



ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ОГНЕСТОЙКОСТЬ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЁТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Рашидов Ж.Г. ¹
Рузиев Б.Д. ²

¹ Доктор философии по техническим наукам, доцент Ташкентского архитектурно-строительного университета;

² Исполняющий обязанности начальника архитектурно-строительного отдела, Ао «Боштранслоиша» головного проектно-изыскательского института по транспорту
<https://doi.org/10.5281/zenodo.16880917>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 25-May 2025 yil

Ma'qullandi: 28-May 2025 yil

Nashr qilindi: 31-May 2025 yil

KEY WORDS

низкоуглеродные здания, долговечность, огнестойкость, эксплуатационные повреждения, строительная физика, анализ.

ABSTRACT

В статье рассмотрены ключевые факторы, определяющие долговечность и огнестойкость монолитных элементов низкоуглеродных зданий. Проанализированы механизмы деградации бетона и арматуры, а также влияние эксплуатационных повреждений на несущую способность конструкций. Приведён обзор нормативных и научных исследований, посвящённых поведению низкоуглеродных бетонов при длительной эксплуатации и пожарных воздействиях. Предложены рекомендации по применению методов строительной физики для предварительной оценки технического состояния конструкций

Введение.

Переход на использование низкоуглеродных строительных материалов сегодня рассматривается как одно из ключевых направлений устойчивого развития строительной отрасли, что подтверждается положениями fib Model Code (2010) [1]. Применение цементно-бетонных композиций с пониженным углеродным следом позволяет существенно сократить совокупные выбросы CO₂ на протяжении всего жизненного цикла здания, включая этапы производства, транспортировки и монтажа. По данным современных исследований, внедрение таких материалов способно снизить углеродный след строительных проектов на 30–40 %, что делает их важным инструментом в достижении климатических целей и реализации концепции «зелёного» строительства.

Однако, несмотря на очевидные экологические преимущества, долговечность низкоуглеродных цементно-бетонных композиций, а также их поведение при воздействии высоких температур остаются предметом активного научного изучения [2]. Снижение клинкерного компонента в цементе и использование минеральных добавок (золы-уноса, доменных шлаков, пуццолан и др.) влияет на микроструктуру бетона, его пористость, влагосодержание и, как следствие, на механическую прочность и устойчивость к агрессивным средам.

Особенно актуальным является исследование поведения таких материалов в условиях пожара и длительного теплового воздействия. При высоких температурах в низкоуглеродных бетонах могут происходить процессы дегидратации, изменение фазового состава гидратов и ускоренное развитие трещин, что способно повлиять на несущую способность конструкций. В этой связи требуется комплексный подход, включающий лабораторные испытания, моделирование тепловых и механических процессов, а также адаптацию нормативной базы с учётом особенностей низкоуглеродных материалов.

Таким образом, широкое внедрение низкоуглеродных цементно-бетонных композиций должно сопровождаться углублёнными исследованиями их долговечности, прочностных характеристик и поведения в экстремальных условиях, что позволит обеспечить не только экологичность, но и высокую эксплуатационную надёжность возводимых сооружений. **Долговечность монолитных** конструкций формируется под влиянием комплекса физических, химических и механических факторов, определяющих сохранение прочности и эксплуатационной надёжности материала. К основным механизмам деградации относятся: карбонизация бетона [3], при которой углекислый газ, проникая в поры, снижает pH и разрушает пассивный слой вокруг арматуры; проникновение хлоридов и коррозия арматуры [4], особенно опасные в прибрежных зонах и при использовании противогололёдных реагентов; а также усталостные повреждения и температурные колебания [5], способствующие накоплению микротрещин и постепенной потере прочности.

