г. Бишкек, ул. Ялтинская 114
Тел.: (+996 312) 36-92-50
e-mail: maxprint@mail.ru