

Ышык Ханифи Арслан – магистрант,
Бектемирова Майрамкан Акбийовна – магистрант,
Ошский технологический университет

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

В настоящей статье рассматриваются проблемы обеспечения сейсмостойкости многоэтажных каркасных зданий, даны сведения о катастрофах, связанные с землетрясением, конструктивное решение сейсмостойких зданий, методы сейсмозащиты, выводы и список использованной литературы.

Ключевые слова: землетрясение, бальность землетрясения, надежность, деформация, динамическая жесткость, сейсмоустойчивость, сейсмостойкость, сейсмоизоляция, сейсмозащита, гасители колебаний, поверхность скольжения.

Ышык Ханифи Арслан, магистрант,
Бектемирова Майрам Акбийовна - магистрант,
Ош технологиялык университети

КӨП КАБАТТУУ КАРКАСТЫК ИМАРАТТЫН ЗИЛАЛАГА ТУРУШТУГУН КАМСЫЗДОО

Бул макалада көп кабаттуу каркастык имараттын зилалага туруштук берүү маселеси каралган, зилалага байланыштуу болгон катастрофалар, зилалага туруштук берүүчү имараттардын конструктивдик чечимдери, зиаоадан сактоо ыкмалары, жыйындыктар жана колдонулган адабияттар тизмеси берилген.

Ачкыч сөздөр: жер титирөө, жер титирөө баллдыгы, ишенимдүүлүк, деформация, динамикалык катуулук, жер титиргө туруктуулук, жер титирөөдөн обочолонтуу, термелүүнү басандатүү, жылмакай бет.

Yshyk Khanifi Arslan – graduate student,
Bektemirova Mairamkan Akbeiovna - graduate student,
Osh technological university

ENSURING SEISMIC RESISTANCE OF MULTI-STOREY FRAME BUILDINGS

This article discusses the problems of ensuring the earthquake resistance of multi-storey buildings, provides information about disasters associated with an earthquake, a constructive solution of earthquake-resistant buildings, earthquake protection methods, conclusions and a list of references.

Key words: earthquake, earthquake magnitude, reliability, deformation, dynamic stiffness, earthquake resistance, seismic isolation, earthquake protection, vibration dampers, sliding surface.

Землетрясения среди катастроф одно из опасных бедствий нашего времени. До сих пор наука не может точно предсказать при краткосрочном прогнозе. По данным сейсмологов, ежегодно на Земном шаре происходит свыше 57 тысяч землетрясений:

одно сверхмощное, 18 — от 6 до 6,9 балла, 800 — от 5 до 5,9 балла, 6200 — от 4 до 4,9 балла, 49 тысяч — от 3 до 3,9 балла. Кроме того, каждый день землю сотрясает до тысячи слабых, улавливаемых только локальной сейсмографической аппаратурой толчков от 2 до 3 баллов и до 8 тысяч микротолчков мощностью 1-2 балла [1].

Часто землетрясение вызывает активизацию других катастрофических природных явлений, например, цунами, выход рек из берегов, и, как следствие — наводнение, оползни и т.п. Наиболее известными катастрофическими землетрясениями являются: Мессина на Сицилии (Италия), погибли 83 тыс. человек, одновременно с землетрясением на город обрушились ураганы и цунами — 28.12.1908 г.; провинция Ганьсу (Китай), погибли 180 тыс. чел. — 16.12.1920 г.; Токио и Йокохама (Япония), погибли 143 тыс. человек, разрушено 575 тыс. домов — 1-3.9.1923 г.; Чили, погибли более 50 тыс. человек — 24.1.1939 г.; провинции Эрзинджан, Сивас и Самсун (Турция), погибли более 50 тыс. чел. — 27.12.1939 г.; Ашхабад (Туркмения), погибли 176 тыс. человек — 6.10.1948 г.; Уругвай, Перу, погибли более 50 тыс. человек — 31.5.1970 г.; Таншань (Китай), погибли более 240 тыс. и ранено 773 тыс. человек — 28.7.1976 г.; Спитак (Советская Армения), погибли около 30 тыс. и остались без крова 500 тыс. человек, разрушено две трети г. Лениакана (всего пострадали 21 город и 342 села) — 7.12.1988.; Иран, погибли 50 тыс. человек — 21.6.1990 г.; Бам (Иран), погибли около 40 тыс. человек — 26.12.2003 г.; Юго-Восточная Азия, в результате подводного землетрясения на ряд стран этого региона (Индонезию, Индию, Малайзию, Сомали, Таиланд, Шри-Ланку и др.) обрушилось цунами с катастрофическими последствиями, погибли около 280 тыс. и остались без крова 3 млн. человек — 26.12.2004 г.; Пакистан (землетрясение захватило также Северную Индию и часть Афганистана), погибли около 90 тыс. человек — 8.10.2005 г.; Китай (провинция Сычуань), погибли около 100 тыс. чел. — 12.05.2008; Гаити, погибли около 200 тыс. чел. — 12.01.2010 г.

