

Модульні системи: концепція, енергоефективність та функціональні можливості в умовах реконструкції

Modular systems: concept, energy efficiency, and functional capabilities in the context of reconstruction

Пасічник Р.В., к.т.н., доцент, Боярчук Б.А., к.т.н., доцент, Пасічник О.С., к.арх., доцент, Задорожнікова І.В., к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Pasichnyk R.V., Ph.D., Associate Professor, Boyarchuk B.A., Ph.D., Associate Professor, Pasichnyk O.S., Ph.D. (Arch.), Associate Professor, Zadorozhnikova I.V., Ph.D., Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk)

У статті розглядається концепція, енергоефективність та функціональність модульних систем в умовах реконструкції. Концепція модульного будівництва ґрунтується на принципах заводського виробництва модулів, що забезпечує високу точність, якість і відповідність стандартам, а також універсальність та швидкість монтажу і гнучкість дизайну. Модульний підхід дозволяє легко адаптувати будівлі до індивідуальних потреб. У рамках цього підходу використовуються різні типи модулів, які виконують конкретні функції: фасадні, структурні, інженерні, функціональні. Модульні системи мають явні переваги перед традиційними методами реконструкції. Вони забезпечують швидкість і якість виконання робіт, дозволяють зменшити витрати та мають позитивний екологічний вплив.

The article examines the concept, energy efficiency, and functional capabilities of modular systems in the context of reconstruction. Modular construction is based on the principles of factory production of modules, ensuring high precision, quality, compliance with standards, modular versatility, rapid assembly, and design flexibility. The modular approach allows buildings to be easily adapted to individual needs. Within this approach, various types of modules are used, each fulfilling specific functions: facade modules, structural modules, engineering modules, and functional modules. Modular systems have clear advantages over traditional reconstruction methods. They ensure speed and quality of work, reduce costs, and have a positive environmental impact. In the context of post-war recovery, these characteristics make modular systems the optimal choice for fast and sustainable reconstruction of the housing stock. Strengthening load-bearing structures and using replaceable modules for damaged walls and floors are key technologies in restoring damaged buildings. These technologies provide a quick, cost-effective, and high-quality return of buildings to operation, meeting modern construction and safety requirements. The integration of modular systems enables efficient solutions for reconstruction tasks while minimizing disruption to residents and reducing resource consumption. Modular

systems are among the most effective approaches to building reconstruction in post-conflict conditions. They not only ensure rapid and high-quality restoration but also contribute to improving the energy efficiency of buildings. Considering current requirements for reducing energy consumption, modular solutions allow for minimizing energy losses and providing comfortable living conditions for residents. One of the key advantages of modular systems is the ability to integrate insulation materials directly into facade modules. This significantly enhances the energy efficiency of buildings, especially in cases of reconstructing old concrete buildings that typically have low thermal insulation properties. In modern conditions of housing stock reconstruction after military actions, it is essential not only to restore damaged buildings but also to ensure their environmental sustainability. An ecological approach involves minimizing environmental impact through the use of environmentally friendly materials, recycling damaged structures, and reducing the volume of construction waste. In this context, modular systems play a crucial role as they combine efficiency with environmental care. Modular systems provide extensive opportunities for improving the design and aesthetics of buildings. The use of diverse materials, the creation of harmonious appearances, and integration into urban environments make such systems the optimal solution for reconstructing the housing stock under modern conditions. They not only meet aesthetic demands but also contribute to the creation of a comfortable and functional urban space.

Ключові слова: модульні системи, збірні конструкції, відновлення зруйнованого житла, реконструкція, міцність, стійкість, деформації, енергоефективність.

Keywords: modular systems, prefabricated structures, restoration of destroyed housing, reconstruction, strength, itability, deformations, energy efficiency

Вступ. Модульні системи – це інноваційний підхід у будівництві, який базується на використанні попередньо виготовлених компонентів (модулів), які легко транспортуються та монтуються на місці. Ця технологія стала відповіддю на необхідність швидкого, економічного та якісного будівництва, що особливо актуально в умовах реконструкції житлового фонду після війни. Завдяки своїй гнучкості та універсальності, модульні системи дозволяють забезпечити ефективне відновлення будівель різної складності, адаптуючи їх до сучасних стандартів.

Метою цього дослідження є вивчення особливостей застосування модульних систем для реконструкції пошкоджених війною та застарілих будівель.

Основна частина. Концепція модульних систем та їх застосування у реконструкції

Модульний підхід ґрунтується на ідеї стандартизації та попереднього виготовлення компонентів будівлі. Основні принципи цієї концепції це заводське виробництво, універсальність, швидкий монтаж, гнучкість дизайну [2].

