

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ПО СЕЙСМОУСИЛЕНИЮ И СЕЙСМОЗАЩИТЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Матыева А.К.¹, Эркинбек к. Г.²

¹д.т.н., и.о. проф., директор института, Международный университет инновационных технологий Институт строительства и инновационных технологий тел.: +996 502 005 459, e-mail: matyeva59@mail.ru

²преподаватель, тел.: +996 709 98 87 58, e-mail: guzi_95KG@mail.ru

Аннотация. В статье исследуются новые методы по сейсмоусилению и сейсмозащиты многоэтажных зданий и сооружений. Сейсмоусиление с применением углеродных композитных материалов. Предложена методология научно-технического обоснования эффективности сейсмоизоляции. Отмечается так же важность пересмотра действующих нормативных документов и методов расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия.

Ключевые слова: сейсмоизоляция, расчет зданий и сооружений, сейсмические воздействия, нормативные документы.

КӨП КАБАТТУУ ИМАРАТТАРДЫ ЖАНА КУРУЛУШТАРДЫ СЕЙСМИКАЛЫК ЧЫҢДОО ЖАНА СЕЙСМИКАЛЫК КОРГООНУН ЖАҢЫ МЕТОДДОРУН КОЛДОНУУ

Матыева А.К., Эркинбек к. Г.

Аннотация. Макалада көп кабаттуу имараттарды жана курулмаларды сейсмикалык күчөтүүнүн жана сейсмикалык коргоонун жаңы ыкмалары изилденет. Көмүртектуу композиттик материалдарды колдонуу менен сейсмикалык бекемдөө. Сейсмикалык изоляциянын эффективдүүлүгүн илимий-техникалык жактан негиздөөнүн методологиясы сунушталды. Ошондой эле имараттарды жана курулмаларды сейсмикалык таасирге эсептөөнүн колдонуудагы ченемдик документтерин жана методдорун кайра карап чыгуунун маанилүүлүгү белгиленген.

Негизги сөздөр: сейсмикалык изоляция, имараттарды жана курулмаларды эсептөө, сейсмикалык эффекттер, ченемдик документтер

APPLICATION OF NEW METHODS FOR SEISMIC STRENGTHENING AND SEISMIC PROTECTION OF MULTI-STOREY BUILDINGS AND STRUCTURES

Matyeva A.K., Erkinbek k.G.

Annotation. The article explores new methods for seismic amplification and seismic protection of multi-storey buildings and structures. Seismic reinforcement using carbon composite materials. A methodology for the scientific and technical substantiation of the effectiveness of seismic isolation is proposed. The importance of revising the existing regulatory documents and methods for calculating buildings and structures for seismic effects is also noted.

Keywords: seismic isolation, calculation of buildings and structures, seismic effects, regulatory documents

Сейсмоусиление – это повышение сейсмической устойчивости существующих конструкций к усилиям, производимым подземными толчками. Сейсмоусиление зданий и сооружений применяется как для предупреждения разрушений, так и для восстановления объектов после случившихся землетрясений. Технология используется в регионах с высоким уровнем сейсмической активности, таких как Ошская область, Джалал-Абадская область и др.

Сейсмоусиление с применением углеродных композитных материалов позволяет повысить изначальную сейсмостойкость конструкции на 2-3 балла, что обеспечит зданию возможность перенести землетрясения в 7,8 и 9 баллов. Данный метод повышения сейсмостойкости позволяет возводить любые конструкции в сейсмоопасных регионах, что значительно расширяет архитектурные и проектировочные возможности при создании зданий и сооружений. Для Кыргызстана, территория которого расположена в сейсмической опасной зоне, где за последнее столетие произошел целый ряд сильных и разрушительных землетрясений, вопросы повышения сейсмической безопасности являются чрезвычайно актуальными.

В Кыргызстане 12 районов расположены в зоне высокой сейсмической уязвимости. Об этом говорится в исследовании местных сейсмологов и зарубежных ученых.

Согласно документу, в Чуйской области это: город Бишкек, Аламединский и Сокулукский районы. В Джалал-Абадской области — Базар-Коргонский, Ноокенский и Сузакский районы. В Ошской области — город Ош, Араванский, Кара-Суйский и Узгенский районы. В Баткенской области — Кадамджайский район и в Нарынской — Кочкорский район.

