

УДК 699.841

## СЕЙСМОЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ



## SEISMOLOGICAL PROTECTION MEASURES DURING THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS

**Жаданова Виктория Андреевна**

студент  
института строительства и транспортной инфраструктуры,  
Кубанский государственный технологический университет  
zhadanova\_vik@mail.ru

**Леонова Анна Николаевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
строительных конструкций института строительства и  
транспортной инфраструктуры,  
Кубанский государственный технологический университет  
lan.75@mail.ru

**Гугулян Арсен Аветисович**

студент  
института строительства и транспортной инфраструктуры,  
Кубанский государственный технологический университет  
vanya-vano@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются методы повышения сейсмостойкости высотных зданий. Подробно описаны специальные способы повышения сейсмостойкости зданий, применяемых в настоящее время. Представлены разновидности систем сейсмоизоляции и демпферов, описаны их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** землетрясение, сейсмоизоляция, сейсмозащита, демпфер.

**Zhadanova Victoria Andreevna**

Student,  
Institute of Construction and Transport  
Infrastructure,  
Kuban State University of Technology  
zhadanova\_vik@mail.ru

**Leonova Anna Nikolaevna**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of Building Structures of the Institute of  
Construction and Transport Infrastructure,  
Kuban State Technological University  
lan.75@mail.ru

**Gugulyan Arsen Avetisovich**

Student,  
Institute of Construction and Transport  
Infrastructure,  
Kuban State University of Technology  
vanya-vano@mail.ru

**Annotation.** This article discusses methods for increasing the seismic resistance of high-rise buildings. The special methods of increasing the seismic resistance of buildings that are currently used are described in detail. Varieties of seismic isolation systems and dampers are presented, their advantages and disadvantages are described.

**Keywords:** earthquake, seismic isolation, seismic protection, damper.

Одной из важнейших задач возведения зданий в сейсмически опасных районах является обеспечение его устойчивости. Возводимые высотные здания имеют необычные формы, усовершенствуются применяемые материалы и технологии строительства. При этом вопрос повышения сейсмической стойкости зданий остается важным и актуальным и в настоящее время.

Помимо увеличения жесткости и прочности несущих конструкций в настоящее время применяются различные сейсмозащитные мероприятия способствующие снижению инерционных сил в системе, такие как демпфирование системы и создание инерционных масс, колеблющихся в противофазе с каркасом.

Способы повышения сейсмостойкости делятся на традиционные, предусматривающие увеличение сечений несущих конструкций и специальные, связанные со снижением нагрузок за счет модификации динамической схемы работы здания [6].

Традиционные методы применимы для основной массы сооружений, накоплен значительный опыт проектирования и расчета несущих конструкций при сейсмических воздействиях. Однако, для технически сложных и уникальных зданий данный подход часто неприменим, или даёт чрезмерно ресурсоёмкий и, соответственно, финансово неудовлетворительный результат.

Специальные методы, применяемые для высотных зданий, позволяют снизить затраты на строительство и увеличить надёжность возводимых зданий. Сейсмозащитные мероприятия принято разделять на сейсмоизоляцию и сейсмогашение. В системах

сейсмоизоляции обеспечивается снижение механической энергии, получаемой конструкцией от основания, преимущественно путем отстройки частот колебаний сооружения от преобладающих частот воздействия. При этом различают адаптивные и стационарные системы сейсмоизоляции. В адаптивных системах динамические характеристики сооружения необратимо меняются в процессе землетрясения, «приспосабливаясь» к сейсмическому воздействию. В стационарных системах динамические характеристики сохраняются в процессе и после землетрясения.

К сейсмоизоляционным методам можно отнести повышение сейсмостойкости за счет приподнятого основания и устройство свинцово-резиновой опоры. Метод приподнятого основания относится к вибрационному контролю при сейсмическом строительстве. Принцип действия и работы этого метода заключается в том, что в результате многократных отражений, дифракций и диссипаций сейсмических волн внутри такого основания передать энергию в верхнюю часть здания оказывается ослабленной. Чтобы достигнуть такого эффекта нам необходимо выполнить специальный комплект расчетов по подбору материалов, конструктивных размеров и конфигурации приподнятого основания здания.

