

ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

APPLICATION OF LOW-CARBON STRUCTURAL SOLUTIONS IN EARTHQUAKE- RESISTANT CONSTRUCTION

SEYSMIK BARQAROR QURILISHLARDA PAST UGLERODLI KONSTRUKTIV YESHIMLARNI QO‘LLASH

Байматов Шахриддин Хушвактович
зав. кафедры «Строительство зданий и сооружений»
Ташкентский архитектурно-строительный университет
Телефон: +998914699677
mail: sh.baymatov@taqu.uz

Сабитова Ирода Иброхим кизи
магистрантка кафедры «Строительство зданий и сооружений»
Ташкентский архитектурно-строительный университет
Телефон: +998 93 809 81 11
E-mail: sabitovairoda593@gmail.com
<https://doi.org/10.5281/zenodo.20554947>

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы применения низкоуглеродных конструктивных решений в сейсмостойком строительстве. В современных условиях развитие строительной отрасли сопровождается ростом требований к экологической эффективности зданий и снижению выбросов углекислого газа. Для Республики Узбекистан данная проблема приобретает особую актуальность в связи с высокой сейсмической активностью территории и интенсивным развитием многоэтажного строительства.

Целью исследования является анализ возможностей применения низкоуглеродных конструктивных решений в сейсмостойком строительстве и оценка их влияния на снижение сейсмических нагрузок и повышение экологической эффективности зданий.

В работе использованы методы сравнительного анализа нормативных документов, аналитической оценки конструктивных решений и обобщения современных научных исследований. Выполнен анализ низкоуглеродных бетонов, композитных конструкций и материалов вторичной переработки. Рассмотрены особенности нормативного регулирования в Республике Узбекистан, Российской Федерации и странах Европейского союза.

Установлено, что снижение массы конструктивной системы способствует уменьшению инерционных сейсмических воздействий, а применение низкоуглеродных материалов позволяет снизить экологическую нагрузку строительной отрасли. Показана необходимость совершенствования нормативной базы в части учета экологических показателей строительных материалов.

Ключевые слова: сейсмостойкое строительство, низкоуглеродные конструкции, углеродный след, многоэтажные здания, устойчивое строительство, строительные материалы, экологическая эффективность.

Abstract: The article examines the application of low-carbon structural solutions in earthquake-resistant construction. The development of the construction industry is currently accompanied by increasing requirements for environmental sustainability and reduction of carbon emissions. For Uzbekistan, this issue is of particular importance due to high seismic activity and rapid growth of high-rise construction.

The aim of the study is to analyze the potential of low-carbon structural solutions in seismic construction and assess their impact on reducing seismic loads and improving environmental performance of buildings.

The study employs comparative analysis of regulatory documents, analytical assessment of structural systems and review of recent scientific publications. Low-carbon concrete, composite structures and recycled materials are considered. Regulatory approaches adopted in Uzbekistan, Russia and the European Union are analyzed.

The results indicate that reducing structural mass decreases inertial seismic forces, while low-carbon materials contribute to reducing environmental impact. The necessity of improving regulatory frameworks with regard to environmental assessment of construction materials is demonstrated.

Keywords: earthquake-resistant construction, low-carbon structures, embodied carbon, sustainable construction, high-rise buildings, seismic loads, environmental efficiency.

Annotatsiya: Maqolada seysmik hududlarda quriladigan binolar uchun past uglerodli konstruktiv yechimlardan foydalanish masalalari ko'rib chiqilgan. Hozirgi kunda qurilish sohasida ekologik barqarorlik va karbonat angidrid chiqindilarini kamaytirish talablari tobora ortib bormoqda. O'zbekiston uchun ushbu masala hududning yuqori seysmik faolligi va ko'p qavatli binolar qurilishining jadal rivojlanishi bilan bog'liq holda alohida ahamiyatga ega.

Tadqiqotning maqsadi seysmik qurilishda past uglerodli konstruktiv yechimlarni qo'llash imkoniyatlarini tahlil qilish va ularning seysmik yuklamalarni kamaytirish hamda binolarning ekologik samaradorligini oshirishga ta'sirini baholashdan iborat.

Tadqiqotda normativ hujjatlarni qiyosiy tahlil qilish, konstruktiv yechimlarni analitik baholash va zamonaviy ilmiy tadqiqotlarni umumlashtirish usullaridan foydalanildi.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, konstruktiv tizim massasining kamayishi seysmik inertsiya kuchlarini kamaytiradi, past uglerodli materiallardan foydalanish esa qurilishning ekologik ta'sirini pasaytiradi.

Kalit so'zlar: seysmik qurilish, past uglerodli konstruksiyalar, uglerod izi, ko'p qavatli binolar, barqaror qurilish, seysmik yuklamalar.

