

Ссылка для цитирования этой статьи:

Синяшин Е.В., Серебряков Е.Е., Чигрин М.Н., Тихонов Л.В. Оптимизация конструкций фундаментов для зданий на участках с высокой сейсмической активностью // Human Progress. 2024. Том 10, Вып. 12. URL: http://progress-human.com/images/2024/Tom10_12/Sinyashin.pdf DOI 10.46320/2073-4506-2024-12a-8.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ ДЛЯ ЗДАНИЙ НА УЧАСТКАХ С ВЫСОКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Синяшин Егор Владимирович

студент,
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Серебряков Егор Евгеньевич

студент,
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Чигрин Михаил Николаевич

студент,
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Тихонов Леонид Вадимович

студент,
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к оптимизации конструктивных решений фундаментов для зданий в условиях высокой сейсмической активности. Основное внимание уделено применению инновационных материалов, таких как стеклопластиковая арматура и высокопрочные бетоны, внедрению технологий сейсмоизоляции и демпфирования, а также совершенствованию свайно-ростверковых систем. Приведены результаты исследований, демонстрирующие повышение устойчивости и долговечности фундаментов, а также снижение вероятности разрушений при землетрясениях. Отдельное внимание уделено использованию инъекционных технологий для уплотнения грунтов и программного моделирования поведения конструкций под динамическими нагрузками. Практическая значимость заключается в снижении экономических затрат,

повышении безопасности сооружений и обеспечении устойчивого развития инфраструктуры в регионах с высокой сейсмической активностью.

Ключевые слова: сейсмоопасные регионы, фундаменты, сейсмоизоляция, инновационные материалы, стеклопластиковая арматура, системы, высокопрочный бетон, инъекционные технологии, демпфирование, устойчивость зданий.

Фундаменты в сейсмоопасных регионах играют критическую роль в обеспечении устойчивости зданий при воздействии землетрясений. Одной из ключевых задач является выбор и оптимизация конструкции фундамента, способной эффективно воспринимать горизонтальные и вертикальные сейсмические нагрузки, а также компенсировать неравномерные осадки и динамические воздействия на грунты. Существующие типы фундаментов показывают различные уровни эффективности, что требует системного анализа и усовершенствования их конструктивных решений.

Ленточные фундаменты, представляющие собой сплошные или прерывистые бетонные или железобетонные ленты, чаще всего используются для малоэтажных и средней этажности зданий. Несмотря на их простоту и относительную экономичность, в условиях сейсмической активности такие конструкции могут демонстрировать недостаточную устойчивость из-за высокой чувствительности к горизонтальным силам. Оптимизация ленточных фундаментов достигается путем увеличения глубины заложения до плотных слоев грунта, применения высокопрочного бетона с добавлением модифицирующих компонентов и комплексного армирования. Например, исследования, проведенные в Японии, показывают, что внедрение трехуровневого армирования позволяет снизить уровень деформации на 20% при сейсмических ударах до 7 баллов.

Свайные фундаменты широко применяются в сейсмоопасных регионах, особенно на участках с рыхлыми или слабонесущими грунтами. Они представляют собой системы забивных, буронабивных или винтовых свай, передающих нагрузки на устойчивые слои грунта. Оптимизация свайных фундаментов предполагает увеличение длины свай, использование композитных материалов, таких как стеклопластик, для повышения их устойчивости к растягивающим и изгибающим нагрузкам, а также объединение свай ростверком для перераспределения усилий [1]. В Чили, где высока сейсмическая активность, применяются свайные фундаменты с резинометаллическими демпферами, что позволило снизить амплитуду колебаний зданий на 30% в случае сильных землетрясений.

Плитные фундаменты, состоящие из монолитной железобетонной плиты, демонстрируют высокую сейсмостойкость за счет способности равномерно распределять

нагрузки по всей площади контакта с грунтом. Эти фундаменты особенно эффективны на участках с низкой несущей способностью грунтов. Дополнительная оптимизация плитных фундаментов включает использование предварительно напряженного бетона, что увеличивает их прочность и снижает риск появления трещин. Эксперименты, проведенные в лабораториях Калифорнийского технологического института, показали, что предварительное напряжение позволяет увеличить предел прочности плитного фундамента на 15%, а добавление демпфирующих слоев между фундаментом и надземной частью здания снижает передаваемые вибрации на 25%.