Управление по стихийным бедствиям и чрезвычайным ситуациям Турции (AFAD) установило, что в период между 1900 и 2017 годами в стране произошло 210 сильных землетрясений, в результате которых погибло 86 тыс. 802 человека и было разрушено 597 тыс. 865 домов. 17 августа 1999 года в Турции произошло землетрясение силой в эпицентре 9-10 баллов, магнитуда 6,8. Эпицентр землетрясения находился близ промышленного города Измит, расположенного в 80 км от г. Стамбула. Наиболее сильные толчки ощущались в пределах территории с населением около 18 млн человек. Землетрясением были разрушены более 5 тыс. зданий, уничтожены сотни километров автомобильных и железных дорог, нарушено электроснабжение и телефонная связь. Погибло от 17 до 50 (по различным оценкам) тыс. человек [2].

25 августа 1999 года в столице Турции Анкаре зафиксировано новое землетрясение магнитудой 4,7. Всего в Анкаре зарегистрировано 6 подземных толчков средней силы. Землетрясение вызвало панику в г. Анкаре. Многие жители выбежали из домов.

Разрушительное землетрясение в юго-восточной турецкой провинции Ван магнитудой 7,1, произошло 23 октября 2011 года в 16 км к северо-востоку от Вана. Гипоцентр землетрясения находился на глубине 16 км. В результате землетрясений 23 октября и 9 ноября в провинции Ван погибло около 640 человек, пострадало несколько тысяч, многие лишились крова.

В Кыргызстане ежегодно происходят 300 землетрясений разной магнитуды.

Ежегодно на Земле от катастрофических землетрясений гибнет в среднем около 30 тыс. человек и наносится огромный экономический ущерб в сотни миллиардов долларов США.

Землетрясение — природное явление, сложно предугадать ее силу и место где произойдет.

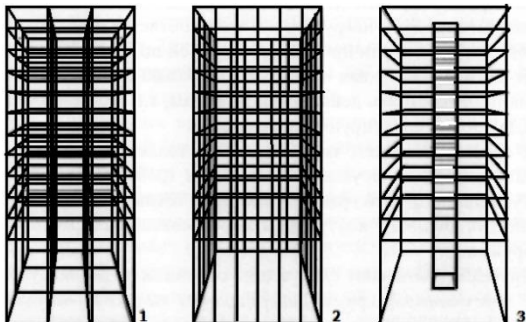


Рис. 1. Типы зданий по типу несущих конструкций

Проектирование зданий и сооружений в сейсмических условиях требует продуманности и точного расчёта, достижения неразрывности элементов и конструкций, т.е. согласованности передачи нагрузок для каждого этажа. Несущие системы зданий в сейсмических районах - это системы из прочных жестких элементов, располагаемых преимущественно в вертикальном протяжении, в которых перераспределение сил, а именно, фокусирование и заземление горизонтальных сил, осуществляется определенной

«устойчивой по высоте» структурой. По типу несущей конструкции здания и сооружения можно подразделить на:

- рамные (каркасные конструкции),
- с несущими стенами,
- ствольные сооружения.

Основная задача проектировщика состоит в том, чтобы по возможности интегрировать эти три системы и создать такую конструктивную основу, которая бы взяла на себя все эти функции.