Современное развитие строительной отрасли характеризуется активным ростом многоэтажного строительства и одновременным повышением требований к экологической эффективности зданий. Для Республики Узбекистан данная проблема имеет особую актуальность, поскольку значительная часть территории страны расположена в районах с высокой сейсмической активностью, а проектирование зданий осуществляется в соответствии с требованиями СНК по строительству в сейсмических районах [1]. В последние годы в городе Ташкенте наблюдается устойчивый рост строительства многоэтажных жилых комплексов высотой более 16 этажей. При

этом обеспечение надежности зданий при землетрясениях остается одной из ключевых задач проектирования. Российская практика сейсмостойкого строительства также предусматривает специальные методы расчета и дополнительные требования для объектов повышенной ответственности [2]. Существенный вклад в развитие современных подходов к сейсмостойкому проектированию внесли европейские нормы Eurocode 8, основанные на концепции контролируемого пластического поведения конструкций при землетрясениях [3]. Аналогичные подходы реализуются и в американских стандартах ASCE 7, широко применяемых при проектировании высотных зданий. Одновременно с обеспечением сейсмической безопасности возрастает значение экологических аспектов строительства. Согласно требованиям надежности строительных конструкций, закрепленным в современных нормативных документах, безопасность сооружения должна обеспечиваться на протяжении всего жизненного цикла объекта.

Одним из основных факторов, определяющих величину сейсмических воздействий на сооружение, является масса здания. Согласно положениям строительной механики и динамики сооружений, снижение массы конструктивной системы приводит к уменьшению инерционных нагрузок, возникающих при землетрясении [6]. Традиционные железобетонные конструкции обладают высокой надежностью, однако характеризуются значительной материалоемкостью и высоким углеродным следом. В современных условиях особое внимание уделяется технологиям устойчивого строительства, направленным на снижение потребления ресурсов и уменьшение воздействия строительной отрасли на окружающую среду.

Одним из перспективных направлений является применение низкоуглеродных конструктивных решений, позволяющих сократить объем выбросов парниковых газов на протяжении жизненного цикла здания. По данным современных исследований, значительная часть выбросов углекислого газа связана с производством строительных материалов, прежде всего цемента и стали [8]. Для снижения углеродного следа активно разрабатываются низкоуглеродные бетоны с частичной заменой портландцементного клинкера минеральными добавками, что позволяет существенно уменьшить выбросы CO_2 при сохранении необходимых прочностных характеристик [9]. Согласно международным экологическим исследованиям, строительный сектор остается одним из крупнейших источников антропогенных выбросов углекислого газа, что требует внедрения принципов устойчивого строительства и экологически эффективных технологий [10]. В связи с этим особый интерес представляет применение низкоуглеродных конструктивных решений в сейсмостойком строительстве многоэтажных зданий.

Целью исследования является анализ возможностей применения низкоуглеродных конструктивных решений в сейсмостойком строительстве и оценка их влияния на снижение сейсмических нагрузок и повышение экологической эффективности зданий.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ современных низкоуглеродных конструктивных решений;
- исследование влияния массы здания на величину сейсмических нагрузок;
- сравнительный анализ национальных и международных нормативных документов;
- определение перспектив внедрения низкоуглеродных технологий в строительную практику Республики Узбекистан.

В исследовании использовались методы сравнительного анализа нормативных документов, аналитической оценки конструктивных решений и обобщения результатов современных научных исследований в области сейсмостойкого и устойчивого строительства.

Объектом исследования являются низкоуглеродные конструктивные решения, применяемые при проектировании многоэтажных зданий в сейсмически опасных районах.

Для оценки влияния массы конструкций на величину сейсмических воздействий использовалась зависимость:

$$F = m \times a$$

где: F — инерционная сила; m — масса здания; a — сейсмическое ускорение.

Согласно данной зависимости, снижение массы конструктивной системы приводит к уменьшению инерционных нагрузок, возникающих при землетрясении [6]. В рамках исследования выполнен сравнительный анализ традиционных железобетонных конструкций и низкоуглеродных конструктивных решений с точки зрения их влияния на сейсмическую безопасность и экологическую эффективность зданий.

Современные низкоуглеродные конструктивные решения

В настоящее время одним из приоритетных направлений развития строительной отрасли является снижение углеродного следа строительных материалов и конструкций. В связи с этим в практике проектирования все более широкое распространение получают низкоуглеродные конструктивные решения, обеспечивающие сокращение потребления природных ресурсов и снижение выбросов парниковых газов.

Наиболее распространенными направлениями являются применение низкоуглеродных бетонов, композитных конструкций и материалов вторичной переработки.

Низкоуглеродные бетоны

Одним из наиболее перспективных направлений является использование бетонов с частичной заменой портландцементного клинкера минеральными добавками. К таким добавкам относятся зола-унос, доменные гранулированные шлаки, микрокремнезем и природные пуццоланы [9].

Использование указанных компонентов позволяет снизить расход клинкера, производство которого является основным источником выбросов углекислого газа в цементной промышленности. При этом обеспечиваются необходимые показатели прочности и долговечности конструкций.

Композитные и гибридные конструктивные системы

В современном строительстве активно применяются комбинированные конструктивные схемы, включающие стальные и железобетонные элементы. Использование композитных перекрытий и гибридных каркасов позволяет уменьшить массу конструктивной системы и повысить эффективность использования материалов.

