

Conclusion. Designing sustainable urban landscapes in hot climates requires an integrated approach that combines technological advancements, ecological strategies, and collaborative frameworks. By leveraging innovative materials, modular systems, and smart technologies, urban designers can address the challenges of extreme heat, urban heat islands, and resource scarcity. These solutions enhance thermal comfort, optimize resource use, and reduce the environmental footprint of urban development.

Ecological strategies, such as green infrastructure and water-sensitive design, complement technological innovations by fostering biodiversity, improving air quality, and managing water resources efficiently. These approaches emphasize the importance of aligning urban design with natural systems to create environments that are both functional and restorative. Stakeholder collaboration and policy integration further ensure that these innovations are implemented effectively, reflecting the cultural, social, and environmental needs of local communities.

Innovative materials, such as reflective coatings, phase-change materials, and self-healing concrete, offer transformative solutions for improving the resilience and performance of urban infrastructure. Future-oriented designs that incorporate smart technologies and adaptive systems enable urban spaces to remain dynamic and responsive to changing climatic conditions.

By synthesizing these elements, urban planners and policymakers can develop sustainable urban landscapes that balance ecological sustainability, cultural relevance, and functionality. This holistic approach ensures that cities in hot climates are equipped to meet current and future challenges while enhancing the quality of life for their residents. The findings of this study provide a comprehensive framework for creating resilient, adaptive, and inclusive urban environments, paving the way for sustainable urban development in regions facing extreme climatic conditions.

References

1. Santamouris, M. (2014). On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings*, 82, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.022>
2. Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295–310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
3. Thompson, C. W. (2002). Urban open space in the 21st century. *Landscape and Urban Planning*, 60(2), 59–72. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00059-8](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00059-8)
4. Balbo, M. (Ed.). (2012). *The Medina: The restoration and conservation of historic Islamic cities*. Bloomsbury Publishing.
5. Waldheim, C. (2016). *Landscape as urbanism: A general theory*. Princeton University Press.
6. Spiri, A. W. (1984). *The granite garden: Urban nature and human design*. Basic Books.
7. Hough, M. (1990). *Out of place: Restoring identity to the regional landscape*. Yale University Press.
8. Roberson, J. (2014). The changing face of Morocco under King Hassan II. *Mediterranean Studies*, 22(1), 57–87.

МЕТОДИ ОЦІНКИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ СИЛОВИХ, ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ ТА ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Томенко Віталій

к. тех. н., доцент

Великий Ігор

здобувач вищої освіти

Кафедра автоматичних систем безпеки та електроустановок
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

Анотація: у статті розглядається роль залізобетону як основного матеріалу в будівництві та його вразливість до екстремальних впливів, таких як механічні навантаження, високі температури та вибухові хвилі. Описано три основні типи механічних навантажень: статичні, динамічні та циклічні, які впливають на стабільність і довговічність залізобетонних конструкцій. Наведено основні механізми руйнування, зокрема тріщиноутворення, втрату зчеплення арматури з бетоном і зміни геометрії конструкцій. Окремо розглянуто вплив високих температур та вибухових навантажень на матеріали, що складають залізобетон, а також значення пожежної безпеки в забезпеченні його надійності. Обговорено методи оцінки технічного стану конструкцій та можливості їх відновлення за допомогою інноваційних матеріалів і технологій. Автори підкреслюють необхідність регулярного моніторингу та технічного обслуговування для забезпечення довговічності інфраструктури та зменшення наслідків надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: системи пожежної безпеки, залізобетонні конструкції, технічний стан, надзвичайні ситуації, ракетні удари.

Постановка проблеми:

Залізобетон є одним з основних матеріалів у будівництві завдяки своїй високій міцності, довговічності та універсальності. Однак навіть цей надійний матеріал піддається серйозним руйнівним впливам, особливо в умовах екстремальних навантажень, таких як вибухи, ракетні удари та природні катастрофи. Основною причиною руйнувань є незадовільний технічний стан конструкцій, зношеність об'єктів через закінчення нормативного строку експлуатації та відсутність необхідного технічного моніторингу. Також, об'єкти підвищеної небезпеки та потенційно небезпечні об'єкти в основних галузях експлуатуються на рівні 50-70% проектного ресурсу, іноді досягаючи передаварійного стану.