При составлении карт сейсмического районирования (также известных как «карты сейсмических рисков») предпринимались попытки объединить доступные данные при помощи «формального» подхода (Борисов, Рейснер, Шолпо, 19751) и «традиционного» (детерминированного) применения экспертных оценок (Кнауф, 19882) рис.1.

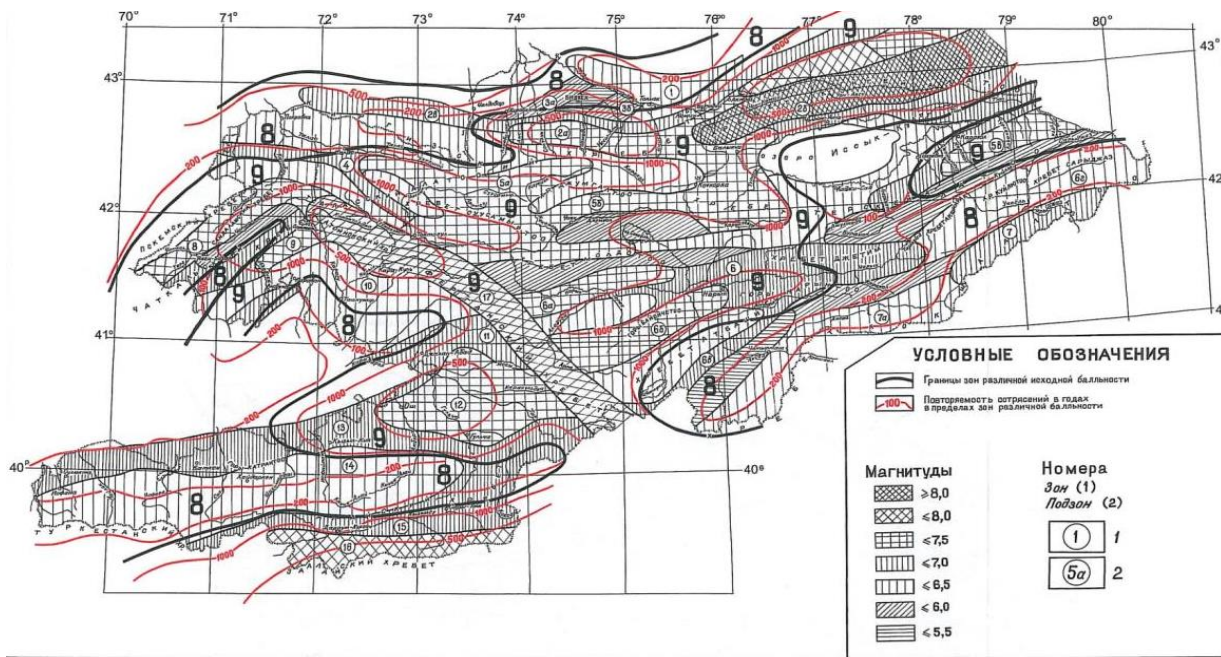


Рис. 1. «Карты сейсмического районирования Кыргызской Республики»

По некоторым оценкам, значительная часть территории Кыргызской Республики подвергнется землетрясениям магнитудой не менее 7,5 по шкале Рихтера (что соответствует интенсивности сотрясений 9 баллов по шкале MSK-64). На территории Кыргызской Республики произошло несколько разрушительных землетрясений, включая Суусамырское землетрясение 1992 года (магнитудой 7,3) [1].

