

Современные конструктивные методы борьбы с землетрясением

Modern constructive methods of earthquake control

Бойтемирова И.Н.

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры Строительства Архитектурного факультета Государственного университета по землеустройству
email: irboyte@mail.ru

Boytemirova I.N.

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Construction of the Architectural Faculty of the State University for Land Management
email: irboyte@mail.ru

Панкова Я.К.

студентка 5 курса Архитектурного факультета Государственного университета по землеустройству
email: listvinica1240@mail.ru

Pankova Y.K.

5th year student of the Faculty of Architecture of the State University for Land Management
email: listvinica1240@mail.ru

Филимонова Д.В.

студентка 5 курса Архитектурного факультета Государственного университета по землеустройству
email: darliana55@mail.ru

Filimonova D.V.

5th year student of the Faculty of Architecture of the State University for Land Management
email: darliana55@mail.ru

Аннотация

В статье представлены различные методы обеспечения сейсмоустойчивости зданий, закладываемые на стадии проектирования, такие как изоляция основания, стальные стеновые системы, управляемые системы качания, традиционные массовые демпферы, сейсмические маски, а также идея парящего дома. Использование резиновых подшипников позволяет защитить уже существующие исторические здания. Описан подход изменения грунта вокруг здания, способный отвести сейсмические волны, и идея использования самозалечивающегося бетона.
Ключевые слова: землетрясение, сейсмостойкость зданий, основание, фундамент, стены, повреждения, испытания, методы сейсмоустойчивости, безопасность, надежность, трещины, бетон.

Abstract

The article presents various methods of ensuring the seismic stability of buildings that are being laid at the design stage, such as insulation of the base, steel wall systems, controlled swing systems, traditional mass dampers, seismic masks, as well as the idea of a floating house. The use of rubber bearings allows you to protect existing historical buildings. The approach of changing the soil around the building, which can deflect seismic waves, and the idea of using self-healing concrete are described.

Keywords: earthquake, earthquake resistance of buildings, foundation, foundation, walls, damage, tests, methods of earthquake resistance, safety, reliability, cracks, concrete

Стихийные бедствия часто являются внезапными и могут быть довольно мощными, что делает их серьезной угрозой для людей по всему миру. Профессионалы научились предвидеть некоторые из них: ураганы, метели и торнадо, но появление землетрясений по-прежнему сложно предугадать. Землетрясения различной мощности могут происходить в любое время года практически без каких-либо признаков. В странах, где существуют сооружения из стали, бетона и стекла, землетрясения представляют собой наибольшую угрозу широкомасштабных разрушений.

При проектировании сейсмостойких зданий учитываются основные характеристики, влияющие на их структурную целостность: жесткость и прочность несущих конструкций и оснований, регулярность толчков и направление нагрузки.

Одним из недорогих методов обеспечения сейсмического контроля является *изоляция основания*. Этот пассивный метод изолирует основание конструкции от ее фундамента с помощью набора свинцово-резиновых подшипников в основании конструкции, которые могут эффективно отклонять или поглощать вибрации, вызванные сейсмическими волнами. Подшипники состоят из набора свинцовых сердечников в резиновом корпусе, который затем помещается между двумя толстыми стальными пластинами и закрепляется у основания фундамента здания. Гибкость этой конструкции помогает отклонять сейсмические волны, а пластичность резиновых компонентов поглощает энергию вибраций, которая в противном случае могла бы вызвать значительные повреждения. Наконец, твердый свинцовый сердечник рассеивает остаточную энергию, которая еще не была поглощена или отклонена внешними слоями. Исследования эффективности систем свинцово-резиновых подшипников показали, что наличие этой формы изолятора эффективно снижает реакцию рамы на вибрации по сравнению со структурной рамой, в которой не используется свинцово-резиновый подшипник. Поскольку наука о свинцово-резиновых подшипниках продолжает развиваться [5].

Стеновые системы, работающие на сдвиг, используются для усиления зданий с 1970-х годов в Японии и Северной Америке и считаются альтернативой обычным сейсмоустойчивым системам, которые применяются во многих сейсмических регионах с высоким риском. Это стальные стены, которые предназначены для ограничения поперечной силы в зданиях, работающие на сдвиг и частично поглощающие изгибающие напряжения. Стальные стены значительно тоньше, чем бетонные, но они обеспечивают требуемый уровень прочности и устойчивости, снижая общий вес здания и затраты на строительство [1]; [5].

Управляемые системы качания также могут предотвращать повреждения, возникающие в конструкциях во время землетрясения, сводя их к минимуму. В этих высокопроизводительных системах используются стальные скрепленные рамы, обладающие упругими свойствами; это позволяет стальным каркасам качаться на основании. Упругий элемент создает самоцентрирующуюся

восстанавливающую силу, которая рассеивает сейсмические колебания по всей конструкции и позволяет каркасу конструкции управляемым образом качаться в зазоре, который был намеренно сделан в фундаменте [5].