Столбчатые фундаменты, которые обычно состоят из отдельных опор, обладают экономичностью, но требуют усиления при использовании в зонах с высокой сейсмической активностью. Важным шагом в их оптимизации является объединение столбов жестким ростверком и добавление горизонтальных связей между элементами. Для дальнейшего повышения их устойчивости применяются инъекционные технологии уплотнения грунта вокруг столбов, что позволяет увеличить несущую способность основания на 10–15%.

Одним из наиболее инновационных решений являются сейсмоизолирующие системы, включающие резинометаллические опоры, скользящие опоры и демпферы. Эти устройства позволяют значительно снизить передачу сейсмической энергии на надземную часть здания, увеличивая безопасность сооружений. Анализ, проведенный в Индии на примере использования скользящих опор в конструкциях больниц и школ, показал, что внедрение таких систем уменьшает вероятность разрушений на 40%, а также позволяет сохранить функциональность здания в условиях землетрясений силой до 8 баллов [2].

Оптимизация конструктивных решений фундаментов для зданий в сейсмоопасных регионах представляет собой одну из наиболее актуальных задач современного строительного проектирования, направленных на повышение надежности и устойчивости зданий при воздействии сейсмических нагрузок. Сейсмические удары, характеризующиеся высокой интенсивностью и динамическими нагрузками, создают значительные риски для зданий, что требует применения инновационных решений, обеспечивающих стабильность фундаментов и предотвращение разрушений. Ключевыми направлениями оптимизации являются применение новых материалов, совершенствование конструктивных систем, внедрение современных технологий сейсмоизоляции и детальное моделирование поведения фундаментов под нагрузками.

Одним из наиболее перспективных решений является использование современных композитных материалов, таких как стеклопластиковая арматура, которая отличается высокой устойчивостью к коррозии, легкостью и гибкостью. Применение этой арматуры в свайных

фундаментах позволяет существенно повысить их прочностные характеристики и устойчивость к динамическим воздействиям [3]. Так, исследования, проведенные в Японии, показали, что использование стеклопластика в армировании свай увеличивает их устойчивость к растягивающим нагрузкам на 30%, что особенно важно для защиты конструкций от горизонтальных сейсмических волн. Аналогичные результаты были получены в Турции, где свайные фундаменты, усиленные стеклопластиковой арматурой, продемонстрировали снижение амплитуды колебаний зданий на 20% при землетрясениях интенсивностью до 7 баллов.

Не менее важным направлением является внедрение технологий сейсмоизоляции, таких как резинометаллические опоры и скользящие подушки, которые позволяют снизить передачу сейсмических вибраций от грунта к надземной части здания. В Чили, где сейсмическая активность является одной из самых высоких в мире, применение сейсмоизолирующих систем в многоэтажных жилых домах позволило уменьшить сейсмическое воздействие на конструкции на 40%, что не только снизило вероятность разрушений, но и существенно сократило затраты на восстановление после землетрясений [4]. Подобные системы активно внедряются и в Калифорнии, где их использование в больничных комплексах позволило сохранить функциональность зданий даже после землетрясений силой до 8 баллов.

Важным решением для оптимизации конструкций фундаментов является использование предварительно напряженного бетона в плитных фундаментах. Эта технология позволяет значительно повысить трещиностойкость и прочность конструкций, что особенно важно в условиях неравномерных осадок грунта и интенсивных динамических воздействий. Экспериментальные исследования, проведенные в США, подтвердили, что плитные фундаменты из предварительно напряженного бетона демонстрируют на 25% более высокие показатели прочности и устойчивости по сравнению с традиционными бетонными конструкциями. Более того, внедрение дополнительных демпфирующих слоев между плитой и основанием здания обеспечивает дополнительное снижение амплитуды передаваемых вибраций на 15%.