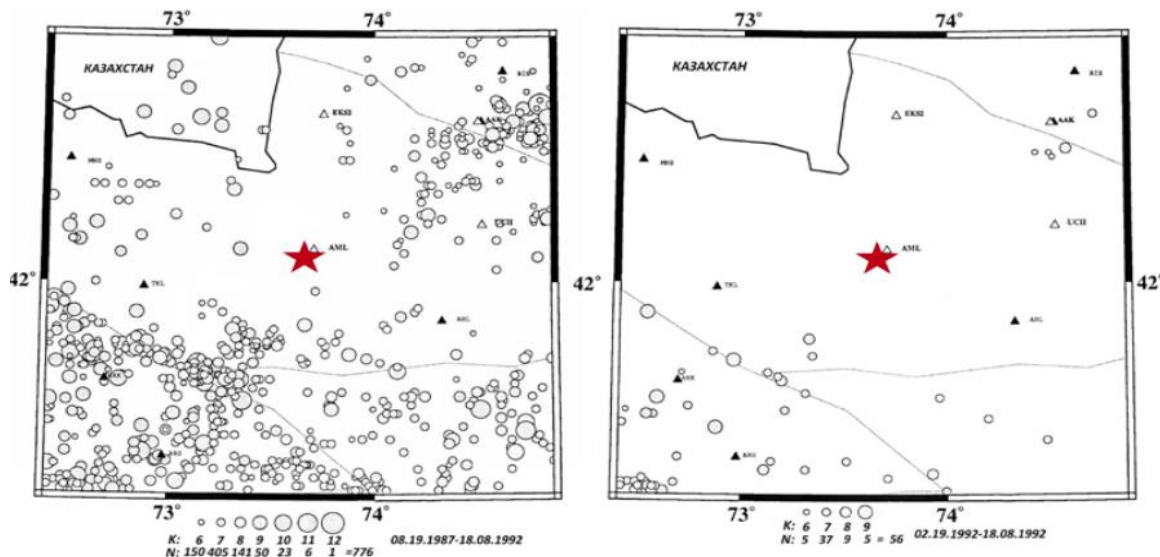


Рис.2

Карты эпицентров землетрясений: слева – за пять лет до Суусамырского события (18.08.1987 г. по 18.08.1992 г.), справа – за полгода до события (с 19.02.1992 г. по 18.08.1992 г.) Эпицентр Суусамырского землетрясения показан красной звёздочкой (использованы материалы Т.П. Грина).

Однако в настоящее время в Кыргызской Республике нет действующих норм сейсмоусиления зданий существующей застройки в отличие от многих других стран и

регионов, где были разработаны нормы и руководства по восстановлению зданий существующей застройки после землетрясений. Например, нормы сейсмической оценки и сейсмоусиления зданий существующей застройки приняты в Европейском союзе (EN 1998-3:2005), США (ASCE/SEI 41-13) и Японии (Японская строительная ассоциация по предотвращению разрушений, 2001) [2].

Во многих сейсмоопасных регионах мира накоплен значительный опыт сейсмоусиления зданий существующей застройки. При проектировании большинства старых зданий не был учтен уровень сейсмической опасности, предусмотренный действующими нормами проектирования; кроме того, некоторые типы зданий (например, неармированная каменная кладка) изначально более подвержены воздействию землетрясений по сравнению с другими конструкциями, такими как правильно спроектированные здания из железобетонных и стальных конструкций.

Сейсмический момент землетрясения можно оценить различными способами, которые являются основой шкал M_{wb} , M_{wr} , M_{wc} , M_{ww} , M_{wp} , M_i и M_{wpd} , всех подтипов общей шкалы M_w . См. Подробности в разделе «Шкала магнитуд момента § Подтипы» [3].

Сейсмический момент считается наиболее объективной мерой «размера» землетрясения с точки зрения общей энергии. Однако он основан на простой модели разрыва и некоторых упрощающих предположениях; он неверно предполагает, что доля энергии, излучаемой в виде сейсмических волн, одинакова для всех землетрясений.

Большая часть полной энергии землетрясения, измеряемой с помощью M_w , рассеивается в виде трения (что приводит к нагреванию коры). Потенциал землетрясения вызвать сильное сотрясение земли зависит от сравнительно небольшой доли энергии, излучаемой в виде сейсмических волн, и лучше измеряется по шкале магнитуды энергии M_e . Доля общей энергии, излучаемой сейсмическими волнами, сильно варьируется в зависимости от механизма очага и тектонической среды; M_e и M_w для очень похожих землетрясений могут отличаться на целых 1,4 единицы.

В каменных и кирпичных зданиях в сейсмоусилении нуждаются следующие типы несущих конструкций и элементов узлов:

- простенки и стены, в т. ч. и междуоконные перемычки;
- места сопряжения продольных и поперечных стен;
- связи между стенами и перекрытиями;
- фронтоны и прочие выступы на стенах;
- места сопряжения антисейсмических поясов и перекрытий.

