

## КУРУЛУШ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН, СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ СИСТЕМАЛАРЫН ӨНҮКТҮРҮҮ ЖАНА ИМАРАТТАРДЫН ЖАНА КУРУЛМАЛАРДЫН ЖЕР ТИТИРӨӨГӨ ТУРУКТУУЛУГУН КАМСЫЗДОО

**Ахмет Мариям<sup>1</sup>, Куатбаева Токжан Куангалиевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Кам алышуу учун автор: [ahmetmariyam5@gmail.com](mailto:ahmetmariyam5@gmail.com); [aitzhanova.tokzhan@mail.ru](mailto:aitzhanova.tokzhan@mail.ru)

**Аннотация.** Бул макалада курулуш технологияларын жана сейсмоизоляция системаларын өнүктүрүүнүн негизги тенденциялары жана жетишкендиктери каралат. Имараттардын жана курулмалардын жер титирөөгө туруктуулугун камсыздоодогу акыркы инновацияларга, ошондой эле жашоо жана иштөө үчүн коопсуз жана туруктуу чөйрөнү түзүү учун алардын маанилүүлүгүнө талдоо жүргүзүлөт.

**Ачкыч сөздөр:** технология, заманбап, материалдар, жер титирөө, жер титирөөгө туруктуу, структуралар, туруктуу, кыймыл

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА, СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

**Ахмет Мариям<sup>1</sup>, Куатбаева Токжан Куангалиевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Контактная информация: [ahmetmariyam5@gmail.com](mailto:ahmetmariyam5@gmail.com), [aitzhanova.tokzhan@mail.ru](mailto:aitzhanova.tokzhan@mail.ru)

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются основные тенденции и достижения в области развития технологий строительства и систем сейсмоизоляции. Приводится анализ последних инноваций в обеспечении сейсмостойкости зданий и сооружений, а также их важность для создания безопасной и устойчивой среды для жизни и работы.

**Ключевые слова:** технологии, современный, материалы, землетресения, сейсмоустойчивый, конструкции, устойчивый, движение

## DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION TECHNOLOGIES, SEISMIC INSULATION SYSTEMS AND ENSURING EARTHQUAKE RESISTANCE OF BUILDINGS AND STRUCTURES

**Ahmet Mariyam<sup>1</sup>, Kuatbayeva Tokzhan Kuangaliyevna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Corresponding author: [ahmetmariyam5@gmail.com](mailto:ahmetmariyam5@gmail.com), [aitzhanova.tokzhan@mail.ru](mailto:aitzhanova.tokzhan@mail.ru)

**Annotation.** This article discusses the main trends and achievements in the development of construction technologies and seismic insulation systems. The analysis of the latest innovations in ensuring earthquake resistance of buildings and structures, as well as their importance for creating a safe and sustainable environment for life and work, is given.

**Keywords:** technologies, modern, materials, earthquakes, earthquake-resistant, structures, stable, movement

## **1. Введение**

Современное строительство вступило в новую эру благодаря постоянному развитию технологий в области сейсмоизоляции и сейсмостойкости зданий и сооружений. Инженеры и архитекторы разработали и улучшили ряд инновационных подходов. Одним из ключевых достижений стало использование систем сейсмоизоляции, которые позволяют зданиям "плавать" на вибрирующей почве во время землетрясения, смягчая воздействие сейсмических сил. Одним из первых значимых применений этой технологии стало введение изоляционных систем с подвесками, позволяющими зданиям совершать горизонтальные движения, чтобы амортизировать энергию землетрясения. Новейшие разработки включают в себя использование передовых материалов, специальных амортизирующих компонентов и усовершенствованных систем мониторинга. Сейсмоизоляция стала частью обязательных стандартов в регионах с высоким сейсмическим риском. Наряду с развитием систем сейсмоизоляции, происходит оптимизация формы и конструкции зданий, выбор подходящих материалов, и интеграцию усиленных структурных элементов. Одним из ключевых аспектов современного строительства является также учет окружающей среды и устойчивость конструкций не только к сейсмическим нагрузкам и к другим природным и антропогенным воздействиям.