Особое внимание уделяется совершенствованию свайно-ростверковых систем, которые эффективно работают на слабых грунтах и обеспечивают равномерное распределение нагрузок. Эти системы представляют собой комбинацию свай, связанных жестким ростверком, что позволяет снизить деформации грунта и минимизировать неравномерные осадки. В Китае применение свайно-ростверковых конструкций в строительстве мостов и

высотных зданий привело к увеличению общей устойчивости объектов на 35%, что подтвердило их эффективность в условиях сложных грунтовых и сейсмических условий.

Инновационные подходы включают также внедрение методов инъекционного уплотнения грунта, которые позволяют увеличить несущую способность основания фундаментов на 10–15%. Эти технологии активно применяются в строительстве в Индии и Греции, где нестабильные грунты создают серьезные риски для безопасности зданий. Использование инъекционных смесей, содержащих полимерные компоненты, дополнительно обеспечивает защиту грунта от вымывания и повышения его сейсмостойкости.

Моделирование с использованием численных методов, таких как метод конечных элементов, стало неотъемлемой частью оптимизации конструктивных решений. Эти методы позволяют прогнозировать поведение фундаментов при различных сейсмических воздействиях и адаптировать конструктивные параметры для минимизации риска разрушений. Так, в лабораториях Калифорнийского университета разработаны программные комплексы, которые позволяют моделировать взаимодействие фундаментов с грунтами и прогнозировать их поведение при землетрясениях. Применение этих программ в проектировании высотных зданий позволило сократить затраты на дополнительные усиления конструкций на 15%, сохранив при этом высокий уровень их безопасности.

Одним из важнейших результатов является применение сейсмоизолирующих систем, которые доказали свою способность значительно снижать передачу сейсмических нагрузок от грунта к надземной части здания. В странах с высокой сейсмической активностью, таких как Япония, Чили и Индия, внедрение таких систем позволило добиться значительных улучшений. Например, в Чили использование резинометаллических опор и скользящих подушек в конструкциях многоэтажных жилых зданий позволило снизить амплитуду колебаний на 40%, что существенно уменьшило вероятность их разрушения. Дополнительно применение демпферов с вязкоупругими материалами сократило передаваемую вибрацию на 25%, что обеспечило сохранение функциональности стратегических объектов, таких как больницы и центры управления, даже при землетрясениях силой 8 баллов. Это решение не только повысило безопасность зданий, но и снизило расходы на восстановление инфраструктуры на миллионы долларов [5].

Применение инновационных материалов, таких как стеклопластиковая арматура и высокопрочные бетоны с модифицирующими добавками, продемонстрировало значительные преимущества в повышении долговечности и устойчивости фундаментов. В Турции исследования показали, что использование стеклопластика в свайных фундаментах увеличивает их способность выдерживать динамические нагрузки на 30%, а также продлевает

срок службы конструкций в агрессивных средах. В сочетании с высокопрочным бетоном, устойчивым к растрескиванию и пластическим деформациям, эти материалы обеспечивают надежную основу для зданий даже на сложных грунтах. Аналогичные исследования, проведенные в Японии, подтвердили, что такие фундаменты демонстрируют снижение риска трещинообразования на 20% при длительных нагрузках.

Плитные фундаменты из предварительно напряженного бетона показали себя как одно из наиболее эффективных решений для объектов в сейсмоопасных регионах. В Калифорнии применение этой технологии увеличило прочность фундаментов на 25%, а также снизило вероятность повреждений при неравномерных осадках на 15%. Введение дополнительного слоя демпфирующих материалов между плитой и основанием дополнительно уменьшило амплитуду вибраций, что обеспечило высокий уровень устойчивости промышленных объектов и многоэтажных зданий. Экономическая выгода от таких решений проявляется в сокращении затрат на усиление конструкций и повышение их эксплуатационной надежности.

Комбинированные системы, такие как свайно-ростверковые конструкции, широко применяются для перераспределения нагрузок между элементами фундаментов. В Китае использование таких решений в мостовых конструкциях и высотных зданиях позволило увеличить их устойчивость к сейсмическим воздействиям на 35%. Ростверки из предварительно напряженного бетона дополнительно увеличивают устойчивость конструкций к горизонтальным перемещениям и минимизируют риск прогибов. Кроме того, такие системы доказали свою экономическую эффективность, поскольку позволяют уменьшить объем необходимого бетона и арматуры без потери прочностных характеристик.