Сейсмостойкость кирпичных и каменных строений повышается с помощью увеличения несущей способности элементов без изменения расчетной схемы или методом введения дополнительных элементов, которые принимают на себя часть сейсмических усилий. В качестве таких методов выступают: металлические или железобетонные обоймы «рубашки», для повышения несущей способности.

Шпренгели, связи жесткости, для обеспечения пространственной жесткости здания; одно или двунаправленные внешние армированные углеродными композитными материалами, позволяет и повысить несущую способность и обеспечить необходимую горизонтальную жесткость;

Сейсмоусиление надземных конструкций, с применением классических методов, таких как металлоконструкции и железобетонные обоймы, увеличивает вертикальные нагрузки, что приводит к необходимости укрепления фундамента. Углеродные материалы практически невесомы, не утяжеляют существующие конструкции

Для увеличения сейсмостойкости каркасных зданий используются два метода:
поэлементное усиление несущих конструкций;
полное усиление здания.

Метод поэлементного усиления отдельных конструкций заключается в укреплении колонн, ригелей, дисков перекрытий и пр. с помощью рубашки, металлических и железобетонных обойм.

Метод полного усиления зданий предполагает введение дополнительных элементов: диафрагм жесткости, крестовых связей, порталов из железобетона и металла. Также расчетные сейсмические нагрузки уменьшаются с помощью снижения массы здания путем замены некоторых элементов конструкции:

- тяжелого утеплителя на легкий и эффективный;
- железобетонных плит покрытия и подвесного потолка на стальной профнастил;
- демонтаж верхних этажей.

Выбор метода усиления

Выбирая способ сейсмического усиления конструкции, необходимо руководствоваться общими принципами проектирования объектов в сейсмических районах. Усилия в несущих строительных конструкциях определяются на основании расчетов зданий на действие расчетных сейсмических нагрузок в соответствии с требованиями СНиП П-7-81* и с использованием специализированных компьютерных расчетных программ.

Сюда входят классические способы укрепления:

- ✓ устройство железобетонных рубашек;
- ✓ торкретирование;

✓ установка металлических обоек.

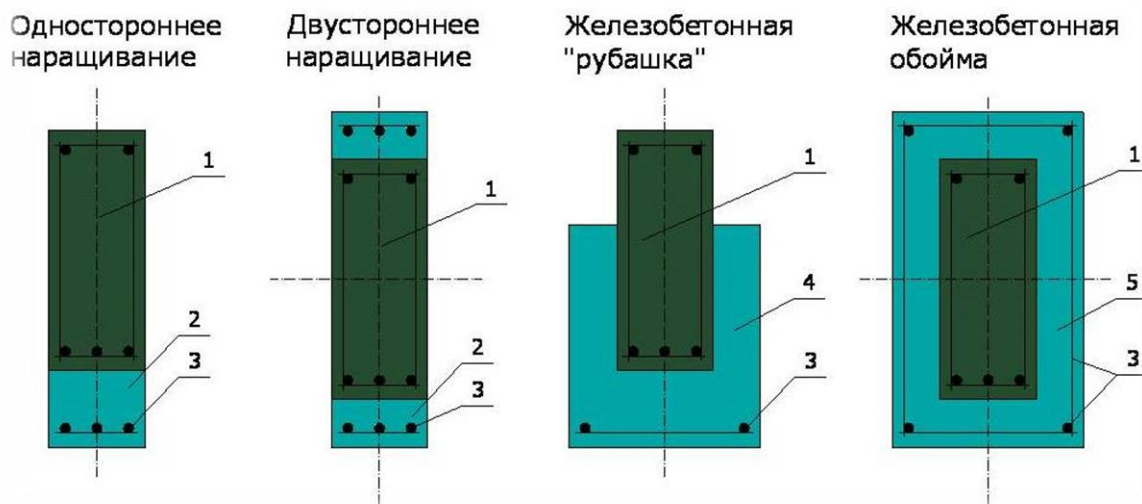


Рис.3. Классические способы укрепления.

Однако практическая реализация данных работ характеризуется высокими трудозатратами и необходимостью временного выведения строения из эксплуатации.