Строительство в зонах высокой сейсмичности требует выполнения специальных требований СНиП. Основанием служат грунты: не выветренные скальные и полускальные породы, плотные и маловлажные крупнообломочные грунты. Грунты с высоким содержанием воды гравийные, песчаные и глинистые (макропористые), а также пластичные, текучие глинистые (не макропористые) грунты не используются.

При проектировании зданий и сооружений в сейсмических районах следует придерживаться нижеследующих общих положений:

- ✓ конструктивные решения должно снижать сейсмические нагрузки, следует применять симметричные конструктивные схемы, легкие ограждающие конструкции и несущие конструкции, которые дают развитие пластическим деформациям в элементах и стыках;
- ✓ рассчитывать конструкции на обычные нагрузки (собственный вес, временные и другие нагрузки) и расчеты на воздействие сейсмических сил;
- ✓ предпочтительными формами здания в плане: круг, многоугольник, квадрат, в сложных формах плана разрезаются здания по высоте на отдельные отсеки простой формы, с целью обеспечения во время землетрясения независимую работу каждого из них;
- ✓ величины сейсмической нагрузки определять с учетом интенсивности, продолжительности и частотных характеристик землетрясения.

Конструирование каркасных зданий в сейсмических районах имеет свои особенности. Среди конструктивных схем каркасная конструктивная схема зданий в сейсмических условиях является более эффективной. Каркасное здание представляет собой систему состоящая из фундаментов, колонн, ригелей, плит перекрытий и элементов жесткости – связей, диафрагм или ядер жесткости.

В каркасных зданиях горизонтальную сейсмическую нагрузку воспринимают:

- ✓ каркас с жесткими узлами рам;
- ✓ каркас с заполнением;
- ✓ каркас с вертикальными связями, диафрагмами или стволами жесткости.

Для усиления жестких узлов железобетонных каркасов здания используют сварные сетки, спирали или замкнутые хомуты. Диаметр хомутов следует принимать не менее 8 мм. Диафрагмы, связи и ядра жесткости должны устанавливаться по всей высоте здания и располагать в обоих направлениях относительно центра тяжести здания.

В сборно-монолитном каркасе колонны и плиты перекрытий объединяют в единую конструкцию с помощью натяжения на бетон канатной арматуры.

Ограждающими стеновыми конструкциями каркасных зданий являются легкие навесные панели, в качестве заполнения могут выступать кирпич и камень.

Сборные колонны многоэтажных зданий укрупняют на несколько этажей. Стыки колонн необходимо располагать в зонах с минимальными изгибающими моментами. Кладка самонесущих стен в каркасных зданиях должна быть I или II категории, иметь гибкие связи с каркасом, не препятствующие горизонтальным смещениям каркаса вдоль стен. Между поверхностями стен и колонн каркаса должен быть зазор не менее

20 мм.

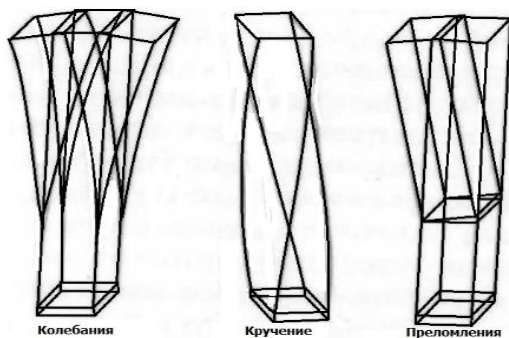


Рис. 2. Деформации здания от горизонтального воздействия сил и сплошные фундаментные плиты.

По всей длине стены должны устраиваться антисейсмические пояса, соединенные с каркасом здания. В местах пересечения торцовых и поперечных стен с продольными стенами устанавливают антисейсмические швы на всю высоту стен. При проектировании высоких зданий учитывают осевые деформации, проводится расчет на устойчивость против опрокидывания. При строительстве высоких зданий на некальных грунтах следует использовать фундаменты свайные или сплошные фундаментные плиты [3].

Надежность здания можно обеспечивается кроме прочных и устойчивых конструкций и правильным подбором облицовочных материалов фасадов здания. Керамогранит как облицовочный материал не рекомендуется к применению, он опасен даже при слабом землетрясении, так как разламывается на осколки.

