

АРУТЮНОВА Таисия Рубеновна,
студент,
КубГАУ,
e-mail: arutyunova.0505@mail.ru

КИСЛЯК Елизавета Романовна,
студент,
КубГАУ,
e-mail: kislyakelizaveta@yandex.ru

ИНОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СЕЙСМООПАСНЫХ ЗОНАХ

Аннотация. Статья посвящена системному анализу инновационных стратегий в области сейсмозащиты зданий и сооружений. Актуальность темы обусловлена глобальной потребностью в повышении устойчивости инфраструктуры в сейсмоопасных регионах, что требует перехода от традиционных методов проектирования, ориентированных на неразрушение, к комплексному управлению рисками и обеспечению функциональной устойчивости. Цель исследования заключается в проведении анализа технологий, перешедших из экспериментальной стадии в практическую реализацию, их сравнительной оценке и определении условий для эффективного внедрения. Научная новизна работы состоит в целостном рассмотрении современных подходов — гибридных систем, композитного усиления и цифрового мониторинга — как элементов единой эволюционной парадигмы, направленной на создание адаптивных и жизнеспособных сооружений.

В работе последовательно рассмотрены устоявшиеся классические подходы, такие как сейсмическое демпфирование и изоляция, а также детально проанализированы три ключевых направления практических инноваций: гибридные системы, сочетающие принципы изоляции и демпфирования, технология усиления композитными материалами и системы структурного мониторинга. Каждое направление иллюстрируется конкретными примерами внедрения на реальных объектах.

Методология исследования базируется на сравнительном анализе указанных технологий по критериям области применения, эффективности, стоимости и сложности внедрения. На основе этого анализа выявлены основные экономические, нормативные и кадровые барьеры, а также обоснован ключевой отраслевой тренд — переход к модели функциональной устойчивости, который делает инвестиции в современные системы сейсмозащиты стратегически и экономически оправданными.

Ключевые слова: сейсмозащита, сейсмическая изоляция, демпфирование, гибридные системы, композитные материалы, структурный мониторинг, функциональная устойчивость, сейсмическое строительство.

ARUTYUNOVA Taisiya Rubenovna,
student,
KubGAU

KISLYAK Elizaveta Romanovna,
student,
KubGAU

INNOVATIVE METHODS OF PROTECTING BUILDINGS AND STRUCTURES IN EARTHQUAKE-PRONE AREAS

Annotation. The article is devoted to a systematic analysis of innovative strategies in the field of seismic protection of buildings and structures. The relevance of the topic is due to the global need to increase the stability of infrastructure in earthquake-prone regions, which requires a transition from traditional non-destructive engineering methods to integrated risk management and functional stability. The purpose of the study is to analyze technologies that have passed from the experimental stage to practical implementation, to compare them and to determine the conditions for effective implementation. The scientific novelty of the work consists in a holistic consideration of modern approaches — hybrid systems, composite reinforcement

and digital monitoring — as elements of a single evolutionary paradigm aimed at creating adaptive and viable structures.

The paper consistently examines established classical approaches such as seismic damping and insulation, and analyzes in detail three key areas of practical innovation: hybrid systems combining the principles of insulation and damping, reinforcement technology with composite materials, and structural monitoring systems. Each direction is illustrated with specific examples of implementation on real objects.

The research methodology is based on a comparative analysis of these technologies according to the criteria of scope, effectiveness, cost and complexity of implementation. Based on this analysis, the main economic, regulatory and personnel barriers have been identified, as well as a key industry trend has been substantiated — the transition to a model of functional stability, which makes investments in modern seismic protection systems strategically and economically justified.

Key words: seismic protection, seismic isolation, damping, hybrid systems, composite materials, structural monitoring, functional stability, seismic construction.

Повышение сейсмической устойчивости сооружений остается одной из наиболее актуальных задач современного строительства в регионах с высокой сейсмической активностью. Так, например, около четверти территории Российской Федерации относится к категории сейсмоопасных. На более чем 1 млн 700 тыс. км² этой территории регулярно происходят землетрясения интенсивностью 6–9 баллов [2, с. 167]. Традиционные подходы, основанные на увеличении прочности и жесткости несущих конструкций, демонстрируют свою ограниченность, часто приводя значительным материальным потерям, например, к увеличению расхода арматуры на 22–45% в плитах перекрытия или при проектировании на сейсмические нагрузки. Такой метод не только не всегда экономически оправдан, но и приводит к увеличению массы и, как следствие, инерционной сейсмической нагрузки, что требует активного внедрения новых эффективных методов, способных адаптироваться к воздействию [1, с. 181]. В этой связи в мировой инженерной практике происходит последовательный переход от парадигмы пассивного сопротивления к стратегиям активного управления сейсмическим воздействием.

Данная эволюция выражается в разработке и внедрении инновационных технических решений, направленных не на противодействие кинетической энергии землетрясения, а на ее контроль, диссипацию или изоляцию от сооружения. К числу таких решений относятся системы сейсмического демпфирования и изоляции, которые за последние десятилетия перешли из разряда экспериментальных в категорию проверенных технологий. В настоящее время вектор исследований смещается в сторону адаптивных систем, материалов с заданными свойствами и комплексных цифровых методологий прогнозного анализа.