Снижение массы конструкций способствует уменьшению инерционных сил, возникающих при землетрясении, что положительно влияет на сейсмостойкость здания [6].

Вторично переработанные материалы

Перспективным направлением является использование вторично переработанных строительных материалов. Применение переработанной стали, вторичных заполнителей и других материалов повторного использования способствует сокращению потребления природных ресурсов и снижению экологической нагрузки строительной отрасли [8].



Рисунок 1. Влияние низкоуглеродных конструктивных решений на эффективность сейсмостойкого строительства

Проведенный анализ показывает, что применение низкоуглеродных конструктивных решений обеспечивает комплексный эффект. С одной стороны, достигается снижение экологической нагрузки за счет уменьшения выбросов углекислого газа, а с другой — снижение массы конструкций способствует уменьшению сейсмических воздействий на здание.



Рисунок 2. Сравнительная характеристика конструктивных решений по экологическим и сейсмическим показателям

Для наглядного представления преимуществ низкоуглеродных конструктивных решений выполнена качественная сравнительная оценка их влияния на показатели экологической и сейсмической эффективности. Как видно из рисунка 2, наибольший эффект достигается в части повышения экологической эффективности и снижения выбросов CO₂. Одновременно снижение массы конструкций способствует уменьшению расчетных сейсмических воздействий на здание.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения низкоуглеродных технологий при проектировании многоэтажных зданий в условиях Республики Узбекистан.

Проведенное исследование показало, что современные нормативные документы уделяют значительное внимание вопросам обеспечения сейсмической безопасности зданий, однако экологические характеристики строительных материалов остаются недостаточно регламентированными.

В Республике Узбекистан проектирование зданий в сейсмических районах осуществляется в соответствии с требованиями ШНК 2.01.03-19 [1]. Документ определяет порядок учета сейсмических воздействий и требования к конструктивным решениям, направленным на обеспечение надежности сооружений.

Российский нормативный документ СП 14.13330.2018 предусматривает применение специальных методов расчета и использование специальных технических условий для уникальных объектов [2].

В свою очередь, Eurocode 8 реализует современный подход к обеспечению сейсмостойкости зданий на основе концепции контролируемого пластического поведения конструкций [3]. Аналогичные принципы используются и в американских стандартах ASCE 7 [4].

Под embodied carbon понимается совокупный объем выбросов углекислого газа, возникающих на этапах добычи сырья, производства материалов, транспортировки и строительства объекта [8].

В современных условиях развитие концепции устойчивого строительства требует дополнения существующих нормативных требований критериями экологической эффективности и оценки углеродного следа конструктивных решений.

Для Республики Узбекистан данное направление имеет особое значение в связи с активным развитием многоэтажного строительства и необходимостью повышения устойчивости строительной отрасли к современным экологическим вызовам.

Сравнение нормативных документов

Таблица 1

Критерий	ШНК 2.01.03-19	СП 14.13330.2018	Eurocode 8
Сейсмический расчет	Да	Да	Да
Нелинейный анализ	Ограничен но	Да	Да
Требования к пластичности	Ограничен но	Да	Да
Возможность специальных проектных решений	Ограничен но	Да	Да
Учет экологических показателей	Нет	Нет	Нет

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

Применение низкоуглеродных конструктивных решений является перспективным направлением развития современного сейсмостойкого строительства.

Снижение массы конструкций способствует уменьшению инерционных сил и расчетных сейсмических нагрузок, что положительно влияет на работу несущей системы здания.

Использование низкоуглеродных бетонов, композитных конструкций и материалов вторичной переработки позволяет снизить экологическую нагрузку строительной отрасли.

Анализ нормативных документов Республики Узбекистан, Российской Федерации и Европейского союза показал отсутствие обязательных требований по оценке углеродного следа строительных материалов.

Для повышения экологической эффективности строительной отрасли целесообразно совершенствование нормативной базы с учетом критериев устойчивого строительства и применения низкоуглеродных технологий.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. ШНК 2.01.03-19. Строительство в сейсмических районах. — Ташкент: Государственный комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству, 2019. — 96 с.
2. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. — Москва: Минстрой России, 2018. — 126 с.
3. EN 1998-1:2004. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. — Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2004. — 229 p.
4. ASCE/SEI 7-22. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. — Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2022. — 1056 p.
5. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. — Москва: Стандартинформ, 2015. — 16 с.
6. Chopra A.K. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. — 5th ed. — New York: Pearson Education, 2017. — 992 p.
7. Kibert C.J. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery. — 4th ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2016. — 832 p.
8. Pomponi F., Moncaster A. Embodied Carbon Mitigation and Reduction in the Built Environment: What Does the Evidence Say? // Journal of Environmental Management. — 2016. — Vol. 181. — P. 687–700.
9. Miller S.A. Supplementary Cementitious Materials to Mitigate Greenhouse Gas Emissions from Concrete: Can There Be Too Much of a Good Thing? // Journal of Cleaner Production. — 2018. — Vol. 178. — P. 587–598.
10. United Nations Environment Programme (UNEP). 2023 Global Status Report for Buildings and Construction. — Nairobi: UNEP, 2023. — 92 p.