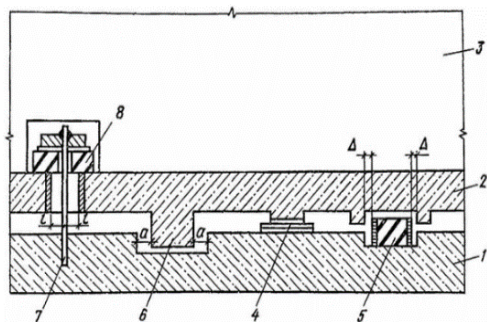
Наиболее перспективное направление повышения сейсмостойкости – это активный способ самоизоляции. Активный способ сейсмоизоляция подразумевает отстройку частот колебаний здания от преобладающих частот воздействия. Именно это и обеспечивает снижение динамических характеристик механической энергии, получаемой конструкцией от основания во время колебательного процесса при землетрясении. Регулирование динамических параметров позволяет избежать резонансного увеличения амплитуд колебаний сооружения или понизить резонансные эффекты.

Для изменения динамической жесткости зданий и сооружений при землетрясении используются специальные конструктивные устройства: скользящие пояса, выключающиеся связи, гасители колебаний, кинематические фундаменты, свайные фундаменты, обладающие повышенными диссипативными характеристиками, рамно-связевые системы с составными диафрагмами жесткости, резино-стальные цилиндрические опоры и др [4].

Результаты изучения взаимодействия основания сооружения с его надземной частью при различных землетрясениях показывают, что при высокочастотных сейсмических волнах хорошо переносят землетрясения гибкие системы, *т.е. каркасные или высокие здания* и, наоборот, при длиннопериодных низкочастотных сейсмических волнах — здания с жесткой конструктивной схемой или низкие, малоэтажные. Однако предполагать, что в конкретном регионе преобладают землетрясения с определенными доминантными частотами, не приходится. Поэтому в подавляющем большинстве случаев инженеру-проектировщику приходится принимать решения в условиях неопределенности информации о параметрах прогнозируемых сейсмических воздействий [4,5].

Расчетно-теоретические исследования, выполненные в России, Кыргызстане и других странах свидетельствуют, что более благоприятное поведение в условиях неопределенности данных об изменениях внешнего воздействия обнаруживается у систем сейсмозащиты, динамические параметры которых могут изменяться в регулируемых пределах в процессе землетрясения.

Наиболее перспективными системами сейсмоизоляции, нашедшими применение в экспериментальном строительстве стран СНГ, являются системы: со скользящим поясом; с выключающимися связями; с кинематическими опорами; с гасителями колебаний; со свайными фундаментами, обладающими повышенными диссипативными свойствами; рамно-связевые системы с составными диафрагмами жесткости; резино-стальные цилиндрические опоры; сейсмоизолирующие системы со скользящим поясом.



Сейсмоизолирующие системы со скользящим поясом (рис. 3) конструктивно выполнены в виде верхнего и нижнего опорных элементов, между которыми размещен изолирующий слой из материалов минерального происхождения: песок, глина и т.д. или синтетических прокладок с низким значением коэффициента трения, например, фторопласт [4].

Рис. 3. Схема элементов сейсмоизолирующего скользящего пояса. 1 — верхняя обвязка фундамента (стен подвала); 2 — ростверк; 3 — надземные конструкции здания; 4 — скользящая опора; 5 — упругий ограничитель горизонтальных перемещений; 6 — жесткий ограничитель горизонтальных перемещений; 7 — ограничитель вертикальных перемещений (вертикальная связь); 8 — вертикальный амортизатор

Сейсмоизолирующие опорные конструкции скользящего типа силами сухого трения создают жесткую кинематическую связь сооружения с основанием до тех пор, пока суммарная инерционная сила в системе не превысит определенного уровня — порога срабатывания, величина которого зависит от коэффициента трения и конфигураций поверхностей скольжения фундамента. Поглощение энергии колебаний и ее рассеяние при относительном проскальзывании опорных элементов сейсмоизолирующего устройства весьма значительно, что позволяет обойтись без постановки дополнительных гасителей колебаний [4].