Мета роботи: є дослідження впливу різноманітних механічних і екстремальних навантажень (вибухів, високих температур, ракетних ударів) на залізобетонні конструкції, аналіз причин їх руйнування та розробка заходів для

запобігання пошкодженням. Стаття також зосереджується на важливості регулярного моніторингу технічного стану, впровадженні сучасних технологій для оцінки та відновлення конструкцій, а також покращенні стандартів технічного обслуговування для забезпечення довговічності та стабільності інфраструктури.

Виклад основного матеріалу:

Механічні навантаження, такі як статичні, динамічні та циклічні, можуть суттєво змінити поведінку залізобетонних конструкцій, приводячи до їх деформації або навіть руйнування. Пошкодження конструкцій виникають через тріщиноутворення, втрату зчеплення між арматурою і бетоном, а також зміни геометрії конструкцій. Особливу загрозу для довговічності залізобетону становлять високі температури, які значно знижують міцність бетону та сталеві арматури.

Вибухи та ракетні удари, які стали реальністю у багатьох країнах, включаючи Україну, ще більше ускладнюють ситуацію, зумовлюючи механічні пошкодження та втрату несучої здатності конструкцій. У 2023 році кількість пожеж унаслідок вибухів, спричинених бойовими діями, склала 6 067, що становить 8,9 % від загальної їх кількості [1]. Тому виникає необхідність у розробці ефективних методів захисту та відновлення залізобетонних конструкцій, включаючи використання сучасних технологій моніторингу та новітніх матеріалів для посилення конструкцій та забезпечення їх безпеки в умовах екстремальних навантажень.

Залізобетон є основним конструкційним матеріалом у сучасному будівництві завдяки його високій міцності, довговічності та універсальності. Однак навіть цей матеріал, який зазвичай демонструє стабільні експлуатаційні характеристики, стикається зі значними викликами в умовах екстремальних впливів.

Більшість надзвичайних ситуацій виникає через незадовільний технічний стан споруд, конструкцій та обладнання інженерних мереж, значну зношеність об'єктів унаслідок закінчення нормативного строку експлуатації та вичерпання нормативного ресурсу. Такі фактори, у поєднанні з зовнішніми навантаженнями, наприклад, ракетними ударами, вибухами чи природними аномаліями, призводять до суттєвих руйнувань залізобетонних конструкцій.

Залізобетон є складним композиційним матеріалом, що складається з бетонної матриці та сталевих армувань. Ця структура забезпечує ефективний розподіл навантажень: бетон працює на стиск, а арматура – на розтяг. Довговічність залізобетону залежить від дотримання нормативів під час його проектування, будівництва та експлуатації. Невиконання планово-попереджувальних ремонтів, порушення регламенту експлуатації та недостатній технічний моніторинг значно підвищують ризик втрати міцності і цілісності конструкцій.

Проаналізуємо особливості впливу механічних навантажень:

Механічні навантаження на залізобетонні конструкції можуть мати різні форми, що значно впливають на їх стабільність, міцність і довговічність.

Залежно від типу навантажень, їх характер може суттєво змінювати поведінку матеріалу та його здатність витримувати навантаження.

Статичні навантаження: це навантаження, що діє постійно, зокрема вага конструкцій та додаткові зовнішні чинники, такі як весняне накопичення снігу чи постійний вплив вітру. Ці навантаження не змінюються в часі і зазвичай є найстабільнішими для конструкцій, однак при їх перевищенні конструкція може піддатися здавленню або іншим пошкодженням.

Динамічні навантаження: включають навантаження від ударів, вібрацій та рухомих об'єктів. Такі навантаження виникають при різких змінах швидкості або напрямку руху, таких як землетруси, транспортні засоби, вибухи, чи ракетні удари. Вони можуть викликати миттєві деформації і пошкодження конструкцій, які не можуть бути компенсовані безпосереднім сприйняттям навантаження.