## **2. Проблемы и задачи**

**Что такое землетрясение?** Покрытая коркой кожа Земли состоит из комков, разделенных разломами и траншеями или спрессованных в горы, которые движутся под действием сил конвекции в расплавленном ядре, гравитационных сил Солнца и Луны и центробежных сил вращения Земли. Все эти движения вызывают землетрясения (и извержения вулканов).

**Что приводит к разрушению здания или сооружения?** Это серия ударных волн через короткие промежутки времени. Все здания могут выдерживать собственный вес, снег, оборудование и др. Однако не все здания и сооружения устойчивы к поперечным нагрузкам. Эта слабость будет обнаружена только тогда, когда произойдет землетрясение. Именно эта поперечная нагрузка причиняет наибольший ущерб. Поперечная нагрузка может быть еще сильнее, если толчки происходят волнами, причем каждое новое колебание сильнее предыдущего, вплоть до разрушения. Эта серия волн возникнет там, где здание построено на глубоком мягком грунте, например в Мехико. Дополнительный вес здания создает большие силы на конструкцию и способствует ее разрушению. Чем больше вес и чем выше этот вес в здании, тем прочнее должно быть здание и его фундамент, чтобы противостоять боковым землетрясениям.

Сопротивление раскачивающей нагрузке здания оказывают стены и перегородки, но иногда они повреждаются и ослабляются. В этом случае здание или сооружение становится более уязвимым, и даже слабый толчок может вызвать обрушение.

Во многих многоэтажных зданиях полы и крыши просто опираются на стены, что может привести к разрушению. Соединение стальных стержней с бетоном ослабевает, внешний бетон крошится (раскалывается), основные арматурные стержни могут выгибаться наружу от колонны, и вся прочность исчезает.

Во многих многоэтажных зданиях на нижнем этаже колонны от первого до второго этажа несут самые большие нагрузки, являются самыми длинными, наименее защищенными и имеют наименьшую фиксацию концов. Чем выше здание, оно может рухнуть, особенно если здание может колебаться с частотой ударных волн и если разжижение мягкой почвы под ним привело к наклону здания.

### **Решение и его теоретическое обоснование**

**Сейсмостойкие здания**, согласно строительным стандартам, должны выдерживать самое сильное землетрясение. Чтобы избежать разрушения в результате землетрясений, у строителей не было другого выбора, кроме как создавать свои знаковые конструкции, делая их чрезвычайно жесткими и прочными.

**Методы проектирования сейсмостойких конструкций.** Существует множество известных и практикуемых мер защиты от сейсмических угроз [1]:

- *Левитирующий или плавающий фундамент* отделяет основание здания от его надстройки. Один из способов сделать это — подвесить здание над фундаментом на опорах из свинцовой резины, которые состоят из твердого свинцового сердечника, покрытого чередующимися слоями резины и стали. Опоры крепятся к зданию и его фундаменту с помощью стальных пластин. Так, при возникновении землетрясения плавающий фундамент может двигаться, не перемещая конструкцию над ним. В Японии конструкция позволяет зданиям парить в воздухе. Система левитирует, удерживая здание на воздушной подушке. В систему встроены датчики обнаружения сейсмической активности, которые связываются с воздушным компрессором, создающим слой воздуха между зданием и его основанием.



Рисунок 1 - Левитирующий или плавающий фундамент

- *Амортизация* помогает зданиям замедляться и уменьшать силу вибрационных движений. Амортизаторы размещены на каждом уровне здания – один конец прикреплен к балке, а другой конец – к колонне. Каждый из них состоит из головки поршня, внутри цилиндра, наполненного силиконовым маслом. Во время землетрясений горизонтальное движение здания заставляет поршень давить на масло, преобразуя механическую энергию землетрясения в тепло.