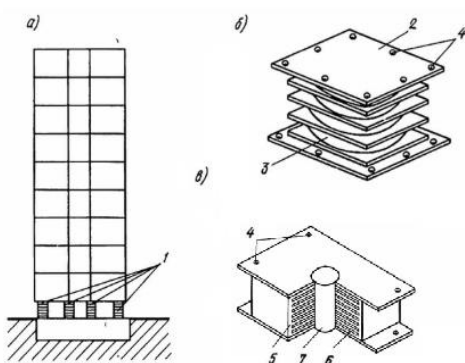


Рис. 4. Сейсмоизоляция здания с помощью резинометаллических опор.

а — схема установки опоры; б — схема конструкции опоры GAREC в — схема конструкции опоры, разработанный в Новой Зеландии; 1 — опора; 2 — стальная плита; 3 — слой неопрена; 4 — отверстия для анкерных болтов; 5 — резина; 6 — сталь; 7 — свинец.

В зависимости от формы поверхностей скольжения их можно разделить на две группы: невозвратные и конструкции с гравитационной восстанавливающей силой.

К первой группе относятся опорные устройства с горизонтальными площадками скольжения. Потенциальная энергия взаимного положения элементов конструкции в процессе их относительного перемещения остается постоянной, т.е. система всегда находится в положении устойчивого равновесия [4].

Устройства второй группы, имеющие в общем случае негоризонтальные поверхности скольжения, обеспечивают возврат сместившегося в результате сейсмического толчка сооружения в начальное положение устойчивого равновесия за счет возникновения гравитационной восстанавливающей силы постоянной по величине или позиционной, т. е. зависящей от взаимного расположения элементов конструкции (криволинейные поверхности).

Характерным устройством первой группы является сейсмоизолирующий «скользящий пояс», представляющий собой ряд отдельных опор, между элементами которых установлены прокладки из фторопласта - 4 в паре трения с пластинами из нержавеющей стали (рис. 5). Первоначально такие конструкции разрабатывались для подвижных опор мостов. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко совместно с Фрунзенским политехническим институтом впервые применил «скользящий пояс» для сейсмоизоляции зданий [4].

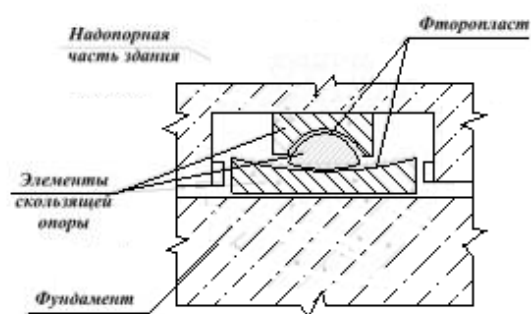


Рис. 5. Экспериментальный жилой дом серии 158 на сейсмоизолирующих опорах с прокладками из фторопласта
На рис.5. показана конструкция скользящего пояса, которая была реализована в экспериментальном жилом доме серии 158, построенном в г. Бишкек.

В результате исследований различных комбинаций пар трения в «скользящем поясе» был принят вариант с использованием пластин из фторопласта - 4 - синтетического материала (тетрафторэтилен) с низким значением коэффициента трения (по стали 0,04-0,1). Этот материал не горит, не стареет, обладает чрезвычайно высокой химической стойкостью; не реагирует с концентрированными кислотами и щелочами, не гниет, сохраняет свои свойства в интервале температура от -60° до $+60^{\circ}$. Испытания модели жесткого сооружения на виброплатформе показали существенное снижение реакции системы со скользящим поясом по сравнению с традиционным фундаментом жесткого типа. Характерной особенностью поведения фрикционных систем с горизонтальными поверхностями скольжения является возможность возникновения вибрационного перемещения, т.е. медленно направленного движения с постоянной или незначительно изменяющейся скоростью [4].

