

Р.К. Садыров¹, У.Ш. Бейсханова²

^{1,2} Казахская головная архитектурно-строительная академия,
г. Алматы, Республика Казахстан

МЕТОДЫ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. *В материале рассматриваются методы сейсмозащитных опор зданий и сооружений. Меры сейсмической защиты позволяют существенно сократить экономические затраты. При соответствующем проектировании системы сейсмоизоляции и сейсмозащиты фундаментов и зданий в целом способны повысить безопасность сооружения, надежность оборудования, комфортность для населения, и самое главное, нет необходимости проводить восстановительные работы после сильных землетрясений.*

Ключевые слова: *сейсмозащита, фундаменты, гибкие этажи, кинематические фундаменты, пружинные сейсмоизоляторы.*

Территория Казахстана находится в сейсмоопасных поясах Евразии. Большая часть Казахстана склонна к сейсмическим воздействиям различной силы, длительности и вида. Площадь самого сейсмоопасного района Казахстана составляет 450 тысяч километров. В нем аккумулируется много основных фондов отрасли, из которых 35% находится в жилищном фонде, и около 40% населения проживают в этих районах. Речь идет о южной и юго-восточной части Республики, где вероятно проявление разрушительных землетрясений – 8 баллов и выше. Землетрясения наблюдаются и в Западном Казахстане.

Важность задачи обеспечения сейсмической устойчивости зданий и сооружений не снижается, что связано с экономическими, демографическими и другими интересами Республики. По этой причине задачи обеспечения сейсмической надежности зданий на просторах Казахстана считаются весьма значительными.

Структура сейсмической надежности состоит из 3-х частей:

- 1) Анализ сейсмической угрозы, заключающийся в прогнозе сейсмических событий и сейсмического районирования;
- 2) Сейсмостойкое строительство;
- 3) Устранение последствий землетрясений.

Третья часть является привилегией экстренных служб общегосударственного, территориального и локального уровней. Чтобы уменьшить нагрузку на третью часть, нужно надежно и точно решить задачу первых и вторых частей.

Каждая часть имеет огромный спектр задач и трудностей. К тому же, эффективное функционирование системы возможно только в случае отлаженной взаимосвязи между этими задачами.

Фактически сейсмическая нагрузка передается на строение через его подземную часть, в первую очередь через фундаменты, таким образом

подземная сейсмоизоляция является самым естественным методом снижения сейсмических воздействий.

Таким образом применение сейсмоизолирующих опор способствует уменьшению амплитуд колебаний, а также снижению инерционных сил в конструкциях надземной части строения.

Согласно сложившимся представлениям, более простыми при современных строительных технологиях являются сейсмические изоляторы опорного типа, в сравнении с устройствами подвешенных на тягах. Наиболее известные из сейсмоизолирующих опор, когда-либо использованных в строительстве:

- Гибкие этажи;
- Резинометаллические фундаменты (РМО);
- Кинематические фундаменты (КФ);
- Скользящие опоры;
- Фундаменты фирмы Spie Batignolle.

1. Гибкие этажи. Нижние этажи здания с упругими стойками были использованы как сейсмоизолирующие устройства раньше других. Гибкие этажи выполняют в виде каркасных опор, упругих стоек, свай и т.п. Конструкция этой опоры состоит из гибких стоек небольшого диаметра, сделанный из пакета стержней на упругом основании, находящейся посередине подземной и надземной части здания.