Основу современной практики сейсмостойкого строительства составляют два принципиальных подхода, представляющих собой технологическую основу, от которой развиваются новые инновационные решения.

Принцип сейсмического демпфирования основан на целенаправленном рассеивании кинетической энергии колебаний внутри самой

конструкции. Для этого в несущую систему интегрируются специальные устройства — демпферы. Наиболее распространены вязкоупругие демпферы, работающие на сдвиг слоя полимерного материала; гидравлические демпферы, диссипирующие энергию за счет перетекания жидкости через калиброванные отверстия; и фрикционные демпферы, в которых трение между специальными пластинами преобразует энергию в тепло.

Отдельным высокоэффективным решением для высотных зданий являются маятниковые гасители колебаний, представляющие собой массивный груз, подвешенный на верхних этажах и движущийся в противофазе основным колебаниям здания. Наиболее известным примером служит сферический стальной маятник массой 660 тонн, установленный на 87–92 этажах небоскреба Тайбэй 101 в Тайване, предназначенный для противодействия ветровым и сейсмическим колебаниям. Маятник выполняет роль своеобразного виброгасителя, а его работа основана на формировании силовых воздействий, передаваемых на объект [5, с. 203]. Существенным практическим достоинством таких систем является возможность их интеграции в существующие каркасы при сейсмическом усилении. Однако их эффективность строго зависит от точности динамического расчета и правильного позиционирования, а сами устройства могут занимать полезный объем и требовать периодической проверки.

Второй принцип — принцип сейсмической изоляции. Он реализует иную концепцию — не гашение, а предотвращение передачи основной доли сейсмической энергии от грунта к надфундаментной части сооружения. Это достигается за счет устройства специального деформационного горизонта — сейсмоизоляторов — на уровне фундамента или промежуточных опор. Наибольшее распространение получили эластомерные опоры, обладающие высокой вертикальной жесткостью и значительной горизонтальной податливостью, а также сферические опоры скольжения, позволяющие зданию смещаться по криволинейной поверхности. Крупнейшим в мире проектом с использованием данной технологии на момент строительства стал новый Международный терминал аэропорта в Сан-Франциско, введенный

в эксплуатацию в 2000 году. Под всем зданием терминала, площадь которого превышает 150000 м², было установлено 267 сейсмоизоляционных опор. Каждая опора рассчитана на перемещение до 50 см в любом горизонтальном направлении. В случае сильного землетрясения эти опоры позволяют массивному зданию терминала плавно качаться на своей фундаментной плите, изолируя его от разрушительных колебаний грунта.

Главным преимуществом сейсмической изоляции является кардинальное, в разы, снижение расчетных усилий и ускорений в несущих конструкциях и, как следствие, повышение уровня защищенности как самого здания, так и его содержимого. Так, внедрение резинометаллических опор позволяет снизить усилия в конструкциях до 56,5%, а перемещения верха здания до 45%. Основными ограничениями данного подхода являются высокая начальная стоимость, необходимость обеспечения значительных зазоров для свободного перемещения изолированного сооружения, сложность устройства входа инженерных коммуникаций и неприменимость на участках с крутым рельефом. Несмотря на эти барьеры, сейсмическая изоляция признана стандартом для объектов повышенной ответственности в регионах с высокой сейсмичностью.

Современные инновационные стратегии в сейсмозащите развиваются не только в области фундаментальных исследований, но и как внедряемые технологии, которые уже сегодня применяются в ответственных проектах по всему миру. Так, сравнительный анализ показывает, что применение ограничителей колебаний в системах с гибкими связями позволяет снижать максимальные остаточные перемещения в 5-9 раз, в зависимости от параметров системы.

Гибридные системы сейсмозащиты представляют собой один из наиболее практичных инновационных подходов. Они сочетают в одной конструкции несколько принципов, например, сейсмическую изоляцию с дополненным демпфированием. Ярким примером служит Национальный музей западного искусства в Токио, где в ходе реконструкции под главное здание, спроектированное Ле Корбюзье, была интегрирована система свинцово-резиновых опор в сочетании с жидкостными демпферами. Гибридная установка не только изолирует здание, но и эффективно поглощает остаточную энергию, обеспечивая высочайший уровень защиты для музейных фондов.

Другой практически реализуемой инновацией является применение высокоточных композитных материалов на основе полимерных волокон для сейсмического усиления существующих зданий. Данная технология представляет собой эффективную альтернативу традиционным методам, таким как наращивание железобетонных обоев или установка стальных распорок, которые часто значительно утяжеляют конструкцию и меняют ее архитектурный облик.

Суть метода заключается в наклейке на поверхность несущих элементов высокопрочных ламелей, тканей или сеток из углеродного, стеклянного или арамидного волокна, пропитанных эпоксидной смолой. Образованный композитный слой работает как внешняя арматура, повышая прочность, сцепление и сейсмическую пластичность конструкции. Ключевыми преимуществами являются минимальное увеличение массы и сечения, что критически важно для исторических зданий и объектов со слабыми фундаментами, а также высокая скорость монтажа и возможность обработки сложных поверхностей.

