УДК 624.042.7

СЕЙСМИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ ЗДАНИЙ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

♦♦♦♦♦

SEISMIC STRENGTHENING OF BUILDINGS: MODERN APPROACHES AND TECHNOLOGIES

Постных Полина Михайловна
студентка 2 курса,
Кубанский государственный технологический университет
postnhpolina@gmail.com

Энкина Виктория Эдуардовна
студентка 2 курса,
Кубанский государственный технологический университет
vikaenkina@icloud.com

Леонова Анна Николаевна
кандидат технических наук,
доцент кафедры строительных конструкций,
Кубанский государственный технологический университет
lan_kubstu@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы и технологии сейсмического усиления зданий. Проведён обзор традиционных и инновационных методов повышения устойчивости конструкций к воздействию землетрясений, включая базовую изоляцию, демпфирующие системы, армирование композитными материалами и использование метаструктур. Систематизированы ключевые принципы выбора технологии в зависимости от конструктивных особенностей здания и сейсмической опасности региона. Приведены сравнительная таблица эффективности различных решений и статистические данные, отражающие их практическую результативность. Работа основана на анализе нормативной документации, зарубежного и отечественного опыта, а также конкретных инженерных кейсов. Сделаны выводы о необходимости интеграции прогрессивных методов усиления в проектную и эксплуатационную практику для снижения риска разрушений и минимизации экономических потерь в условиях сейсмической опасности.

Ключевые слова: сейсмическое усиление зданий; базовая изоляция; демпферы; метаструктуры; строительные конструкции; землетрясение; вибрационные нагрузки; сейсмостойкость; инженерная защита.

Postnykh Polina Mikhailovna
2nd year Student,
Kuban State Technological University
postnhpolina@gmail.com

Enkina Victoria Eduardovna
2nd year Student,
Kuban State Technological University
vikaenkina@icloud.com

Leonova Anna Nikolaevna
Associate Professor of the Department of Building Structures,
Candidate of Technical Sciences,
Kuban State Technological University
lan_kubstu@mail.ru

Annotation. The article considers modern approaches and technologies of seismic strengthening of buildings. A review of traditional and innovative methods of increasing the resistance of structures to earthquakes is given, including basic insulation, damping systems, reinforcement with composite materials and the use of metastructures. The key principles of technology selection depending on the design features of the building and the seismic hazard of the region are systematized. A comparative table of the effectiveness of various solutions and statistical data reflecting their practical effectiveness are provided. The work is based on the analysis of regulatory documentation, foreign and domestic experience, as well as specific engineering cases. Conclusions are made on the need to integrate progressive strengthening methods into design and operational practice to reduce the risk of destruction and minimize economic losses in seismic hazard conditions.

Keywords: seismic strengthening of buildings; basic insulation; dampers; metastructures; building structures; earthquake; vibration loads; seismic resistance; engineering protection.

Сейсмическая активность является одной из наиболее разрушительных природных угроз, оказывающих значительное воздействие на техногенную инфраструктуру и жизнедеятельность человека. Землетрясения способны приводить к серьёзным разрушениям зданий и сооружений, человеческим жертвам и значительным экономическим потерям, особенно в сейсмоопасных регионах. В условиях глобального изменения климата, роста численности населения и расширения городской застройки возрастает необходимость разработки и внедрения эффективных мер, направленных на обеспечение сейсмостойкости объектов капитального строительства.

Многие здания, особенно построенные до 1980-х годов, не соответствуют современным требованиям по сейсмической безопасности [1]. Эти сооружения были спроектированы с учётом устаревших норм и без использования современных техно-

логий, что делает их уязвимыми перед сейсмическими нагрузками. В этой связи возрастает потребность в применении методов сейсмического усиления — инженерно-технических мероприятий, позволяющих улучшить поведение конструкций зданий при воздействии землетрясений.

Современные подходы к сейсмическому усилению зданий охватывают широкий спектр решений: от усиления несущих конструкций традиционными способами до внедрения инновационных материалов и технологий, таких как углепластиковое армирование, демпфирующие устройства, базальтовые сетки, системы внешнего предварительного напряжения. Данная статья направлена на систематизацию и анализ этих решений, а также на определение наиболее эффективных технологий сейсмического усиления, применимых в различных типах зданий и сооружений [2].

В рамках подготовки данной работы были использованы комплексные методы научного анализа, включающие как теоретические, так и прикладные подходы. Основу теоретической части исследования составили методы сравнительного анализа, позволяющие оценить эффективность различных технологий сейсмического усиления зданий на основе отечественного и зарубежного опыта [3]. Изучались нормативные документы, такие как СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах», а также международные стандарты (например, Eurocode 8 и FEMA 356), регламентирующие проектирование и усиление зданий в сейсмоопасных регионах [4].