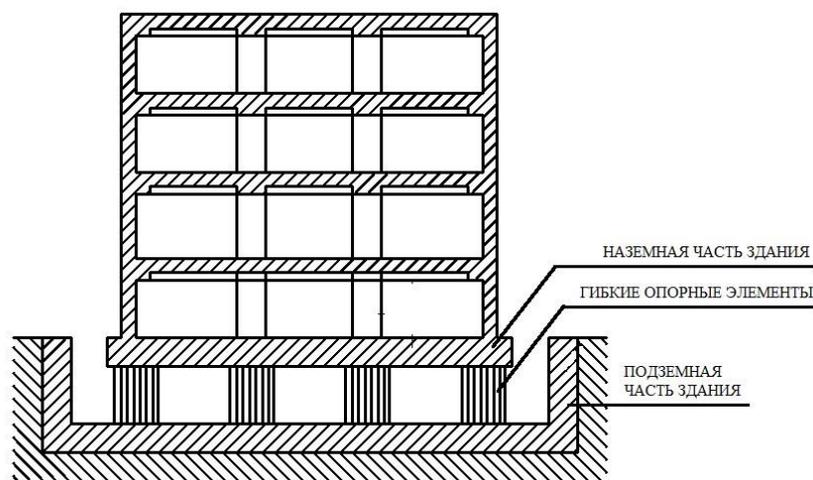


Рис. 1 – Один из возможных вариантов конструктивного исполнения гибкого этажа

Положительную значимость «гибкого этажа» фиксировали при землетрясениях малой интенсивности, при которых деформация опор действует в пределах линейно-упругой стадии. При пластической деформации узловые силы в опорах не перераспределяются на остальные конструкции, поэтому при больших нагрузках в здании в первую очередь разрушаются опоры «гибкого этажа», в результате чего обрушится само здание. К тому же, работа стоек в упругой стадии связана с более высокой вероятностью

возникновения резонансных систем, что также приводит к развитию внушительных усилий и пластических деформаций даже при землетрясениях средней интенсивности.

2. Резинометаллические опоры. Здания с резинометаллическими опорами широко используются за рубежом: в частности в Японии, Англии, а также во Франции. На сегодняшний день применяется несколько видов РМО: американский, новозеландский, французский и итальянский тип опор. Опоры делаются вертикально жёсткими и горизонтально упругими (податливыми), чтобы предотвратить перегруз зданий собственным весом. За счет эластичности резины, РМО обладают высокими прочностными свойствами при растяжении, вращении и сжатии.

Изучение этой конструкции показывает их высокую устойчивость во время землетрясения, но стоимость фундаментов гораздо дороже по сравнению с остальными сейсмоизолирующими фундаментами, что достигает почти 30-40% от стоимости самого здания. На рисунке 2 показаны некоторые примеры фундаментов на резинометаллических опорах.

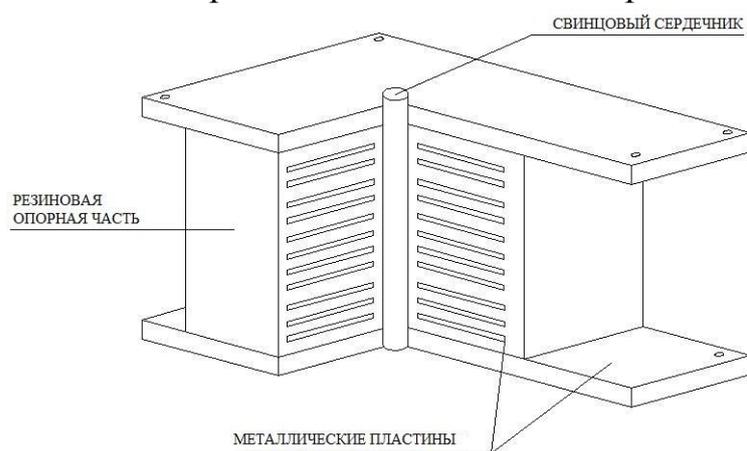


Рис. 2 – Резинометаллические опоры

РМО в виде многослойных опор из листовой резины и свинцового металла посередине, безусловно, являются высокоэффективной конструкцией сейсмической защиты, признанной в Соединенных Штатах Америки, Китае, Японии, а также во многих других странах. Благодаря простой конструктивной форме резинометаллические опоры удобны для использования в зданиях, это хорошая альтернатива вместо упругостойких «гибких этажей».