Системы структурного мониторинга (SHM) перестали быть экспериментальными и стали обязательным элементом для уникальных и высотных сооружений. Например, небоскреб Бурдж-Халифа в Дубае оснащен разветвленной сетью из сотен стационарных датчиков, в числе которых акселерометры, фиксирующие ускорения от ветровых и сейсмических колебаний по всей высоте здания, GPS-приемники, отслеживающие абсолютные смещения, и тензометрические датчики, измеряющие деформации в ключевых несущих элементах. Данные в реальном времени поступают в центр управления, где анализируются для обеспечения безопасности и планирования превентивного обслуживания. Такая система позволяет оперативно выявлять любые отклонения от проектного поведения.

Практическое применение инновационных стратегий требует их объективного сопоставления и осознания текущих ограничений. Сравнительный анализ показывает, что технологии не конкурируют, а дополняют друг друга, занимая свои рыночные ниши. Классические системы изоляции и демпфирования остаются базовым решением для нового строительства. При этом важно отметить, что системы сейсмоизоляции, помимо прямого защитного эффекта, обеспечивают зданию более высокую ремонтопригодность, поскольку возможные отказы локализуются в доступных и заменяемых элементах изоляции, а не в скрытых несущих конструкциях [4, с. 9]. Гибридные системы и композитное усиление эффективны для объектов с особыми требованиями и реконструкции, а структурный мониторинг становится стандартом для уникальных и ответственных сооружений.

Основные барьеры внедрения носят экономический и нормативный характер, усугубляясь методологической сложностью уникального проектирования для каждого объекта, исходя из его геометрических параметров, геологических свойств территории и прочих влияющих факторов [3, с. 475]. К ним относятся высокая первоначальная стоимость инновационных материалов и решений, отставание строительных норм от темпов технологического развития, а также дефицит специализированных инженерных кадров. Дополнительным сдерживающим фактором явля-

ется консерватизм заказчиков, предпочитающих проверенные, хотя и менее совершенные варианты.

Текущие отраслевые тенденции, однако, способствуют постепенному преодолению этих барьеров. Наблюдается снижение стоимости ключевых компонентов, таких как датчики и композиты, за счет масштабирования производства. Происходит интеграция технологий в комплексные инженерные системы. Усиливается тренд на цифровизацию и управление объектом на основе данных на всех этапах жизненного цикла, что повышает обоснованность инвестиций в

инновации. Приоритет смещается с концепции «неразрушения» к достижению функциональной устойчивости, что делает передовые решения экономически оправданными для критически важной инфраструктуры.

В итоге, будущее развития направления связано не с поиском универсального решения, а с адаптивным комбинированием проверенных и перспективных технологий на основе данных и точного анализа рисков, что в итоге ведет к созданию более безопасной, экономичной и устойчивой архитектурной среды.

Список литературы:

- [1] Дудников М. А., Дроздов В. В. Повышение сейсмической надежности высотных зданий на основе информационного обеспечения // *Инновации и инвестиции*. — 2023. — №. 4. — С. 475-477.
- [2] Зайнулабидова Х.Р. Оптимизация параметров сейсмоизоляции каркасных зданий с применением адаптивных методов // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. — 2024. — №. 3. — С. 180-188.
- [3] Захаров С. А., Дроздов В. В., Калиновский С. А., Воробьева А. Д. Классифицирование систем и методов защиты зданий и сооружений в сейсмически активных районах // *Экономика строительства*. — 2023. — №. 4. — С. 167-171.
- [4] Левинсков К.Е., Пугач Е.М. Особенности применения технологий строительства сейсмостойких зданий // *Вестник евразийской науки*. — 2024. — №. 2. — С. 1-13.
- [5] О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов / «Защита технических систем от динамических воздействий» / *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. — 2013. — № 4 (8). — С. 201-206.

References:

- [1] Dudnikov M. A., Drozdov V. V. Increasing the seismic reliability of high-rise buildings based on information support // *Innovations and Investments*. - 2023. - No. 4. - P. 475-477.
- [2] Zainulabidova H.R. Optimization of seismic isolation parameters of frame buildings using adaptive methods // *Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences*. - 2024. - No. 3. - P. 180-188.
- [3] Zakharov S. A., Drozdov V. V., Kalinovsky S. A., Vorobyova A. D. Classification of systems and methods for protecting buildings and structures in seismically active areas // *Construction Economics*. - 2023. - No. 4. - P. 167-171.
- [4] Levinskoy, K.E., Pugach E.M. Features of the application of technologies for the construction of earthquake-resistant buildings // *Bulletin of Eurasian Science*. - 2024. - No. 2. - P. 1-13.
- [5] O. Sh. Hadi, A. N. Litvinov / «Protection of technical systems from dynamic impacts» / *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. - 2013. - No. 4 (8). - P. 201-206.





ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ»
издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.