Низкоуглеродные цементно-бетонные составы имеют отличную от традиционных бетонов поровую структуру и иной уровень водопоглощения [6]. Эти особенности напрямую влияют на скорость диффузионных процессов — проникновение углекислого газа, хлоридов и влаги. Более мелкая и равномерная пористость способна повышать стойкость к агрессивным средам, однако при неблагоприятных условиях она может ускорять насыщение влагой.

Для таких материалов долговечность во многом зависит от качества сырья, режима твердения, технологии укладки, а также условий эксплуатации. Поэтому при проектировании и оценке состояния конструкций важно учитывать их поровую структуру, влагоперенос и устойчивость к химическим и температурным воздействиям, а также применять профилактические меры защиты арматуры и оптимальные режимы ухода за бетоном в ранние сроки твердения.

Огнестойкость монолитных конструкций характеризуется способностью материала в течение заданного времени сохранять несущую способность, целостность и теплоизоляционные свойства при воздействии высоких температур. Расчёты и требования к огнестойкости регламентированы стандартами EN 1991-1-2 и EN 1992-1-2 [7, 8], где приведены методы определения пределов огнестойкости, расчёта температурных полей и подбора защитных слоёв.

При пожаре в бетоне происходят значительные изменения: снижается прочность на сжатие, уменьшается модуль упругости, ослабевает сцепление с арматурой. Одним из наиболее опасных явлений является споллинг [9] — взрывоподобное разрушение поверхностных слоёв под давлением пара, возникающего при испарении влаги в порах. Это резко ускоряет прогрев арматуры и сокращает время до потери несущей

способности.

Низкоуглеродные бетоны из-за повышенного влагосодержания имеют больший риск взрывного разрушения при быстром нагреве [10], особенно при недостаточной толщине защитного слоя. Для снижения этих рисков рекомендуются оптимизация состава с контролем поровой структуры, использование термостойких добавок и, при необходимости, применение пожарозащитных покрытий.



Рисунок 1. Огнестойкость монолитных конструкций при пожаре

Эксплуатационные повреждения и их учёт являются важным фактором снижения долговечности монолитных конструкций. Образование трещин значительно ускоряет проникновение агрессивных веществ, таких как хлориды, сульфаты и углекислый газ, что усиливает коррозионные процессы и разрушение материала. В условиях реальной эксплуатации такие дефекты часто сочетаются с термическими нагрузками — сезонными колебаниями температуры, солнечным нагревом и охлаждением, а также аварийными тепловыми воздействиями.

Совместное действие механических и термических факторов приводит к ускоренной деградации бетона и арматуры, снижению несущей способности и трещиностойкости. Поэтому при оценке технического состояния конструкций необходим комплексный подход [11], включающий визуальный осмотр, инструментальную диагностику, анализ температурно-влажностных режимов и расчёт долговечности с учётом реальных условий эксплуатации.

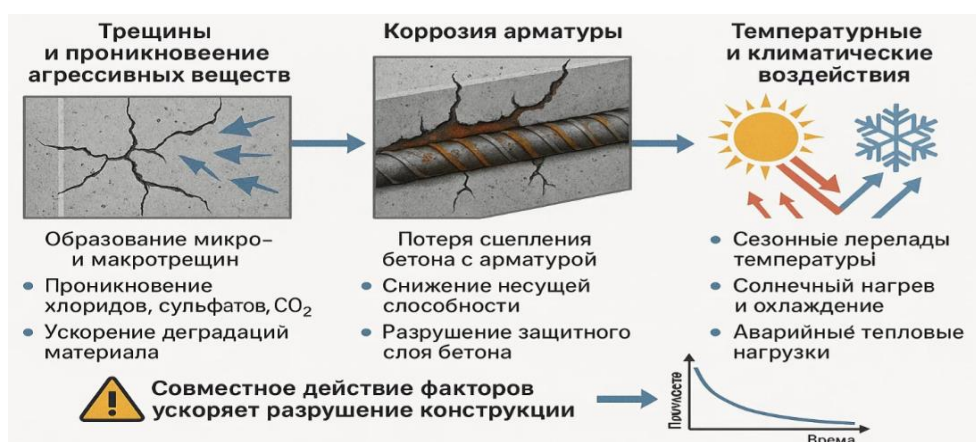


Рисунок 2. Эксплуатационные повреждения монолитных конструкций: трещины, коррозия, температурные воздействия