Циклічні навантаження: це навантаження, що повторюються на протязі часу, зокрема впливу вібрацій від механічних установок, транспортних засобів або температурних коливань. Повторювані навантаження можуть призвести до втоми матеріалів, викликаючи накопичення мікротріщин, що в результаті можуть викликати катастрофічне руйнування конструкцій через зменшення їх міцності.

Проаналізуємо основні механізми руйнування залізобетонних конструкцій:

Тріщиноутворення: Одна з основних причин руйнування конструкцій із залізобетону полягає в тому, що навантаження, що перевищує допустиму межу міцності бетону, викликає появу тріщин. Ці тріщини можуть бути поверхневими або проникати глибше в структуру конструкції, знижуючи її здатність витримувати додаткові навантаження.

Втрата зчеплення між арматурою і бетоном: Під час впливу великих механічних навантажень або впливу агресивних середовищ (наприклад, хімічних реагентів або високих температур), може виникнути розшарування бетону, що призводить до втрати зчеплення з арматурою. Внаслідок цього, сталеві елементи конструкції можуть втратити свою здатність передавати навантаження, що веде до серйозних деформацій.

Зміни геометрії конструкції: Втоми навантаження можуть призводити до поступових змін геометрії залізобетонних конструкцій, що викликає їх деформацію. З часом такі зміни можуть призвести до втрати несучої здатності конструкції, що може привести до її руйнування в критичних місцях.

Проаналізуємо високотемпературні впливи:

Високі температури можуть мати руйнівний вплив на якості бетону та сталевих армувань, що в свою чергу, призводить до значного погіршення технічних характеристик конструкцій.

1. Термічні навантаження на залізобетон

До 300°C бетон втрачає частину своїх фізичних характеристик через дегідратацію цементного каменю, що зменшує його міцність і впливає на здатність утримувати навантаження. В результаті бетон стає більш пористим і схильним до тріщиноутворення.

В діапазоні 500-700°C у бетоні починають формуватися критичні внутрішні тріщини, що можуть значно знизити його міцність. Ці тріщини порушують єдність матеріалу, що зменшує здатність конструкції до витримування навантажень.

При температурах понад 800°C бетон втрачає свою міцність повністю, що призводить до його розпаду. У таких умовах бетон стає настільки крихким, що конструкція вже не може витримати навіть незначні навантаження.

2. Вплив на арматуру

Сталева арматура втрачає свою міцність уже при температурі 400°C. При підвищених температурах (700-800°C) зниження міцності арматури може досягати 90%. Це відбувається через зміни в її структурі, що веде до втрати здатності передавати навантаження. Результатом може бути різке зниження несучої здатності конструкцій і навіть їх обвалення.

Забезпечення належного захисту конструкцій від високих температур має важливе значення для запобігання їх руйнуванню в екстремальних умовах. Це передбачає розробку спеціальних захисних покриттів та інженерних рішень, здатних зменшити вплив термічних навантажень.

Системи пожежної безпеки повинні забезпечувати ефективний захист конструкцій від впливу високих температур. Це передбачає створення умов для запобігання пожежам, захисту матеріальних цінностей та людей, а також виконання постійного технічного моніторингу стану конструкцій.

Проаналізуємо вибухові навантаження та ракетні удари:

У разі ракетних ударів та вибухів, які були зафіксовані в Україні під час бойових дій, ракетні снаряди та вибухові хвилі призводять до значних пошкоджень залізобетонних конструкцій. Наприклад, внаслідок ракетних атак на об'єкти інфраструктури в Києві та Харкові були зруйновані частини житлових та адміністративних будівель, що мали залізобетонні елементи. Пошкодження стін, перекриттів та колон часто призводило до часткових обвалів, порушення стабільності будівель та необхідності термінового відновлення конструкцій. Такий вплив вибухових хвиль викликав не тільки механічне пошкодження, а й значну втрату міцності конструкцій через локалізовані тріщини та пошкодження арматури.

1. Особливості вибухових навантажень

Вибухова хвиля та ударні навантаження створюють критичний вплив на залізобетон. Піковий тиск може досягати значень, що перевищують межі міцності бетону, спричиняючи його відривні пошкодження та формування пробоїн.