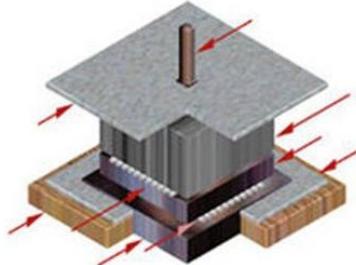


Рисунок 2 – Амортизаторы здания

- *Качающаяся основная стена* - в сердце конструкции устанавливается железобетонное ядро, окруженное лифтовыми блоками. Наиболее эффективно он работает при использовании вместе с базовой изоляцией. Для изоляции основания эластомерные подшипники состоят из чередующихся слоев стали и натурального каучука/неопрена. Подшипник имеет низкую горизонтальную жесткость и вертикальную жесткость.

- *Маятник* - подвешивание огромной массы возле вершины конструкции. Эта масса поддерживается стальными тросами, а между массой и зданием размещаются демпферы из вязкой жидкости. В случае сейсмической активности маятник движется в противоположном направлении, чтобы сбалансировать энергию. Каждый из маятников настроен на синхронизацию с собственной частотой конструкции, и эти системы называются настроенными мас-гасителями. Их цель — противодействовать резонансу и уменьшить динамический отклик конструкции.



Рисунок 3 - Маятник

- *Симметрия, диафрагмы и поперечные связи* - инженеры проектируют симметричные конструкции, чтобы силы равномерно распределялись по конструкции и ограничивали декоративные элементы, такие как карнизы, консольные выступы и т. д.

Землетрясение имеет значительную боковую силу. Сейсмическое проектирование противодействует этим силам как в горизонтальных, так и в вертикальных структурных системах. Диафрагмы являются неотъемлемой частью горизонтальных конструкций. Инженеры проектируют каждую диафрагму на отдельной платформе и укрепляют ее по горизонтали, чтобы она могла распределять боковые силы с помощью вертикальных частей конструкции. В строительстве стен используются связи. Скрепленные рамы опираются на фермы для сопротивления боковому движению. Поперечные связи — это метод, в котором используются два диагональных элемента X-образной формы для построения стеновых ферм.

Ученые и инженеры разрабатывают новые **инновационные строительные материалы**, к которым относятся:

- *Сплавы с памятью формы* могут как выдерживать большие нагрузки, так и возвращаться к своей первоначальной форме;
- *Армированная волокном пластиковая пленка*, изготовленная из различных полимеров, обеспечивает до 38% дополнительной прочности и пластичности.
- *Экологичные строительные материалы для укрепления зданий.* - волокна мидий, паучий шелк, бамбук и материалы, напечатанные на 3D-принтере, могут функционировать как легкие взаимосвязанные конструкции с неограниченными формами, которые обеспечивают еще большую устойчивость зданий [2].

### **Практическое исследование и выводы**

Отличным примером развития сейсмостойких зданий является Япония. От крупномасштабных «демпферов», до систем пружин или шарикоподшипников, технологии значительно продвинулись вперед с тех пор, как 100 лет назад, Великое землетрясение Канто сравняло с землей большую часть Токио и Иокогамы.

Инновации основаны на идее: гибкость дает структурам наибольшие шансы на выживание. «Концептуально все сводится к идее, что вы позволяете зданию двигаться вместе с Землей». Этот принцип использовался в Японии на протяжении веков. Например, многие традиционные деревянные пагоды страны пережили сильные землетрясения. Колонны пагод изгибаются, в то время как отдельные этажи здания движутся в направлении, противоположном своим соседям. Возникающее трясущееся движение — сравниваемое с движением скользящей змеи — помогает противостоять силе толчков, чему способствуют переплетенные соединения и свободные кронштейны, а также широкие карнизы крыши [3].

Землетрясение 1995 года спровоцировало модернизацию старых зданий в соответствии со стандартами 1981 года. Например, архитектор Кенго Кума в 2016 году разработал занавес, состоящий из тысяч плетеных стержней из углеродного волокна,

которые закрепляют штаб-квартиру фирмы на землю как палатка [4]. Другие японские архитекторы, Сигэру Бан и Тойо Ито, начали использовать перекрестно-ламинированную древесину (CLT), новый тип инженерной древесины, который, может изменить способ строительства высотных зданий [5].