Есть также ряд причин, ограничивающих применение этих опор в районах, где строительная технология недостаточно развита. Вот наиболее важные из них:

1) Высокая стоимость заводского производства не позволяет использовать их в массовом строительстве, особенно в местах, удаленных от производителя;

2) Срок эксплуатации резинометаллических опор составляет не более 40-50 лет в связи с потерей эластичных свойств резины.

Сложной проблемой при проектировании зданий на РМО является трудность обеспечения прочности при взаимном смещении сейсмоизолированных частей фундамента. Это привело к широкому использованию кинематических фундаментов при сейсмостойком строительстве.

3. Опорный кинематический фундамент представляет собой очень простое решение с технической и технологической точки зрения, которое обеспечивается высокой степенью снижения инерционной силы в строительных конструкциях. Сейсмическая защита от землетрясений с помощью КФ является рентабельной за счет снижения общих затрат на строительство сейсмоустойчивых зданий и затрат на восстановление в случае сейсмического повреждения.

Конструкция кинематических фундаментов представляет собой подвижной элемент с круглой пятой, опирающийся на прочный фундамент или плоскую плиту. Шарнирное соединение с надфундаментной конструкцией обеспечивает горизонтальную подвижность во всех направлениях, и одновременно является ограничителем смещения, поскольку соединительный анкер создает повышенное сопротивление вращению КФ. Размеры КФ зависят от марки и прочности бетона, силы сейсмического воздействия, а так же от значения вертикальной нагрузки. Такой фундамент изготавливается из марки бетона не менее 300 и армируется стальной сеткой.

Конструктивная схема фундамента показывает, что сила тяжести, удерживающая кинематическое основание в состоянии постоянного равновесия, определяет его поперечную жесткость и зависит от радиуса кривизны пяты и от веса конструкции фундамента. Изменяя жесткость КФ можно варьировать их применение в широком диапазоне. Выведенный из стабильного состояния фундамент имеет способность возвращаться в исходное положение [1].

Низкая стоимость и простая конструкция делает кинематический фундамент для массового строительства намного более удобным по сравнению другими решениями сейсмической защиты во многих сейсмоопасных зонах. Это широко подтверждается географией их использования, включая страны СНГ.

Одним из факторов, препятствующих широкому использованию кинематических опор в сейсмостойком строительстве, является отсутствие знаний о работе таких систем во время сейсмических воздействий, в особенности когда доминирующие периоды превышают 1 секунду. При таких воздействиях землетрясения здания с кинематическими фундаментами могут значительно сдвинуться, что приведет к потере устойчивости здания или его полному разрушению.

По этой причине рекомендуется использовать такую систему сейсмозащиты в районах, где ожидаются высокочастотные землетрясения.

Низкочастотные землетрясения вызывают большие смещения, недопустимые на кинематических опорах.

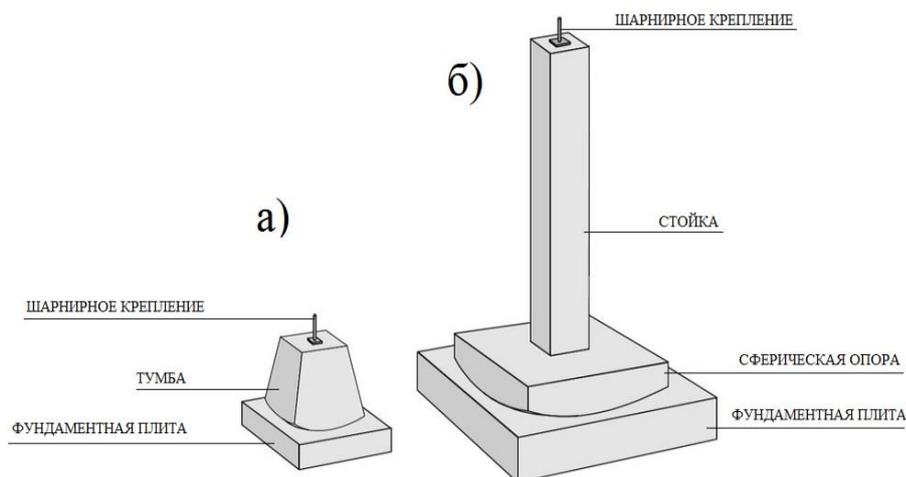


Рис. 3 – Форма сейсмоизолирующих кинематических фундаментов и опор:
а – тумба; б – стойка.