Устройство свинцово-резиновой опоры, имеющей упругие свойства резины, обладает высокой прочностью при сжатии, растяжении и кручении. Поэтому такая опора может снизить сейсмическую энергию в 2–3 раза. Основным недостатком метода заключается в том, что у опоры жесткость в горизонтальном направлении в 10 раз меньше, чем в вертикальном направлении.

Стационарная сейсмоизоляция является наиболее эффективным из современных методов сейсмозащиты, однако известные конструкции сейсмоизоляторов имеют следующие значительные недостатки:

- большинство сейсмоизоляторов очень сложны в изготовлении и монтаже (часто требуется обеспечить герметичность антифрикционного покрытия, имеются сложности с организацией монтажа надфундаментных конструкций), при этом характеристики антифрикционного покрытия со временем ухудшаются;
- вопрос ограничения перемещений чаще всего решается использованием стальных пружин либо тросов (при этом возникает вероятность чрезмерных перемещений, вследствие чего здание теряет общую устойчивость);
- в случае больших перемещений надфундаментных конструкций при сильном сейсмическом воздействии возникает вероятность разрушения конструкции сейсмоизолятора из-за отсутствия механизма уменьшения ускорения здания при граничных перемещениях [2].

В системах сейсмогашения, включающих демпферы и динамические гасители, механическая энергия колеблющейся конструкции переходит в другие виды энергии, что приводит к демпфированию колебаний.

В настоящее время при возведении высотных зданий применяют различные демпферные системы. Используются как пассивные, так и полуактивные и активные системы виброзащиты [8].

Принцип работы пассивных демпферов заключается в увеличении демпфирующей способности конструкций, что в результате приводит к уменьшению резонансных колебаний. Они подбираются таким образом, чтобы величина собственной частоты колебаний конструкции была уменьшена.

Активные системы состоят из привода с подвижной массой и блока управления с датчиком. Обработка сигналов от колебательной системы и последующее формирование демпфирующих сил, приводит к снижению уровня вибраций системы.

Инерционный демпфер обеспечивает комфортные условия проживания в здании и значительно увеличивает его срок службы. В его состав входят упругие маятниковые или пружинные демпфирующие элементы, позволяющие контролировать вибрации здания. Возводимый массивный блок, установленный на высотном здании при сейсмических воздействиях совершает колебания с его резонансной частотой при помощи применяемого пружинного механизма. При этом демпфирующие характеристики и собственные частоты инерционного демпфера можно постоянно адаптировать под меняющиеся условия [7].

Гистерезисный демпфер(гаситель) используется в сооружениях с высокими сейсмическими нагрузками за счёт рассеивания энергии воздействующей на объект. К разновидностям такого демпфера относят: жидкостный вязкоупругий демпфер, твёрдый вязкоупругий демпфер, металлический вязкотекучий демпфер и демпфер сухого трения [7].

Жидкостный вязкоупругий демпфер базируется на технологии автоиндустрии. Амортизаторы уменьшают магнитуду вибраций, превращая кинетическую энергию колебаний в тепловую энергию, которая может быть рассеяна через тормозную жидкость. При этом на каждом уровне здания устанавливают подобные гасители колебаний, 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 тепло [7].

Твёрдый вязкоупругий демпфер дает возможностьувеличить амортизационную энергию здания, увеличить жёсткость здания.В состав конструкции входит пластик и эластомер – это материал, используемый для возведения. Между 2 металлическими листами положен достаточно вязкоупругий материал. За рубежом вязкие демпферы нашли применение в системе сейсмоизоляции, применяемой фирмой GERB (ФРГ) для реакторов атомных электростанций [7].

Демпфер сухого трения при работе поглощает динамическую энергию вовремя появления землетрясения. В сравнении с другими методами повышения сейсмостойкости здания и сооружения экономичен и имеет простой принцип работы. Демпфер содержит корпус в виде цилиндра с днищем, в котором расположен поршень. Поршень состоит из параллельных дисков, жестко соединенных между собой стержнем. Диски установлены относительно внутренней поверхности корпуса с зазором, а между ними расположен фрикционный материал. В нижний диск упирается пружина.Для фиксации поршня в корпусе демпфера предусмотрено стопорное кольцо, фиксируемое в канавке внутренней поверхности цилиндра корпуса. Стопорный элемент контактирует с верхним диском и удерживает поршень в исходном состоянии. Для высотных каркасно-ствольных зданий разработаны V-образные стальные и "песочные" демпферы, располагаемые между каркасом и стволом здания [7].