Для получения объективной картины использовались следующие методы:

– Анализ научной литературы: рассмотрены работы отечественных и зарубежных авторов, включая исследования, опубликованные в профильных журналах по строительной механике, архитектуре и инженерии.

– Контент-анализ проектной документации: изучены примеры реальных проектов по усилению зданий, выполненных в регионах с высокой сейсмической активностью [5].

– Обобщение экспериментальных данных: рассмотрены лабораторные и натурные испытания конструктивных элементов с применением современных технологий усиления.

– Кейс-анализ: проанализированы примеры внедрения конкретных технологий (например, FRP-композитов, демпферов, базальтовых матов) на объектах разного назначения (жилые, общественные, промышленные здания).

Интеграция этих методов позволила обеспечить всестороннюю оценку эффективности подходов и разработать обоснованные выводы по выбору оптимальных решений для сейсмического усиления.

Целью настоящего исследования является систематизация современных подходов и технологий сейсмического усиления зданий, а также определение их эффективности и применимости в различных конструктивных и эксплуатационных условиях. В фокусе анализа находятся как традиционные методы усиления, применяемые в рамках нормативных требований, так и инновационные решения, основанные на применении новых материалов и инженерных систем.

Результаты исследования призваны способствовать более осознанному и эффективному выбору методов сейсмического усиления в практике проектирования, реконструкции и эксплуатации зданий.

1. Базовая изоляция. Базовая изоляция представляет собой технологию, при которой здание отделяется от фундамента с помощью специальных изоляторов, таких как резиновые или фрикционные подушки.

2. Демпфирующие системы. Демпферы, или амортизаторы, устанавливаются в конструкциях зданий для поглощения и рассеивания энергии землетрясения.

3. Усиление с использованием композитных материалов. Применение полимерных композитов, армированных углеродными или стеклянными волокнами, позволяет эффективно усиливать элементы конструкций без значительного увеличения их массы.

4. Стальные диафрагмы и поперечные связи. Установка стальных диагональных связей или диафрагм жесткости повышает устойчивость зданий к горизонтальным сейсмическим нагрузкам.

5. Использование метаматериалов и метаструктур. Современные исследования показывают перспективность применения метаматериалов, таких как метабарьеры и метафундаменты, для снижения воздействия сейсмических волн на здания.

Таблица 1 – Сравнительная таблица технологий сейсмического усиления зданий

Технология	Преимущества	Недостатки	Область применения
Базовая изоляция	Значительное снижение колебаний; долговечность	Высокая стоимость; сложно применить в старых зданиях.	Адм. здания, больницы, новые здания
Демпфирующие системы	Эффективны при любом уровне сейсмической активности	Требуют точного расчёта; высокая цена.	Все типы зданий
FRP-композиты	Лёгкие, прочные, коррозионностойкие	Дорогостоящие материалы, сложный монтаж.	Реконструкция, исторические здания
Стальные связи и диафрагмы	Простота установки, надёжность	Увеличение массы и жёсткости конструкции	Каркасные здания
Метаструктуры и метаматериалы	Перспективно, новые разработки	Ограниченная применимость, высокая стоимость	Экспериментальные и новые объекты

***Примечания**: ** – Оценки эффективности варьируются в зависимости от параметров здания и интенсивности сейсмического воздействия.