Кроме того есть еще одна изъязна этого фундамента – это трудности равномерного загрузения, что уменьшает безопасность данного основания домов. Однако данный недостаток можно устранить применением кинематических опор с дополнительными демпфирующими устройствами сейсмической защиты.

4. Сейсмоизолирующие фундаменты фирмы Spie Batignolle.

Сейсмоизоляция, не обеспечивающая возвращающей силы, действующей на сейсмоизолированные части конструкции осуществляется с помощью скользящего пояса. Антисейсмический фундамент фирмы Spie Batignolle – это одно из самых популярных технических решений, пример сейсмической защиты с порядковым распределением размещением демпфирующих и эластичных элементов [2]. Системы действуют в линейной области в сравнительно легких воздействиях, если горизонтальная нагрузка на основание не превышает сил трения; по мере увеличения нагрузки сила трения уменьшается, и верхняя фундаментная плита скользит относительно нижней. При этом можно в несколько раз снизить нагрузку на конструкцию и здание. В настоящее время с помощью данных опор построены сооружения АЭС во Франции и в ЮАР.

Конструкция этой опоры показана на рисунке 4, где ростверк, поддерживающий верхнюю плиту фундамента, состоит из фрикционных плит, армированных эластомерной прокладкой, нижней фундаментной плиты и бетонной опоры, опирающейся на нижнюю фундаментную плиту [3]. Опоры имеют вертикальную жесткость в 10 раз больше по сравнению с горизонтальным.

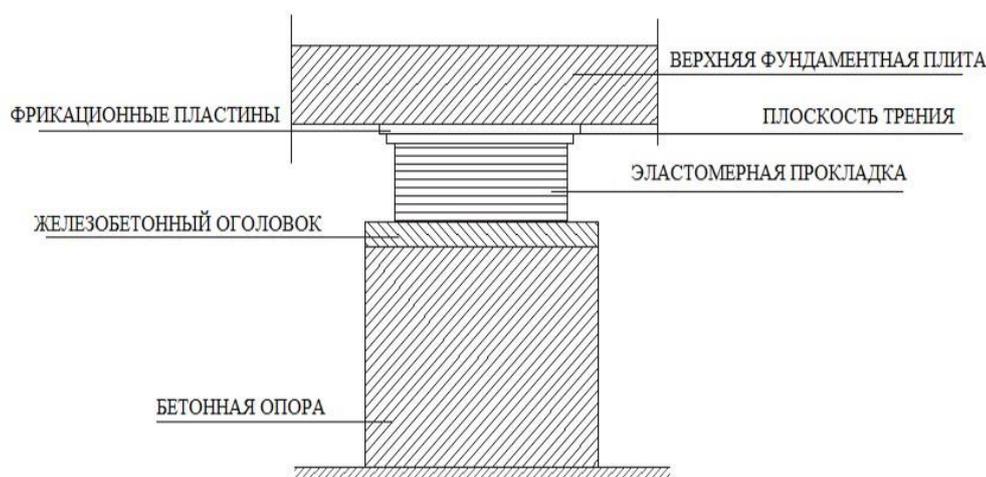


Рис. 4 – Сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle

Несмотря на все достоинства этого сейсмозащитного фундамента, опора обладает рядом недостатков. Есть критический анализ французского решения, в котором говорится, что теоретические расчеты (вычисления) фундамента проводились на высокочастотный удар, а взаимное смещение плит фундамента не превышало 20 см. Тем не менее, при длительном воздействии, определенном акселерограммами землетрясений в Ниигате (1923), Бухаресте (1978), Мексике (1985), взаимный сдвиг плит фундамента был близок к 1 м. Чтобы уменьшить эти смещения, необходимо будет увеличить силы трения, что равным образом приведет к повышению форсирования колебаний и уменьшению эффективности фундамента.