Традиционные массовые демпферы предназначены для управления движением высотных зданий. Чтобы создать массовый демпфер, инженеры-строители подвешивают большие металлические маятники, прикрепленные к кабелям наверху высокого здания; эти маятники действуют как инерционный противовес, удерживающий здание в вертикальном положении. Демпферы эффективно снижают скорость, с которой здание может колебаться, а также амплитуду каждого колебания. Настроенные массовые демпферы работают аналогично традиционным массовым демпферам, но включают использование дополнительной системы управления, такой как электромагнит, для ограничения движения маятникового элемента демпфера.

Пример настроенных массовых демпферов можно найти в Шанхайской башне Китая, втором по высоте здании в мире, высотой 2073 фута. Из-за огромных размеров здания традиционные демпферы были нереальным вариантом. Поэтому инженеры соединили взвешенные маятники с магнитной системой, которая безопасно ограничивала диапазон их движения. Когда здание раскачивается, 1000-тонные железные грузы качаются над магнитами, вызывая электрический ток в медной пластине, установленной под демпфером, и сразу же создают противоположное магнитное поле, способное противодействовать движению груза. Это максимизирует демпфирующий эффект системы, в то время как гидравлические амортизаторы предотвращают слишком быстрое колебание во время сейсмических событий или других событий, которые могут вызвать усиленное колебание конструкции [5].

Описанные как совершенно новый подход к сейсмической стойкости, *сейсмические маски* в настоящее время проходят испытания в качестве средства создания защитных барьеров, способных перенаправлять сейсмическую энергию в сторону от наземных сооружений. *Сейсмическое маскирование* включает в себя модификацию почвы и других грунтовых материалов, окружающих здание, для отклонения или перенаправления силы, создаваемой землетрясением. Это нововведение основано на теории, согласно которой сейсмические волны передают энергию между потенциальной энергией, хранящейся в коре планеты, и кинетической энергией внутри самой сейсмической волны. Вооруженные этими теоретическими знаниями, инженеры-сейсмологи должны создать маскирующую структуру, которая сможет контролировать эти разрушительные сейсмические волны.

Испытания показали, что при определенных обстоятельствах сейсмические колебания можно остановить с помощью модифицированного грунта. Применение сейсмической маскировки имеет далеко идущие последствия, и государственные, и частные фирмы в настоящее время изучают возможность использования этой технологии для защиты высокоприоритетных сооружений, таких как ядерные реакторы. Обратной стороной этого процесса является значительное пространство, необходимое для сейсмической защиты: примерно равное размеру защищаемой конструкции. Также существует возможность повреждения соседних структур, когда сейсмические колебания отражаются от защищаемой конструкции в эти окружающие области. В настоящее время исследователи разрабатывают сейсмические маскировки, которые могут контролировать поток сейсмических волн, не затрагивая при этом близлежащие структуры.

Землетрясения могут привести к разрушительным человеческим жертвам и материальному ущербу, если к ним не будут должным образом подготовлены инженеры по землетрясениям, играющие жизненно важную роль в проектировании зданий и использующие инновационные решения. Для

безопасного планирования и реализации важнейших мер безопасности необходимо глубокое понимание инженерных принципов в сочетании с глубокими знаниями теории и практики сейсмической инженерии. Резиновые подшипники, изолирующие стеновые конструкции сооружения от земли (рис. 1), могут кардинально изменить способ

Рис. 1. Изолирующие резиновые подшипники



проектирования и строительства зданий в зонах землетрясений. Они, кроме строительства новых зданий, позволяют легко модернизировать исторические здания, сохраняя их архитектуру. Резиновые подшипники обладают потенциалом для распространения сейсмической инженерии на малые сооружения, в том числе такие как дома на одну семью. И что, пожалуй, наиболее важно, резиновые подшипники могут обеспечить столь необходимую безопасность и надежность для строительства зданий в сейсмоопасных развивающихся странах, предотвращая дорогостоящий материальный ущерб и спасая большое количество жизней.

Здания можно будет защитить от разрушительных землетрясений, окружив их «плащами сейсмической невидимости». Традиционная сейсмостойкая инженерия основана на гашении и рассеивании энергии, поглощаемой зданием при ударе ударными волнами. Так, физик Себастьян Генно и его коллеги из Института Френеля и геоинженерная компания Menard применили другой подход, включающий в себя изменение грунта вокруг здания, способное отвести сейсмические волны, эффективно защищая здания от разрушительной энергии землетрясения.

В то время как электромагнитные волны передают энергию между электрическим и магнитным полями, сейсмические волны передают энергию между потенциальной энергией, накопленной при деформации земной коры, и кинетической энергией, содержащейся в ее движении. Если величину электрической проницаемости заменить плотностью грунта, а магнитную проницаемость – его модулем упругости, оптика преобразования становится сейсмологией преобразования [6]; [5].