Более рациональная и современная технология увеличения сейсмостойчивости - это применение углекомполитов. Он может использоваться в регионах с уровнем сейсмической активности до 9 баллов и обеспечивает четырехкратное снижение нагрузок при землетрясениях.

При расчете схемы здания важно обращать внимание на текущее состояние узлов опирания и сопряжения элементов конструкций, на наличие и состояние связей, которые отвечают за пространственную жесткость сооружения и его несущих конструкций.

Недостаточная сейсмостойкость конструкций выявляется с помощью расчетов. Если обнаружена недостаточная несущая способность элементов здания, производится разработка технических решений по их усилению или вводу дополнительных элементов, принимающих часть горизонтальной и динамической нагрузки.

Сейсмоусиление с применением железобетона и металла может существенно изменить расчетную схему здания, его внешний и внутренний облик. Углеродные материалы для внешнего армирования способны так же эффективно распределить усилия в элементах конструкции, без изменения объемно-пространственной модели здания и без влияния на эстетический облик здания.

Сейсмоусиление с помощью системы внешнего армирования из композитных материалов

Зоны конструкции, подверженные большим нагрузкам на сжатие, растяжение и изгибающий момент, могут быть усилены углеродными (композитными) материалами. Углеродные материалы (ленты, ламели, сетки и пр.) изготавливаются из углеволокна, состоящего из тонких нитей диаметром от 5 до 15 микрометров, которые образованы атомами углерода.

По сравнению с обычными материалами, используемыми для сейсмоусиления, углеродные ленты обладают экстремально высокой прочностью, сопротивляемостью «усталости», высоким модулем упругости и химической стойкостью. Применение системы внешнего армирования композитными материалами уменьшает сейсмонагрузку в 1,5-4 раза в зависимости от типа конструкции и условий площадки. Сейсмоусиление углеродными лентами повышает сейсмостойкость существующих зданий и сооружений на 2-3 балла.

Принцип сейсмоусиления углеволокном заключается в наклеивании с помощью эпоксидного клея на поверхность несущих конструкций высокопрочных холстов, ламинатов или сеток. Также углеродные ленты крепятся к:

- изгибаемым конструкциям в растянутых зонах;
- приопорным участкам в зоне действия поперечных сил;
- сжатым и внецентренно сжатым элементам.

В отличие от перечисленных выше методов сейсмоусиления внешнее армирование углеволокном имеет несколько преимуществ:

- сокращение временных и трудовых затрат при выполнении работ;
- возможность выполнять сейсмоусиление без остановки функционирования объектов;
- не требует применения специальной техники;
- не дает дополнительной нагрузки на фундамент здания и сохраняет в неизменном виде объемно-планировочные решения.

Повышение сейсмостойкости композитными материалами снижает сейсмическую реакцию во время землетрясений, что предотвращает обрушение строений. Также обеспечивается бесперебойная подача электроэнергии, функционирование водопровода, устройство пожаротушения и других коммуникаций. Система внешнего армирования углеродными материалами повышает срок службы несущих конструкций здания на 50 лет.

Сейсмоусиление композитными материалами дает свободу выбора планировочного и конструктивного решения здания, а также возможность сохранения существующего архитектурного облика.

Способы увеличения практической сейсмостойкости зданий

Помимо базовых методов улучшения стойкости к сейсмической активности при строительстве, таких как демпферы, сейсмоопоры, итд., на практике также применяются укрепляющие системы, предназначенные для обеспечения достаточной несущей способности и сопротивления изгибающему моменту сейсмоизолятора

Все сложнее проектировать современные здания и сооружения в районах с повышенной сейсмичностью, в условиях, когда: 1) качество нормативных документов ненадлежащее; 2) фактически свернуты научные исследования в свете поиска новых конструктивных форм и систем сейсмозащиты. Поэтому новизна исследований в направлении поиска надежных систем сейсмоизоляции (вопреки нормативным документам), также очевидна.

Системы сейсмозащиты. На современном этапе проблема защиты зданий и сооружений от сейсмических воздействий является задачей первостепенной важности.