2. Наслідки вибухових впливів

Порушення цілісності конструкцій:

1. Розшарування бетону, втрата зчеплення арматури.
2. Значне зниження залишкової несучої здатності.
3. Ризик прогресуючого обвалення конструкцій.

Інтеграція новітніх систем моніторингу, таких як IoT-сенсори або дрони, дозволяє оперативно виявляти пошкодження і вживати заходів з їх мінімізації.

Проаналізуємо пожежну безпеку:

Системи пожежної безпеки відіграють важливу роль у забезпеченні надійності залізобетонних конструкцій. Вони повинні враховувати всі етапи життєвого циклу будівель і виконувати наступні завдання:

- запобігання виникненню пожеж;
- забезпечення евакуації людей;
- захист матеріальних цінностей.

Моніторинг технічного стану:

У сучасному світі стабільність та безпека інфраструктури є ключовими факторами для забезпечення нормального функціонування суспільства. Залізобетонні конструкції, які є основою багатьох будівельних проектів, потребують постійного моніторингу та технічного обслуговування для забезпечення їх довговічності. Невиконання цих заходів може призвести до катастрофічних наслідків, включаючи раптові обвалення будівель і споруд.

Регулярний моніторинг технічного стану конструкцій дозволяє виявляти дефекти та пошкодження на ранніх стадіях, що значно спрощує процес їх усунення та попереджає більш серйозні проблеми в майбутньому. Одним із найефективніших методів оцінки стану є використання неруйнівних методів контролю, таких як ультразвукові дослідження, тепловізійна зйомка та рентгенографія. Ці методи дозволяють отримати точну інформацію про внутрішню структуру матеріалів без їх пошкодження, що є важливим аспектом при роботі з залізобетонними конструкціями.

Впровадження сучасних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), безпілотні літальні апарати (дрони) та системи моніторингу в режимі реального часу, значно покращує процес контролю за станом конструкцій. IoT-сенсори можуть бути встановлені на різних ділянках конструкцій для постійного збору даних про їх стан, а дрони дозволяють швидко та ефективно обстежувати важкодоступні місця. Ці технології дають можливість оперативно виявляти та реагувати на зміни в технічному стані конструкцій, що забезпечує їх безпеку та стабільність.

Покращення стандартів технічного обслуговування є ще одним важливим аспектом для забезпечення довговічності інфраструктури. Впровадження чітких регламентів, регулярних планово-попереджувальних ремонтів та використання сучасних матеріалів і технологій значно знижує ризик виникнення надзвичайних ситуацій. Сучасні матеріали, такі як композити та полімери, мають вищу стійкість до зовнішніх впливів і довший термін експлуатації, що робить їх ідеальними для використання в ремонтних роботах.

Алгоритм відновлення залізобетонних конструкцій:

За результатами досліджень, запропоновано алгоритм, що дозволяє систематично підходити до оцінки та відновлення залізобетонних конструкцій у екстремальних умовах, зокрема після вибухових, високотемпературних впливів і механічних навантажень.

Алгоритм оцінки та відновлення технічного стану:

I. Ідентифікація впливів:

- Механічні навантаження (статичні, динамічні, циклічні).
- Високі температури (термічні впливи).
- Вибухові навантаження та ракетні удари.
- Хімічні і агресивні середовища (запрограмувати для майбутніх варіантів).

II. Оцінка технічного стану конструкцій:

- Використання неруйнівних методів контролю: ультразвукові дослідження, рентгенографія, тепловізійна зйомка.
- Аналіз тріщин і втрати зчеплення між арматурою і бетоном.
- Моніторинг з використанням новітніх технологій: IoT-сенсори, дрони для перевірки важкодоступних місць.
- Оцінка механічної пошкодженості через вибухові хвилі, перевірка на розшарування та деформацію конструкції.

III. Аналіз пошкоджень:

- Виявлення механічних пошкоджень (тріщини, зміна геометрії, деформація).
- Визначення ступеня зниження міцності після впливу високих температур (зміни характеристик бетону та арматури).
- Оцінка локалізованих пошкоджень від вибухових хвиль та ракетних ударів (ударні навантаження, пробоїни).

