

К вопросу проектирования высотных зданий в сейсмически активных районах

И.И. Евтушенко, А.Д. Тютин, Д.И. Кудряшов, В.Э. Нуриев

Донской государственный технический университет

Аннотация: В работе описаны основные методы, используемые при проектировании сейсмостойких объектов, позволяющие снизить воздействие землетрясений на здание, сформулированы их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: сейсмостойкость, высотное здание, землетрясение, сейсмоизолирующий фундамент, «левитирующий» дом, демпфер, деформация, структурная реакция, пассивная, активная, полупассивная система управления.

Землетрясение — это внезапное, быстрое сотрясение Земли, вызванное разрушением и смещением скальных пород под ее поверхностью. Ежегодно они уносят жизни тысяч людей, уничтожают имущество, исчисляемое миллиардами, но сегодня, с развитием строительных технологий, человек научился защищать себя от землетрясений.

Динамическая реакция зданий на землетрясение, является наиболее частой причиной их повреждения. Ущерб, причиняемый зданию, зависит главным образом не от его смещения, а от ускорения, с которым оно происходит [1]. В то время как смещение — это фактическое расстояние, на которое земля и здание могут перемещаться во время землетрясения, ускорение является показателем того, насколько быстро они изменяют скорость при движении.

Традиционный подход к проектированию сейсмостойких зданий заключается в обеспечении здания прочностью, жесткостью и способностью к неупругой деформации, что позволяет выдержать заданный уровень нагрузок, вызванных землетрясением [2]. Современные методы защиты, напротив, заключаются в его способности к релаксации сил и напряжений, генерируемых землетрясением и действующих на него [3].

Существуют три основных метода, используемых при проектировании сейсмостойких объектов, которые позволяют снизить воздействие землетрясений на здания.

1. Использование сейсмоизолирующих фундаментов.

Сейсмоизолирующие фундаменты представляют собой, как правило, свинцово-резиновые подшипники, в которых свинцовое ядро окружено чередующимися слоями резины и стали. Стальные пластины крепят подшипники к зданию и фундаменту и это позволяет во время землетрясения двигаться фундаменту, но не двигаться конструкции над ним. Таким образом, гасятся колебания земной поверхности, которая смещается под фундаментом здания, остающегося на месте за счет действия силы инерции. Эта система обеспечивает изоляцию только в горизонтальном направлении и является жесткой или полужесткой в вертикальном направлении.

Дальнейшим развитием идеи сейсмоизолирующего фундамента явилась разработка компании Air Danshin «левитирующего» дома. Здание изобретателя Шоичи Сакамото, стоит на спущенной резиновой подушке. Датчики, среагировав на землетрясение включают компрессор, который запускается в течение секунды и начинает с высокой интенсивностью закачивать воздух в подушку безопасности. Весь процесс занимает несколько секунд. В конечном итоге весь дом поднимается на три сантиметра от сейсмоустойчивого бетонного фундамента. По окончании землетрясения подушка безопасности спускается, и дом возвращается на прежнее место. К явным преимуществам можно отнести: малую стоимость в сравнении с другими системами сейсмической изоляции, простоту эксплуатации.

2. Применение устройств, рассеивающих энергию землетрясения (пассивный метод).

Другой подход к контролю сейсмических повреждений в зданиях и улучшению их сейсмических характеристик заключается в установке сейсмических демпферов вместо элементов конструкций, таких как диагональные распорки [4]. Эти демпферы действуют подобно гидравлическим амортизаторам автомобилей - большая часть внезапных рывков поглощается гидравлическими жидкостями, и лишь немногие передаются выше на шасси автомобиля. Демпферы уменьшают магнитуду вибраций, превращая кинетическую энергию колебаний в тепловую энергию, которая может быть рассеяна через тормозную жидкость. Такие конструкции монтируются на каждом этаже здания - один конец которых крепится к колонне, другой к балке. Каждый гаситель состоит из поршневой головки, которая движется в цилиндре, наполненном силиконовым маслом. Во время землетрясения горизонтальное движение здания заставляет двигаться поршни, оказывая давление на масло, что преобразует механическую энергию землетрясения в тепловую [5]. Одним из главных преимуществ данного метода является возможность гашения разнонаправленных колебаний, возникающих при сейсмической активности.

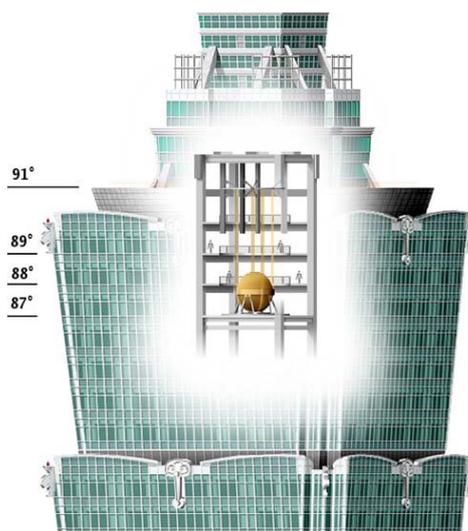


Рис.1.- Инерционный демпфер на высотном здании Тайбэй 101[6]

3. Установка систем активного контроля сейсмостойкости (активный метод).