Еще один недостаток конструкции заключается в том, что невозможно предотвращать неравномерное давление на фундамент при строительстве на нескальных грунтах, отсутствие контроля устройств трения и сложность замены уплотнителей в процессе эксплуатации.

Скользящие опоры жесткие при вертикальном воздействии, поэтому они не изолируют конструкцию от сейсмических вертикальных толчков. Это означает, что нельзя использовать скользящие опоры в областях, где велика вертикальная составляющая сейсмических воздействий. В этих случаях необходимо использовать пружинные опоры.

5. Пружинные сейсмоизоляторы. Пружинные опоры широко используются в строительстве, особенно на промышленных объектах, не только как сейсмический изолятор, а как общий виброизолятор. Конструкция пружинного изолятора состоит из пружин сжатия, изготовленных из нескольких стальных цилиндрических винтов, прикрепленных к верхним и нижним пластинам опор.

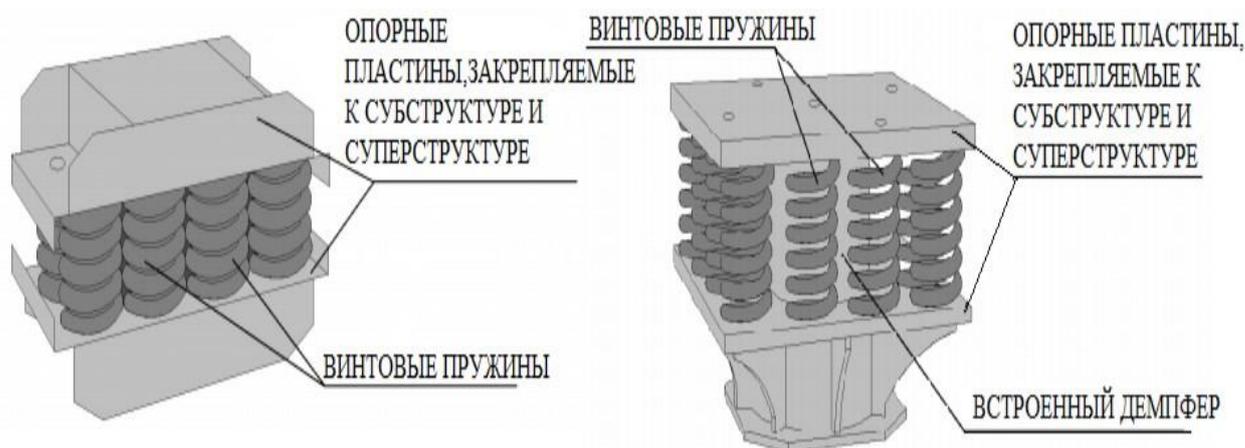


Рис. 5 – Виды пружинных опор:
а – пружинная опора; б – пружинная опора с демпфером.

Пружины являются важным элементом пружинных опор. От качества пружин зависят изолирующие свойства опор. Обычно пружины начинают терять свою жесткость, когда длительное время находятся под сжимающей нагрузкой или же в зонах с высокой температурой. В связи с этим рекомендуется использовать предварительно ослабленные пружины, чтобы предотвратить снижение жесткости.

Сейсмоизоляционные качества этих опор можно в значительной степени изменить, внося изменения на свойства составляющих их пружин или общее количество пружин в одной опоре. Минусом этих опор считается очень низкое подавление колебаний (например, у таких металлических материалов, как сталь, демпфирование намного ниже, чем у резины).