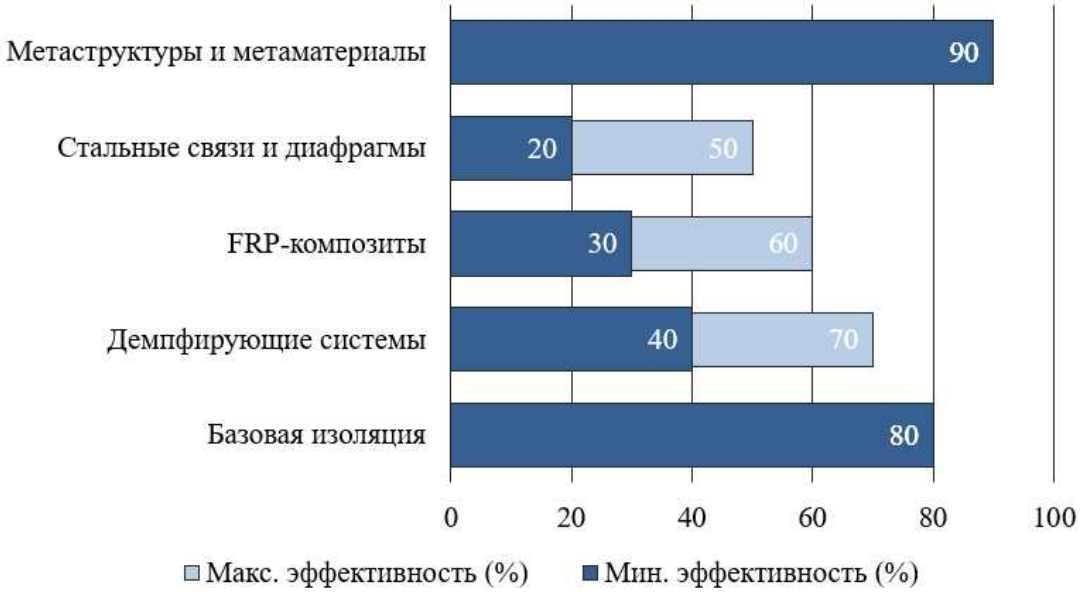


Рисунок 1 – Сравнение эффективности технологий сейсмического усиления зданий

Сейсмическое усиление зданий представляет собой одну из ключевых задач в области обеспечения безопасности городской среды и устойчивого развития территорий, подверженных сейсмическим рискам. Проведённый анализ показал, что современная инженерная наука располагает широким спектром решений – от классических конструктивных мер до высокотехнологичных систем демпфирования и базовой изоляции.

Наиболее перспективными направлениями на сегодняшний день являются использование композитных материалов, демпфирующих устройств и базовой изоляции, которые доказали свою эффективность на практике и в ходе многочисленных экспериментов. Особый интерес представляют метаструктуры, хотя их массовое внедрение пока сдерживается сложностью производства и высокой стоимостью.

На основе проведённого исследования можно рекомендовать широкое внедрение современных технологий сейсмического усиления в проектной и строительной практике, особенно при реконструкции зданий, построенных до введения актуальных норм. Эффективное сочетание различных методов, адаптированных под конкретные условия, позволяет значительно повысить сейсмостойкость зданий и обеспечить защиту человеческих жизней.

Литература

1. Seismic retrofitting of buildings using Building Information Modeling / L.S. Dereje [et al.] // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – 2021. – Vol. 17. – № 2. – P. 188–198.
2. Акульшина П.А. Эффективность различных методов укрепления зданий в сейсмически опасных зонах // Информационные системы и технологии АПК и ПГС: Сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, Курск, 10 октября 2024 года. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 136–139.
3. Ельникова Е.А. Инновации в строительстве в сейсмоопасных районах: повышение безопасности и устойчивости / Е.А. Ельникова, А.М. Кончин // Вестник Северо-Восточного государственного университета. – 2024. – № 42. – С. 48–51.
4. Российские и зарубежные нормы сейсмического проектирования зданий и сооружений / А.М. Шаторная [и др.] // AlfaBuild. – 2018. – № 4(6). – С. 92–114.
5. Самсонова А.И. О необходимости повышения сейсмоустойчивости зданий / А.И. Самсонова, Р.Р. Аллямов, Ю.В. Бельцев // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2024. – № 1. – С. 412–413.

References

1. Seismic retrofitting of buildings using Building Information Modeling / L.S. Dereje [et al.] // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – 2021. – Vol. 17. – № 2. – P. 188–198.
2. Akulshina P.A. Efficiency of various methods of strengthening buildings in seismically hazardous areas // Information systems and technologies of the agro-industrial complex and civil engineering: Collection of scientific articles of the 2nd International scientific and technical conference, Kursk, October 10, 2024. – Kursk : ZAO «Universitetskaya kniga», 2024. – P. 136–139.
3. Elnikova E.A. Innovations in construction in earthquake-prone areas: improving safety and sustainability / E.A. Elnikova, A.M. Konchin // Bulletin of the North-Eastern State University. – 2024. – № 42. – P. 48–51.
4. Russian and Foreign Standards for Seismic Design of Buildings and Structures / A.M. Shatornaya [et al.] // AlfaBuild. – 2018. – № 4(6). – P. 92–114.
5. Samsonova A.I. On the Need to Improve the Seismic Resistance of Buildings / A.I. Samsonova, R.R. Allyamov, Yu.V. Beltsev // Young Scientists – for the Development of the National Technological Initiative (POISK). – 2024. – № 1. – P. 412–413.