Традиционный способ обеспечения сейсмостойкости сооружений предусматривает повышение несущей способности основных конструктивных элементов за счет увеличения их размеров и прочности. Такой вид сейсмозащиты называется пассивным. Применение элементов пассивной сейсмозащиты приводит к увеличению сечений конструктивных элементов, что в свою очередь приводит к увеличению жесткости и веса сооружения. Это вызывает возрастание инерционной (сейсмической) нагрузки, и, следовательно, чтобы воспринять ее, следует еще раз пересмотреть размеры сечений сейсмозащита и сейсмоизоляция зданий и сооружений 28 сейсмостойкое строительство.

Сейсмоизоляция, как новое научное направление, не имеет единой методологии научно-технического обоснования, позволяющего делать объективные выводы по полезности того или иного решения и, соответственно, о его целесообразности. В нашей стране и за рубежом предложено и разработано большое количество систем активной сейсмозащиты зданий. На многих объектах проведены вибрационные испытания, что позволило получить экспериментальные данные о поведении этих систем при динамических воздействиях.

Во-первых, только в процессе строительства можно достоверно оценить технологичность каждой системы сейсмозащиты, получить данные о технико-экономических показателях, которые, в конечном счете, могут оказаться решающими при выборе той или иной системы сейсмозащиты [4].

Во-вторых, уже сейчас на основании существующего опыта теоретических и экспериментальных исследований можно выделить ряд перспективных для сейсмостойкого строительства систем сейсмозащиты. В ЦГИ РАН проводятся исследования по усовершенствованию уже известных систем с кинематическими

опорами, упругой или гравитационной возвращающей силой и диссипативными демпферными элементами. Целью настоящих исследований является поиск усовершенствованных систем для понижения энерговосприятия всем спектром собственных колебаний здания ниже предела значений энергий, передаваемых диапазоном ускорений сейсмического воздействия.

Сейсмоизоляция подразделяется на следующие классификационные подгруппы:

- здания с грунтовым экранированием;
- здания со скользящими фундаментными сейсмопоясами;
- здания с гибким первым этажом;
- здания с гибкостержневыми опорами или поясами;
- здания с подвесными опорами;
- здания с резинометаллическими или иными виброизолирующими опорами;
- здания с гидрофрикционными опорами;
- здания с кинематическими (чаще всего катковыми) опорами.

В любой из этих подгрупп, кроме первых двух, сейсмоизоляция может дополнительно включать в себя средства повышенного демпфирования колебаний. При сейсмоизоляции опорные части зданий могут двигаться, колеблясь относительно грунта со своей сниженной амплитудой, а спектр собственных колебаний здания может быть выведен далеко за пределы обычно встречающихся спектров землетрясений. Система сейсмоизоляции наиболее перспективна и, оправдывая своё название, изолирует здание от колебаний грунта за счёт использования зданием инерции покоя. В этом случае грунт основания под зданием колеблется с наименьшей зависимостью от массы здания за счёт устранения жесткой связи здания с основанием путём замены её на весьма податливую связь, передающую зданию тем меньшую силу от движения грунта, чем более податлива связь грунта со зданием. В частности, для изоляции здания от горизонтальных колебаний грунта, оно может ставиться на горизонтально скользящие по фундаментной плите опоры или пояса, или катки с малым коэффициентом трения (рис.1).