### **Какие здания в мире являются лучшими сейсмостойкими?**

**Сабиха Гекчен** —международный аэропорт Стамбула, был спроектирован инжиниринговой фирмой Ove Arup с 300 базовыми изоляционными системами, способными выдержать землетрясение силой до 8,0 МВт. Изоляторы основания способны снизить боковые сейсмические нагрузки на 80%, что делает его одной из крупнейших сейсмически изолированных конструкций в мире. Одна из особенностей сейсмостойкости аэропорта является «маятниковое устройство тройного трения», то есть все здание терминала расположено на платформе, которая изолирована от земли внизу. Когда землетрясение поражает конструкцию, сейсмостойкие конструкции аэропорта движутся небольшими маятковыми движениями. [6].

**Бурдж-Халифа** - конструкция состоит из механических этажей, где выносные стены соединяют колонны по периметру с внутренними стенами. Благодаря этому колонны по периметру могут поддерживать боковое сопротивление конструкции. Вертикальность колонн также помогает выдерживать гравитационные нагрузки. В результате Бурдж-Халифа обладает исключительной жесткостью как в поперечном, так и в продольном направлении [7].

**Тайбэй** - в нем установлен самый мощный демпфер массы (TMD), гигантский металлический шар, который противодействует ветрам и землетрясениям. Демпфер поддерживается гидравлическими амортизаторами и системами бамперов, которые действуют как автомобильный амортизатор. Когда на башню действуют большие силы, TMD раскачивается в противоположном направлении, приводя все здание в равновесие за счет демпфирования переходных сил с помощью массы шара [8-9].

**Филиппинская арена** — с куполом и фантастическое сейсмостойкое сооружение. Огромная крыша стадиона Philippine Arena длиной 170 метров была спроектирована так, чтобы выдерживать землетрясения, ветры и тайфуны. Основной структурный корпус арены изолирован от ее основания и фундамента. Зазор между основной конструкцией и базовой фундаментной системой состоит из свинцово-резиновых подшипников (LRB). Это позволяет системе основания и фундамента свободно перемещаться под действием силы землетрясения, в то время как верхняя конструкция остается неподвижной [10].

### **Заключение**

В ходе исследования было обращено внимание на современные вызовы и тенденции в области строительства с учетом сейсмической активности. Технологии

строительства постоянно развиваются, внедряя новые материалы и методы конструкции, направленные на увеличение сейсмостойкости зданий. Особое внимание уделяется: разработке композитных материалов, методам моделирования для более точного прогнозирования поведения зданий при сейсмических нагрузках; системам сейсмоизоляции для обеспечения безопасности зданий; эффективным и экономически выгодным системам, способных минимизировать воздействие сейсмических волн на конструкции.

### **Библиографический список литературы**

- [1]. <https://www.reidsteel.com/steel-buildings/resilient-steel-structures/earthquake-resistant-building/>
- [2]. <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/earthquakes>
- [3]. <https://www.omicsonline.org/open-access/earthquakeresistant-structures-and-its-seismic-actions-118710.html>
- [4]. <https://www.rishabheng.com/blog/earthquake-resistance-design-techniques-for-civil-structure/>
- [5]. <https://www.bigrantz.com/blog/earthquake-proof-buildings>
- [6]. <https://edition.cnn.com/2024/01/06/style/japan-earthquake-architecture-dfi-hnk/index.html>
- [7]. <https://interestingengineering.com/lists/top-5-earthquake-resistant-structures-around-world>
- [8] Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Брыксин А.А. Результаты исследования здания с резинометаллической сейсмоизоляцией методом стоячих волн (на примере здания гражданского строительства национального университета Тайваня, г. Тайбэй). Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017 - №2. с. 53-59.
- [9] 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.
- [10] Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673/.