Большим преимуществом пружинных опор считается вероятность снижения сейсмической нагрузки на изоляционную конструкцию не только при сейсмическом воздействии с преобладающей горизонтальной составляющей, но и вертикальной составляющей. Тем не менее, стоимость пружинных опор с демпфером намного выше стоимости пружинной опоры без нее, а при использовании большого количества пружинных опор с демпфером для сейсмоизоляции повышается жесткость конструкции и опоры прекращают выполнять изолирующий эффект. По таким двум причинам очень рационально использовать комбинацию пружинных опор с демпферами и без демпферов. Считать количество и расположение демпфированных и не демпфированных опор является сложной инженерной задачей.

Выводы

Настоящая статья носит обзорный характер и направлена на анализ и систематизацию имеющейся информации о методах современной сейсмоизоляции и сейсмической защиты зданий. Целью этих мероприятий является снижение экономических затрат на обеспечение сейсмической защиты при сохранении высокой безопасности и надежности зданий. В

результате чего повысится рабочая характеристика зданий и повысится комфорт для людей, живущих или находящихся в здании.

Благодаря системам активной сейсмозащиты сейсмическая нагрузка на здание снижается приблизительно на 2-3 балла. Мировой опыт строительства зданий с активными системами сейсмической защиты показывает, что в период восстановления после сильного землетрясения и разрушения зданий не требуется больших капитальных вложений, и можно миновать потери среди населения.

Подводя итог всего вышеизложенного, делаем вывод о важности использования систем активной сейсмической защиты при строительстве современных сейсмоустойчивых зданий. Предложенные опоры в этой статье требуют дополнительных корректировок и исследований в области проектирования, расчетных обоснований и практического испытания.

Литература:

1. Муханбетжанов С.Т., Сауранбаев Д.С. Научная конференция «Научное пространство Европы – 2015». – 2015.
2. Арутюнян А.Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – №3.
3. Ушаков А.С. Методы сейсмоизоляции фундаментов сооружений. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.) / Под общ. ред. Г.Д. Ахметовой. – СПб.: Реноме, 2011. – 214 с., ил.
4. Черепинский Ю.Д. Сейсмоизоляция зданий. Строительство на кинематических опорах (Сборник статей). – М.: Blue Apple, 2009.
5. Тарасов В.А., Барановский М.Ю., Редькина А.В., Соколов Е.А., Степанов А.С. Системы сейсмоизоляции // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – №4 (43).
6. Выскребенцева М.А., Ву Ле Куен. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №1.
7. Жунусов Т.Ж., Черепинский Ю.Д. д.т.н., Лапин В.А. Инструкция по проектированию зданий с использованием сейсмоизолирующих фундаментов КФ. РДС РК-07-6-98, Комитет РК. – 2003.

Мақалада ғимараттар мен құрылыстардың сейсмикалық қорғаныс тіректерінің әдістері қарастырылған. Сейсмикалық қорғаныс шаралары экономикалық шығындарды айтарлықтай төмендетеді. Сәйкесінше жобалау арқылы сейсмикалық оқшаулау және іргетастар мен ғимараттарды сейсмикалық қорғау жүйелері құрылымның қауіпсіздігін, жабдықтардың сенімділігін, тұрғындар үшін жайлылықты арттыруға қабілетті және ең бастысы, күшті жер сілкіністерінен кейін қалпына келтіру жұмыстарын жүргізудің қажеті жоқ.

Түйін сөздер: сейсмооқшаулау, іргетастар, кинематикалық іргетас, икемді қабаттар, серіппелі сейсмооқшаулағыштар.

The material discusses the methods of seismic support of buildings and structures. Seismic protection measures can significantly reduce economic costs. With appropriate design, seismic isolation and seismic protection systems for foundations and buildings as a whole are capable of

increasing the safety of the structure, reliability of equipment, comfort for the population, and most importantly, there is no need to carry out recovery work after strong earthquakes.

Keywords: *seismic protection, foundations, flexible floors, kinematic foundations, spring seismic isolators.*