Общая идея *парящего дома* разработана японской компанией Air Danshin. Сооружение изобретателя Шоичи Сакамото представляет собой дом, который в спокойное от землетрясения время находится на спущенной воздушной подушке. Когда датчики чувствуют волнение, они в течение секунды включают компрессор (рис. 2), который закачивает воздух в подушку безопасности, надувая ее за несколько секунд и, в конечном итоге, поднимает весь дом на три сантиметра от его якобы сейсмостойкого бетонного фундамента. Таким образом, сооружение будет парить, при этом жители дома смогут во время землетрясения заниматься своими делами. После прекращения толчков подушка безопасности сдувается, и дом мягко возвращается в норму. Испытание на сотрясение Air Danshin касалось только поперечного движения, однако большинство

землетрясений не ограничиваются двумерной плоскостью. Три сантиметра левитации защитят дом только от землетрясений, высота которых не превышает трех сантиметров.

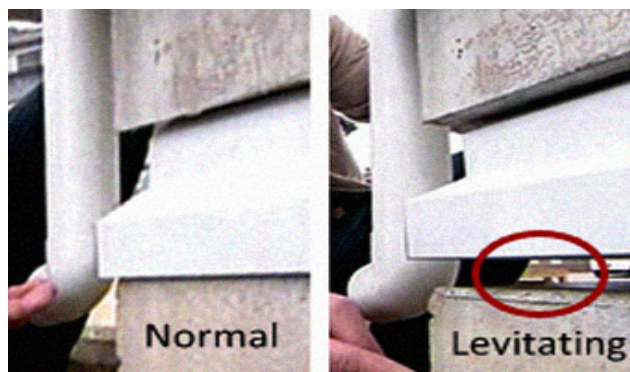


Рис. 2. Включенный компрессор

Другая проблема заключается в том, что первые толчки, которые активируют систему, вполне могут быть самыми сильными и разрушительными. К сожалению, современные сейсмические датчики еще не могут определять землетрясения до того, как они произойдут, поэтому данная система не гарантирует абсолютной защиты от стихийного бедствия [2]; [3].

Известно, что бетон хорошо сопротивляется сжатию, но в нем возникают недопустимые трещины при деформациях растяжения и изгиба, поэтому он так легко разрушается при землетрясениях. Ученый из Мичигана усовершенствовал бетонную смесь, которая может залечивать собственные трещины, для чего нужен лишь небольшой дождь.

Изобретение профессора Виктора Ли из Мичиганского университета является усовершенствованием исследовательского материала, получившего название «инженерный цементный композит» или ЕСС. Его удивительные свойства основаны на химически структурной смеси: в образовавшемся твердом теле при изгибе образуются крошечные трещины, которые остаются крошечными и не соединяются друг с другом.



Рис. 3. Самозалечивающийся бетон

Трещины размером около 60 микрон позволяют твердому телу изгибаться (рис. 3), не увеличиваясь в размере в результате образования микроскопических армирующих волокон. Кроме того, трещины такого размера способны пропускать влагу и воздух. Через короткий промежуток времени «запасной» сухой цемент в смеси вступает в реакцию с имеющимся углекислым газом и водой с

образованием карбоната кальция – естественно прочного материала, который затем герметизирует трещины.

Это означает, что материал может подвергаться изгибающим и растягивающим нагрузкам, которые полностью разрушают обычный бетон и даже негативно влияют на стальные балки, и при этом останется прочным, что позволяет строить здания, устойчивые к стихийным бедствиям. Аспекты самовосстановления имеют еще и важные экологические последствия, увеличивая срок службы таких элементов инфраструктуры, как мосты, устраняя или, по крайней мере, отодвигая необходимость дорогостоящих и экологически небезопасных ремонтов [4].

Литература

1. Steel Plate Shear Walls [Электронный ресурс] URL: <https://online.norwich.edu/academic-programs/resources/5-civil-engineering-innovations-that-help-buildings-withstand-earthquakes>.
2. Japanese Created The "Flying" Seismosteady Houses [Электронный ресурс] URL: <http://premerstroy.ru/en/news/japanese-created-the-flying-seismosteady-houses/>.
3. earthquake-proof homes [Электронный ресурс] URL: <https://www.asme.org/topics-resources/content/made-in-japan-earthquake-proof-homes>.
4. Bendycrrete: Self-Healing Concrete That Could Survive an Earthquake [Электронный ресурс] URL: <https://www.fastcompany.com/90183934/bendycrrete-self-healing-concrete-that-could-survive-an-earthquake>.
5. Civil Engineering Innovations That Help Buildings Withstand Earthquakes [Электронный ресурс] URL: <https://online.norwich.edu/academic-programs/resources/5-civil-engineering-innovations-that-help-buildings-withstand-earthquakes>.
6. Seismic cloak could minimize earthquake damage [Электронный ресурс] URL: <https://physicsworld.com/a/seismic-cloak-could-minimize-earthquake-damage/>.
7. *Бойтемирова И.Н., Бурькина А.А.* Применение деревянных конструкций при строительстве зданий в сейсмоопасных зонах. – 2019. – БСТ № 10.

of buildings in earthquake-prone zones. 2019, BST No. 10.