Этот метод является наиболее затратным. Такая система активного контроля с обратной связью содержит три основных элемента:

- а. Датчики для измерения внешнего возбуждения (сейсмических толчков) и / или структурной реакции (деформации балок, колонн).
- б. Компьютерное аппаратное и программное обеспечение для вычисления управляющих сил на основе наблюдаемого возбуждения и / или структурной реакции.
- с. Приводы для обеспечения необходимых сил управления.

При этом в активной системе обязательно должен быть внешний подвод энергии для привода исполнительных механизмов. С другой стороны, пассивным системам не требуется внешняя энергия, и их эффективность зависит от настройки системы на ожидаемое возбуждение и структурное поведение. В результате пассивные системы эффективны только для тех колебаний, на которые они настроены [7]. Таким образом, преимущество активной системы заключается в ее гораздо более широком диапазоне применимости, поскольку управляющие силы генерируются на основе анализа фактических нагрузок и деформаций строительных конструкций.

Все эти методы были успешно использованы во многих проектах по всему миру. Они наиболее широко используются в Японии, Индонезии, США, странах Латинской Америки, Китае и многих других местах с высокой сейсмической активностью [8-9].

Полуактивные системы управления возникли из пассивных систем управления, так как в обеих системах управляющие силы развиваются из-за

движения конструкции. Эти устройства требуют небольшого количества внешнего питания и сочетают в себе функции активных и пассивных устройств управления. В полуактивных устройствах используются контролируемые жидкости. Важным свойством этих жидкостей является их способность обратимо изменять свободное течение в полутвердое состояние при воздействии магнитного или электрического поля. Первым полномасштабным внедрением полуактивной демпфирующей системы является здание Кадзима Сидзуока в Японии [10]. На каждом этаже были задействованы восемь полуактивных гидравлических демпферов. Эта система состояла из датчиков скорости, компьютера, генератора демпфирования и блока питания. Датчики измеряли реакцию здания, компьютер вычислял требуемую силу демпфирования, а генератор создавал силу демпфирования.

Таким образом, сравнение методов пассивного, активного и полуактивного контроля показало, что комбинированная полуактивная система выгодна для сейсмической защиты по сравнению с активными и пассивными системами. Сейсмоизолирующие фундаменты обеспечивают гибкость массивных конструкций, расположенных на жестких грунтах от землетрясений. Комбинация таких фундаментов с демпфирующими вязкостными амортизаторами эффективна даже при сильных землетрясениях.

Литература

1. Gioncu V., Mazzolani F. Earthquake Engineering for Structural Design, USA: CRC Press, 2014. pp. 217-220.
2. Lago A., Trabucco D., Wood A. Damping Technologies for Tall Buildings: Theory, Design Guidance and Case Studies, UK: Butterworth-Heinemann, 2018. pp. 235-237.

3. Karamysheva A.A., Shumeyko V.I. Rational constructional and planning concepts of high-rise buildings' stabilization // Engineering studies. Volume 9, №3, 2017. pp. 696-702.
4. Zingoni A. Research and Applications in Structural Engineering, Mechanics and Computation, USA: CRC Press, 2013. pp. 81-84.
5. Brebbia C.A. Earthquake Resistant Engineering Structures X WIT Transactions on The Built Environment (V. 152), UK: WIT Press, 2015. pp. 123-125.
6. Priwer S., Phillips C. Skyscrapers and High Rises, UK: Routledge, 2014. pp. 63-65.
7. Higashino M., Okamoto S., Response Control and Seismic Isolation of Buildings, UK: Routledge, 2006. pp. 4-5.
8. Евтушенко А.И., Олейникова Е.В., Агеева В.А., Барамия А.Л., Хван О.П., Нор-Аревян С.Л., Развитие высотного строительства в Ростове-на-Дону // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4404.
9. Евтушенко А.И., Колотиенко М.А., Ковалев В.В., Турянская В.А., Внедрение медиафасадов в городское пространство: конструктивные и архитектурные решения // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5343.
10. Hu Y.X. Earthquake Engineering Frontiers in the New Millennium, UK: Routledge, 2017. pp.282-283.

References

1. Gioncu V., Mazzolani F. Earthquake Engineering for Structural Design, USA: CRC Press, 2014. pp. 217-220.
 2. Lago A., Trabucco D., Wood A. Damping Technologies for Tall Buildings: Theory, Design Guidance and Case Studies, UK: Butterworth-Heinemann, 2018. pp. 235-237.
-

3. Karamysheva A.A., Shumeyko V.I. Engineering studies. Volume 9, №3, 2017. pp. 696-702.
4. Zingoni A. Research and Applications in Structural Engineering, Mechanics and Computation, USA: CRC Press, 2013. pp. 81-84.
5. Brebbia C.A. Earthquake Resistant Engineering Structures X WIT Transactions on The Built Environment (V.152), UK: WIT Press, 2015. pp. 123-125.
6. Priwer S. Phillips C. Skyscrapers and High Rises, UK: Routledge, 2014. pp. 63-65.
7. Higashino M., Okamoto S. Response Control and Seismic Isolation of Buildings, UK: Routledge, 2006. C. 4-5.
8. Evtushenko A.I., Oleynikova E.V., Ageeva V.A., Baramia A.L., Hwang O.P., Nor-Arevian S.L. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4404.
9. Evtushenko A.I., Kolotienko M.A., Kovalev V.V., Turyanskaya V.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5343.
10. Hu Y.X. Earthquake Engineering Frontiers in the New Millennium, UK: Routledge, 2017. pp.282-283.