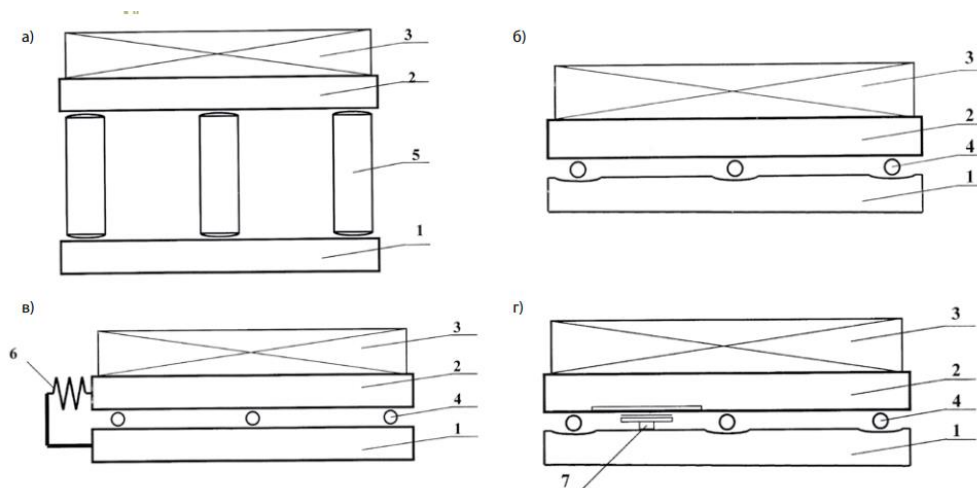


Рис.4. Усовершенствованные системы сейсмоизоляции [5-10]: 1 - фундаментная плита; 2 - опорная плита; 3 - сейсмоизолируемый объект; 4 - опоры в форме шара; 5 - опоры в форме стоек со сферическими торцами; б - упругий возвратный элемент; 7 - ветровой автоматический тормоз.

С учетом интегральных критериев РДМ может быть принята в виде консольной системы с дискретным распределением этажных масс m_i и этажными диаграммами $R(\Delta_i)$ (рис.2а): , (1) где — D_k , $R_k(\Delta_k)$ — параметры затухания и деформации k -ого этажа; $\Delta_k = X_k - X_{k+1}$ - перекося k -ого этажа; $k = 1, 2, \dots, n+1$, n — количество этажей здания, $n+1$ - номер относится к элементу сейсмоизоляции или фундаменту; $0(t)$ — ускорение грунта основания. Оценка сейсмостойкости натуральных объектов исследований выполняется согласно принятой расчетной модели и критериям предельного состояния. В практике эксперимента наиболее удобными критериями сейсмостойкости зданий являются перекося этажей Δ , увязанные со степенью повреждаемости конструкций. Эти данные могут быть получены при статических и динамических испытаниях в виде силовой характеристики $R(\Delta)$, графически представленной диаграммой деформирования.

Перекося Δ объединяют разнородную деформацию этажа и в этом смысле являются ее интегральной мерой. Максимально допустимые перекося $[\Delta]$ соответствуют заранее заданным предельным состояниям. Например, при $[\Delta_{доп}] = h/500$ (где h — высота этажа) происходит только повреждение стен, а при $[\Delta_{доп}] = h/200$ - обрушение перекрытий. Расчетная модель в значительной мере является условной. Главное требование, предъявляемое к ней, состоит в том, чтобы она отражала динамическое состояние здания при испытании: частоту и формы резонансных колебаний, а также его диссипативную способность.[5].

Рассмотрим гистерезисную диаграмму деформирования этажа здания, скелетная кривая которой, описывается уравнением, $R(\Delta_k) = (k/\varepsilon) \cdot \arctg \varepsilon \Delta$. Имеем участки «нагрузки разгрузки». 0-1, 2-3, 4-5 — нагружение, 1-2, 3-4 — разгрузка, подчиненная

линейному закону (рис.2(б)). В работе представлены результаты расчетов трехэтажного каркасного здания (рис.2(а)) на сейсмическое воздействие с учетом упруго-пластической работы материала, а так же линейной работы материала. Рассмотрим получившиеся результаты.[6].

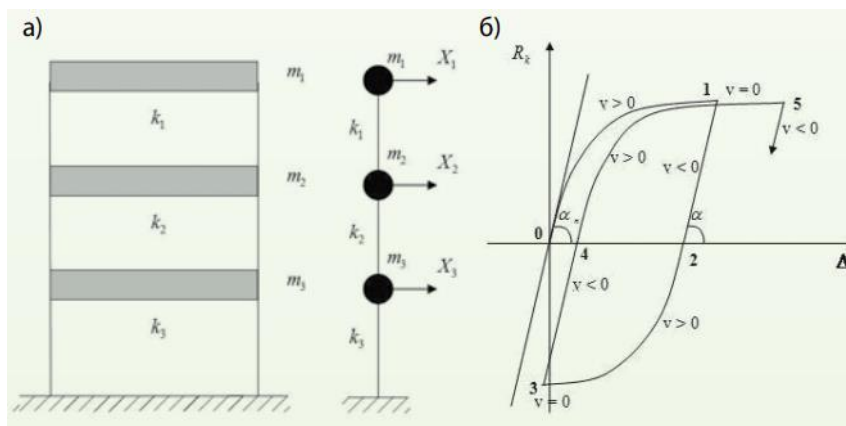


Рис.5. а) РДМ трехэтажной рамы; б) – расчетная диаграмма нелинейного деформирования k -ого этажа.