Среди многочисленных сейсмоизолирующих устройств следует особо выделить класс опорных кинематических фундаментов разработанный в Казпромстройпроекте [4]. Конструкция кинематических фундаментов (рис. 6.) представлена подвижным элементом со сферической пятой, опирающейся на опорную плиту или другое твердое основание. Шарнирная связь с фундаментным строением обеспечивает подвижность в горизонтальной плоскости по всем направлениям. Кинематический фундамент выполняется из бетона марки 300-400 и армируется стальными сетками.

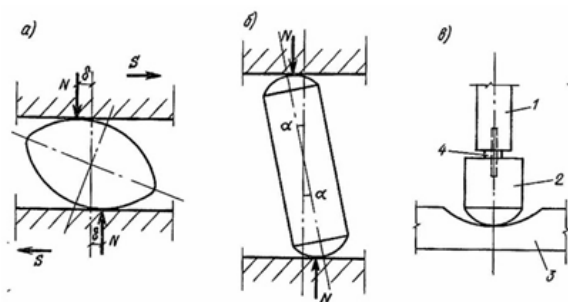


Рис. 6. Сейсмоизоляционные кинематические опоры.

а — эллипсоиды вращения; б — стойка со сферической поверхностью торцов; в — опора конструкции; 1 — колонна; 2 — подколонник; 3 — опорная плита; 4 — центрирующая шайба.

Шарнирное соединение выполняется в виде связующего анкера и плоской стальной шайбы, квадратной в плане. Шарнирное соединение является одновременно ограничителем перемещений, так как связующий анкер создает возрастающее сопротивление повороту кинематического фундамента. Грунт обжимающий фундамент также служит ограничителем.

Из конструктивной схемы фундамента видно, что гравитационная сила, удерживающая кинематический фундамент в состоянии устойчивого равновесия, определяет горизонтальную жесткость его и зависит от веса на фундаментного строения и радиуса кривизны пяты. Варьируя жесткость кинематического фундамента можно изменять в широких пределах. Выведенный из равновесия фундамент будет стремиться к начальному положению.

Геометрические параметры кинематического фундамента зависят от величины, передаваемой на фундамент вертикальной нагрузки, прочности используемого материала и интенсивности сейсмического воздействия.

Минимальные размеры кинематического фундамента и опорной фундаментной плиты должны соответствовать условиям прочности по несущей способности и смятию контактных поверхностей. Размеры опорной плиты в плане зависят от несущей способности основания. Прочность контактируемых элементов проверяется на смятие по СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования».

Критические замечания к «гибким» этажам высказывались еще в 30-х годах. Отмечалось, что такие здания в некоторых случаях испытывают значительные перегрузки, вызывающие разрушения. Слабым местом таких систем является сам «гибкий» этаж. Разрушение таких зданий начиналось с перекоса стоек «гибкого» этажа и затем потерей несущей способности в местах соединений с фундаментом и вторым жестким этажом.

Чтобы избежать возможности опасных резонансных колебаний зданий с первым гибким этажом при землетрясениях с большими доминантными периодами, в ЦНИИСК им. Кучеренко (Россия) была разработана конструкция зданий с выключающимися связями. Система сейсмической защиты с выключающимися связями названа адаптивной и предназначена для снижения инерционных нагрузок в здании, возникающих при сейсмическом воздействии.

Адаптация к сейсмическим воздействиям достигается за счет применения специальных конструктивных элементов, которые повышают жесткость сооружения в начальном состоянии и выключаются при достижении некоторого порогового уровня амплитуд сейсмических колебаний сооружения. При этом все несейсмические нагрузки должны полностью восприниматься несущими конструкциями сооружения в состоянии, когда дополнительные жесткие связи выключены [2,4].

Сейсмоизоляция включает жесткий связевой элемент. Выключающийся элемент жестко прикрепляется к связевому элементу и к основной несущей конструкции (ригель, перекрытие и т.п.) или иным способом, обеспечивая жесткую связь вышележащих этажей и фундамента до определенной пороговой величины сейсмической нагрузки и перемещения. После превышения этой пороговой величины выключающийся элемент разрушается и после этого связевой элемент не участвует в работе несущей конструкции зданий [3,4].

В зависимости от конструктивной схемы и высоты здания выключающиеся связи могут размещаться по горизонтали или по высоте здания.