IV. Розробка заходів для відновлення:

- Використання полімерних смол для ін'єкцій в тріщини.
- Посилення конструкцій композитними матеріалами (наприклад, базальтовими або углеродними волокнами).
- Заміна пошкоджених елементів конструкцій з використанням інноваційних матеріалів, які мають високу стійкість до екстремальних навантажень.
- Застосування захисних покриттів для зменшення впливу високих температур.

V. Запобігання та удосконалення технічного обслуговування:

- Регулярне обслуговування та планово-попереджувальні ремонти.
- Впровадження цифрових систем моніторингу, що дозволяють автоматично відслідковувати технічний стан конструкцій.
- Використання нових технологій моніторингу для передбачення ризиків у реальному часі, зокрема IoT сенсорів і дронів.

VI. Оцінка ефективності заходів:

- Порівняння залишкової міцності конструкцій після ремонту.
- Тестування відновлених конструкцій на нові механічні навантаження.
- Оцінка довговічності та стабільності відновлених конструкцій в умовах екстремальних впливів.

Запропоновано наступні методи оцінки та відновлення:

1. Оцінка стану:

- Використання неруйнівних методів контролю, таких як ультразвук або тепловізійна зйомка.
- Впровадження цифрових систем моніторингу для оцінки залишкової міцності конструкцій.

2. Методи відновлення:

- Ін'єктування полімерних смол у тріщини.
- Підсилення конструкцій композитними матеріалами.
- Замінні ремонтні заходи з використанням інноваційних матеріалів.

Висновки: Для запобігання руйнуванню конструкцій і забезпечення їх надійності необхідно здійснювати регулярний моніторинг їхнього технічного стану, включаючи оцінку зовнішніх навантажень, і вживати своєчасних заходів щодо їх зміцнення або ремонту.

Технічний стан залізобетонних конструкцій значною мірою залежить від зовнішніх впливів та якості технічного обслуговування. Інтеграція новітніх технологій, впровадження систем моніторингу та вдосконалення нормативно-правових стандартів дозволять мінімізувати наслідки надзвичайних ситуацій і забезпечити довговічність інфраструктури.

Ефективне виконання цих завдань можливе лише за умови регулярного технічного обслуговування, впровадження сучасних технологій і проведення профілактичних заходів.

Регулярний моніторинг технічного стану, впровадження сучасних технологій для оцінки та відновлення конструкцій, а також покращення стандартів технічного обслуговування є ключовими факторами для забезпечення довговічності та стабільності інфраструктури. Виконання цих заходів дозволить знизити ризики виникнення аварійних ситуацій, забезпечить безпеку людей та сприятиме сталому розвитку міської інфраструктури. У кінцевому підсумку, це сприяє підвищенню якості життя та безпеки громадян, а також економічному зростанню держави.

За результатами досліджень, запропоновано алгоритм, що дозволяє систематично підходити до оцінки та відновлення залізобетонних конструкцій у екстремальних умовах, зокрема після вибухових, високотемпературних впливів і механічних навантажень.

Список використаних джерел

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2023 року URL: <https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/2/0/1/8/2/6/2/analitychna-dovidka-pro-pojeji-122023.pdf>.
2. Бойко, В. П., Ковальчук, О. І. "Механіка матеріалів і конструкцій". Київ: Наукова думка, 2018.
3. Сапожников, О. І. "Залізобетонні конструкції: проектування та експлуатація". Львів: Академвидав, 2019.

4. Аранчій, В. М., Гомон, І. І. "Методи оцінки стану та відновлення будівельних конструкцій". Харків: ХНУ, 2020.
5. Котляр, Ю. Г. "Технічний моніторинг будівельних конструкцій та інженерних мереж". Київ: Наукове видання, 2017.
6. Li, Z., and Hao, H. "Dynamic and Residual Load-Carrying Capacities of Reinforced Concrete Columns Subjected to Blast Loads." International Journal of Impact Engineering, vol. 57, 2013, pp. 22-31.