Рекомендации по обеспечению долговечности и надёжности монолитных

конструкций из низкоуглеродных бетонов включают следующие положения:

Применять методы строительной физики для оценки процессов тепловлагопереноса, что позволяет определить распределение температуры и влажности в массиве конструкции, выявить зоны повышенного риска коррозии и трещинообразования.

Использовать упрощённое конечно-элементное моделирование на этапах предварительного анализа для локализации потенциально критических участков, подверженных повышенным напряжениям, температурным градиентам или концентрации влаги.

Систематизировать и анализировать данные обследований (визуальных осмотров, неразрушающего контроля, лабораторных испытаний) с целью построения прогностических моделей и оценки остаточного ресурса конструкций, а также планирования своевременных ремонтно-восстановительных мероприятий.

Заключение. Даже без применения сложных вычислительных моделей возможно сформировать надёжную аналитическую основу для предварительной оценки долговечности и огнестойкости низкоуглеродных монолитных конструкций. Такой подход позволяет обобщить существующие нормативные требования, результаты натурных обследований и данные лабораторных испытаний, выявить ключевые факторы деградации и риски, связанные с эксплуатацией. Полученные выводы могут служить базой для разработки более точных расчётных методик и проведения углублённых экспериментальных исследований, направленных на повышение надёжности, устойчивости и безопасности зданий, возведённых с применением низкоуглеродных материалов.

Список использованной литературы:

1. One Click LCA. Low-carbon concrete guidelines for U.S. manufacturers. OneClick LCA, 2025. <https://oneclicklca.com/en-us/resources/articles/low-carbon-concrete-guidelines-us-manufacturers>
2. Portland Cement Association. Lower Carbon Concrete – Voluntary Guidelines. PCA, 2024. <https://www.cement.org>
3. Sharma, R., Bhowmik, S. When Fire Attacks: How Does Concrete Stand up to Heat? arXiv preprint, 2024. <https://arxiv.org/abs/2408.15756>
4. Makul, N., et al. Modern sustainable cement and concrete composites: Review of current developments. *Construction and Building Materials*, vol. 265, 2020, 120312. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120312
5. Paul, S.C., et al. Effect of Fibers on Durability of Concrete: A Practical Review. *Materials*, vol. 13, no. 20, 2020, 4562. <https://doi.org/10.3390/ma13204562>
6. Shi, C., et al. Durability of alkali-activated materials and geopolymers: A review. *Materials and Structures*, vol. 57, 2024, Article 30. doi:10.1007/s41779-024-01011-z
7. Ling, T.-C., et al. Performance of low-carbon concrete under elevated temperature: A review. *Journal of Building Engineering*, vol. 61, 2023, 105255. doi:10.1016/j.jobbe.2022.105255
8. Wu, Z., et al. Mechanical properties and durability of low-carbon concrete with supplementary cementitious materials.

- Cement and Concrete Composites, vol. 131, 2022, 104619.
doi:10.1016/j.cemconcomp.2022.104619
9. Li, W., et al. High temperature performance and microstructure evolution of low-carbon concrete. Construction and Building Materials, vol. 340, 2022, 127699.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.127699
10. Klemens, F., et al. Fire resistance of concrete with reduced Portland clinker content. Fire Safety Journal, vol. 125, 2022, 103456. doi:10.1016/j.firesaf.2021.103456
11. Neto, J., et al. Chloride ingress and corrosion in low-carbon concretes under marine exposure. Cement and Concrete Research, vol. 154, 2022, 106732.
doi:10.1016/j.cemconres.2022.106732