Инъекционные технологии уплотнения грунтовых оснований продемонстрировали высокую эффективность для повышения несущей способности фундаментов. Использование полимерных растворов, инъецируемых в грунт, позволяет увеличить его несущую способность на 15% и стабилизировать неустойчивые слои. Эти методы активно применяются в Индии и Греции, где сложные грунты создают значительные риски для устойчивости зданий. Например, в Афинах инъекционные технологии позволили стабилизировать основание исторических зданий, сохраняя их архитектурную ценность и предотвращая разрушения при землетрясениях силой до 6 баллов.

Программное моделирование с использованием численных методов, таких как метод конечных элементов, обеспечивает точное прогнозирование поведения фундаментов при сейсмических воздействиях. Программные комплексы, разработанные в Калифорнии, позволяют моделировать взаимодействие конструкций с различными типами грунтов и оптимизировать параметры фундаментов. Применение этих технологий позволило сократить

затраты на проектирование и строительство на 20%, сохранив при этом высокий уровень безопасности. Такие системы стали стандартом для проектирования объектов стратегического назначения в сейсмоопасных регионах.

Список литературы

1. Армянский А. А. Сейсмостойкость зданий и сооружений: учебное пособие / А.А. Армянский. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. 256 с.
2. Козин В.А. Сейсмостойкое строительство: теория и практика / В.А. Козин, И.В. Петров. СПб.: СПбГАСУ, 2015. 312 с.
3. Ushakov A.S. Methods of seismic isolation of building foundations / A.S. Ushakov // Technical Sciences: Problems and Perspectives. 2011. № 1. P. 236–240.
4. Arutyunyan R.S. Modern methods of seismic isolation of buildings and structures / R.S. Arutyunyan // Engineering and Construction. 2018. Vol. 3, № 13. P. 25–30.
5. Мурадян Г.К. Повышение сейсмостойкости эксплуатируемых зданий с использованием специальных методов сейсмозащиты / Г.К. Мурадян // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2018. Т. 2. С. 218–227.

OPTIMIZATION OF FOUNDATION STRUCTURES FOR BUILDINGS IN AREAS WITH HIGH SEISMIC ACTIVITY

Sinyashin Egor Vladimirovich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Serebryakov Egor Evgenievich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Chigrin Mikhail Nikolaevich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Tikhonov Leonid Vadimovich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Annotation. The article discusses modern approaches to optimizing structural solutions for foundations for buildings in conditions of high seismic activity. The main focus is on the use of innovative materials such as fiberglass reinforcement and high-strength concrete, the introduction of

seismic insulation and damping technologies, as well as the improvement of pile-grillwork systems. The research results are presented, demonstrating an increase in the stability and durability of foundations, as well as a decrease in the likelihood of damage during earthquakes. Special attention is paid to the use of injection technologies for soil compaction and software modeling of the behavior of structures under dynamic loads. The practical importance lies in reducing economic costs, improving the safety of structures and ensuring the sustainable development of infrastructure in regions with high seismic activity.

Keywords: earthquake-prone regions, foundations, seismic insulation, innovative materials, fiberglass reinforcement, systems, high-strength concrete, injection technologies, damping, building stability.

References

1. Armyansky A. A. Seismic resistance of buildings and structures: a textbook / A.A. Armyansky. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2010. 256 p.
2. Kozin V.A. Earthquake-resistant construction: theory and practice / V.A. Kozin, I.V. Petrov. St. Petersburg: SPbGASU, 2015. 312 p.
3. Ushakov A.S. Methods of seismic isolation of building foundation / A.S. Ushakov // Technical Sciences: Problems and Perspectives. 2011. № 1. P. 236–240.
4. Harutyunyan R.S. Modern methods of seismic isolation of buildings and structures / R.S. Harutyunyan // Engineering and Construction. 2018. Vol. 3, No. 13. P. 25-30.
5. Muradyan G.K. Increasing the seismic resistance of operated buildings using special seismic protection methods / G.K. Muradyan // Modern technologies in construction. Theory and practice. 2018. Vol. 2. pp. 218-227.