В рамках выполнения этого проекта были уточнены главнейшие закономерности сейсмичности для оценки степени и потенциальной опасности района Республики; проведена инвентаризация оценка технического состояния всех малоэтажных и многоэтажных жилых зданий советской постройки, возведенных государством, и с применением новых методов и технологий (ГИС-технологии) разработан сценарий последствий сильных потенциальных землетрясений для территории Республики Кыргызстан [7,8,9].

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЛИТЕРАТУР

Источники Кыргызской Республики, стран Центральной Азии и Российской Федерации СНиП 22-01-98 КР «Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки». Минархстрой Кыргызской Республики. Бишкек, Кыргызская Республика, 1998. СНиП КР 20-02:2009 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования». Государственное агентство по архитектуре и строительству при Правительстве Кыргызской Республики. Бишкек, Кыргызская Республика, 2009. КНИИПСС (1996).

1. «Всемирный Банк. 2018. Практическое пособие по проектированию и конструированию сейсмоусиления зданий школ в Кыргызской Республике. Всемирный Банк». 1-3стр.
2. Вестник Института сейсмологии НАН КР №1(13), 2019. 27-28стр.
3. «Всемирный Банк. 2018. Практическое пособие по проектированию и конструированию сейсмоусиления зданий школ в Кыргызской Республике. Всемирный Банк». 5-7стр.
4. **Немчинов Ю.И.** Сейсмостойкость высотных зданий и сооружений. – Киев: Гудименко С.В., 2015. – 584 с.

5. **Белаиш Т.А.** Сейсмоизоляция в системах сейсмозащиты зданий. – Бишкек: Вестник, Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству, №1/2018 (2), С.37-40.
6. Вестник Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета «современные методы сейсмозащиты зданий» 1-3 стр.
7. Международная ассоциация экспертов по сейсмостойкому строительству №1/2018(2). 176-177стр.
8. СНИП КР 22-01:2009. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Государственное агентство по архитектуре и строительству при Правительстве Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызская Республика.
9. СНИП КР 20-02:2018. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Государственный институт сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования Госстроя Кыргызской Республики и Международная Ассоциация экспертов по сейсмостойкому строительству, Бишкек, Кыргызская Республика.
10. **Стамов А.К.** Методика расчетного анализа коэффициента сейсмобезопасности существующего здания. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2021. – № 2 (12). – С. 3-15.
11. **Абдыганы у. Э.** Проектирование и конструирование технических решений сейсмоусиления зданий малой этажности. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2021. – № 1 (11). – С. 3-15.
12. **Жолдошбек у. И.** Разработка методики испытания креплений фасадных элементов. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2021. – № 1 (11). – С.42-54.
13. **Абдыганы уулу Э., Абдыкалыков Д.** Практичность применения методики оперативного обследования зданий в полевых условиях на территории Кыргызской Республики. – Наука и инновационные технологии. – 2020. – № 1 (14). – С. 5-17. doi:10.33942/sit.nes026.
14. **Эркинбек к. Г., Омурбек у. М., Акылбек у. М.** Эффективное использование инновационных технологий по развитию энергоэффективности зданий. – Наука и инновационные технологии. – Б.: МУИТ, 2021. - №2 (19). – С. 207-213.
15. **Матыева А.К., Таалайбеков А., Апысов К., Рысбаев Э., Таалайбеков С.** Инновации в сейсмостойком строительстве. – Наука и инновационные технологии. – Б.: МУИТ, 2021. - №1 (18). – С. 154-161.
16. **Муканбет к. Э., Эркинбек к. Г., Отогонов А.Ж., Турсункулов Т.Ч.** Теоретические методы сейсмозащиты здания и сооружения. – Наука и инновационные технологии. – Б.: МУИТ, 2022. - №1 (22). – С. 139-146.