В многоэтажных зданиях выключающиеся связи устраиваются в нижних каркасных этажах (рис. 7).

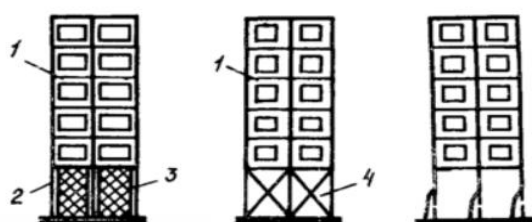


Рис. 7. Здания с выключающимися связями в нижних каркасных этажах. 1 — верхние этажи жесткой конструкции; 2 —каркасный гибкий нижний этаж; 3— выключающиеся панели-связи; 4 — выключающиеся диагональные связи.

Вышележащие этажи представляют собой жесткие пространственные конструкции коробчатого типа, например, крупнопанельные, объемно-блочные, кирпичные, а также комплексной конструкции и т.п. В плоскости рам нижней каркасной части устраиваются дополнительные конструктивные элементы, выполняющие роль выключающихся связей, которые могут отключаться во время землетрясения. После землетрясения выключающиеся связи восстанавливаются до первоначального состояния. В качестве таких конструктивных элементов могут использоваться панели из бетона, керамзитобетона, кирпичной кладки, декоративные решетки, диагональные растяжки или раскосы [3,5]. Применяется включающиеся связи двух разновидностей. Первое - жесткие панели-связи, которые прикрепляются к фундаментам колонн снизу и к ригелям рамы сверху. Выключение связи в этом случае связано с разрушением панели (см. рис. 7). Вторая разновидность (рис. 8) состоит из двух элементов; жесткой диафрагмы и выключающегося элемента связи. Конструктивно диафрагма может быть выполнена в виде панели, декоративной решетки, арки, треугольного элемента типа фермы с жесткими узлами, элемента архитектурного оформления здания и т. п.

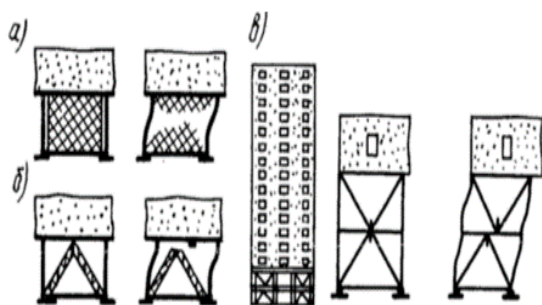


Рис.8. Конструктивные решения зданий с выключающимися связями. а) - выключающиеся (разрушающиеся) панели связи; б) -выключающиеся элементы в сочетании с жесткими неразрушающимися сквозными или сплошными панелями; в) — размещение выключающихся элементов и связей в двух нижних каркасных этажах.

Выводы:

1. Территории Кыргызстана и Турции при ведении строительства зданий и сооружений требуют учитывать сейсмическое воздействие.
2. Для сейсмостойкости зданий применяется самоизоляция зданий, устраиваемая в нижних этажах.
3. К проектированию в сейсмоопасных зонах допускать высококвалифицированных работников;
4. Тщательно производить проверку материалов на пригодность;
5. Чаще осуществлять контроль над ходом строительства;
6. Осуществление паспортизации зданий и сооружений;
7. Производить проверку здания на прочность и устойчивость.

Литература:

1. **Козлов, И.** Каждый год в мире происходит более 57 тысяч землетрясений. [Текст] // <https://fakty.ua/114230-kazhdyj-god-v-mire-proishodit-bolee-57-tysyach-zemletryasenij>
2. **Жунусов, Т.Ж.** Основы сейсмостойкости сооружений [Текст] // Алматы: Пауан, 1990 – 270 с.;
3. За 117 лет в результате землетрясений в Турции погибли около 87 тыс. человек <https://mk-turkey.ru/life/2019/04/22/mo-za-117-let-v-rezultate-zemletryasenij-v-turcii.html>

4. Строительство в сейсмических районах. –2012-2017. [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://rusbuildrealty.ru/books/arhitektura/124.html>
5. СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах. Каркасные здания. – М., 1981