Эффективно зарекомендовал себя комплексный подход, предусматривающий группу устройств, которая назначена для того, чтобы повысить сейсмостойкости здания как инерционный демпфер и работать как единая система. Такая система называется многочастотным успокоителем колебаний. Она состоит из множества устройств, установленных на высотном здании и совершающих колебания с известными резонансными частотами по сейсмической нагрузке. В нее также входит ряд междуэтажных диафрагм, обрамленных набором выступающих консолей с различными периодами собственной колебаний. При этом консоли кроме повышения сейсмостойкости придают зданию интересный архитектурный вид.

Существующие методы повышения сейсмостойкости зданий разнообразны и требуют дальнейших исследований и усовершенствований конструирования. При проектировании и строительстве высотных зданий в сейсмическом районе рационально применять комплексные проектные решения, предусматривающие традиционные и специальные методы сейсмозащиты, включающие повышение прочностных характеристик несущих конструкций, сейсмоизоляционные и сейсмогасительные мероприятия, позволяющие значительно повысить надежность и безопасность возводимого здания.

## Литература

1. Макаров С.Б., Панкова Н.В., Тропкин С.Н. Как работают амортизаторы в задачах сейсмозащиты зданий. Исследование вопроса на SIMULIA ABAQUS // Сейсмостойкое строительство, безопасность сооружений. – 2017. – № 4. – С. 36.
2. Захарченко И.В., Мальков Н.М. Разработка системы стационарной сейсмоизоляции // Строительство. Архитектура. – 2012. – С. 3–5.
3. Айзенберг Я.М. Адаптивные системы защиты сооружений. – М. : Наука, 1978. – 248 с.

4. Ньюмарк Н., Розенблат Э. Основы сейсмостойкого строительства. – М. : Стройиздат, 1980.
5. Смирнов В.И. Сейсмоизоляция – инновационная технология защиты высотных зданий от землетрясений в России и за рубежом // Сб.80 лет ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко. – М., 2007. – С. 24–32.
6. Системы сейсмоизоляции / В.А. Тарасов [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 4 (43). – С. 117–140.
7. Алипур М., Гусман Курай Ф.Р, Абу Махади М.И. Система сейсмической изоляции сейсмические демпферы // Системные технологии. – 2019. – № 2 (31). – С. 58–64.
8. Лавренко Ю.А., Садыров Р.К. Сейсмические демпферы - законы работы и применения // Научные горизонты. – 2019. – № 4 (20). – С. 230–235.
9. Королева К.Г., Худякова С.В. Электронный журнал «Строительный эксперт». – 2017.
10. Выскребенцева М.А., ВуЛеКуен. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2019. – № 1.

### References

1. Makarov S.B., Pankova N.V., Tropkin S.N. How do shock absorbers work in seismic protection of buildings. Investigation of the issue on SIMULIA ABAQUS // Earthquake-resistant construction, safety of structures. – 2017. – № 4. – P. 36.
2. Zakharchenko I.V., Malkov N.M. Development of a stationary seismic isolation system // Construction. Architecture. – 2012. – P. 3–5.
3. Aisenberg Ya.M. Adaptive systems for protecting structures. – М. : Nauka, 1978. – 248 p.
4. Newmark N., Rosenblat E. Fundamentals of earthquake-resistant construction. – М. : Stroyizdat, 1980.
5. Smirnov V.I. Seismic isolation – an innovative technology for protecting high-rise buildings from earthquakes in Russia and abroad // Sat. 80 years of TsNIISK im. V.A. Kucherenko. – М., 2007. – P. 24–32.
6. Seismic isolation systems / V.A. Tarasov [et al.] // Construction of unique buildings and structures. – 2016. – № 4 (43). – P. 117–140.
7. Alipur M., Guzman Kurai F.R., Abu Mahadi M.I. Seismic isolation system and seismic dampers // System technologies. – 2019. – № 2 (31). – P. 58–64.
8. Lavrenko Yu.A., Sadyrov R.K. Seismic dampers – laws of operation and application // Scientific horizons. – 2019. – № 4 (20). – P. 230–235.
9. Koroleva K.G., Khudyakova S.V. Electronic magazine «Construction Expert». – 2017.
10. Vyskrebentseva M.A., VuLeKuen. Methods of seismic suppression and seismic isolation using special devices // Electronic scientific journal «Engineering Bulletin of the Don». – 2019. – № 1.