Основні елементи конструкцій, такі як стіни, перегородки, фасадні панелі, інженерні системи виготовляють у контрольованих умовах на спеціалізованих заводах. Це забезпечує високу точність, якість і відповідність стандартам.

Модулі мають стандартизовані розміри та конструктивні особливості, що дозволяє їх використовувати у будівлях різного призначення – від житлових до комерційних.

Завдяки підготовці модулів на заводі, їх монтаж на місці потребує мінімальних витрат часу і зусиль. Це особливо важливо в умовах повоєнного відновлення, коли необхідно швидко забезпечити житлом значну кількість людей.

Модульний підхід дозволяє легко адаптувати будівлі до індивідуальних потреб. Наприклад, модулі можуть бути використані для створення сучасних фасадів, утеплення або добудови додаткових приміщень.

У рамках модульного підходу використовуються різні типи модулів, які виконують конкретні функції: фасадні, структурні, інженерні, функціональні.

Фасадні модулі використовують для відновлення або оновлення зовнішніх стін будівлі, можуть включати теплоізоляцію, оздоблювальні матеріали та навіть інтегровані інженерні рішення, такі як сонячні панелі, забезпечують як естетичну, так і енергоефективну реконструкцію.

Структурні модулі включають несучі елементи, такі як колони, балки та перекриття. Використовуються для посилення пошкоджених конструкцій або створення нових.

Інженерні модулі інтегрують системи опалення, вентиляції, кондиціонування, водопостачання та електропостачання, легко монтуються та підключаються до основних мереж.

Функціональні модулі призначені для створення додаткових просторів, таких як балкони, лоджії, тераси або ліфтові шахти, можуть бути використані для збільшення корисної площі будівлі.

Модульні системи мають низку переваг, які роблять їх ідеальним рішенням для реконструкції житлового фонду. Це такі переваги, як: швидкість реалізації, якість і точність, економічність, мінімальний вплив на мешканців, екологічність [6].

В умовах відновлення житлового фонду після війни модульний підхід має надзвичайно важливе значення. Він дозволяє швидко і ефективно відновлювати пошкоджені будівлі, підвищувати енергоефективність, розширювати функціональність, оновлювати естетику будівель [5].

Принципи модульного підходу відкривають нові можливості для реконструкції житлового фонду [4]. Їх впровадження дозволяє швидко, економічно та якісно відновлювати будівлі, забезпечуючи комфортні умови

для проживання мешканців і відповідність сучасним стандартам. У повоєнних умовах ці технології можуть стати ключовим інструментом для швидкого відновлення інфраструктури та стабілізації соціально-економічного середовища.

Модульні системи вирізняються екологічною ефективністю, оскільки значна частина будівництва здійснюється у контрольованих умовах на заводі, де усі елементи виготовляються з максимальною точністю, що дозволяє уникнути перевитрат матеріалів. Залишки матеріалів у заводських умовах можуть бути перероблені чи використані повторно. Модулі доставляють в готовому вигляді, що знижує потребу у різанні, свердлінні чи інших процесах, які супроводжуються утворенням сміття.

Крім того, модульні системи дозволяють частково використовувати вже наявні будівельні конструкції або повторно інтегрувати матеріали зі зруйнованих будівель. Це особливо важливо в умовах обмежених ресурсів та екологічних викликів.

Модульні системи є надзвичайно гнучкими і можуть бути застосовані як для створення тимчасових, так і для постійних будівель. Ця універсальність є однією з ключових переваг технології.

Модульні системи також ефективно використовують для створення постійних будівель з високим рівнем енергоефективності та комфортності. Такі конструкції відповідають усім сучасним будівельним стандартам і можуть слугувати десятки років.

Завдяки використанню сучасних матеріалів та інтеграції інженерних систем модульні будівлі забезпечують високу якість і довговічність.

Гнучкість модульних систем дозволяє адаптувати їх до різних потреб, починаючи від невеликих житлових будинків і закінчуючи великими багатофункціональними комплексами.

Модульні системи мають значні переваги, які роблять їх оптимальним вибором для відновлення будівель у повоєнний період. Швидкість виробництва і монтажу дозволяє оперативно забезпечувати житлом постраждалих, мінімізація будівельного сміття сприяє екологічній сталості, а можливість застосування у тимчасових і постійних конструкціях робить цю технологію універсальною. Модульний підхід є не лише технічно ефективним, але й економічно доцільним, що робить його ключовим інструментом для вирішення сучасних викликів у сфері реконструкції.

Фасадні, інженерні та добудовчі модулі є ключовими елементами у процесі відновлення пошкоджених будівель та модернізації існуючого житлового фонду. Їхня універсальність, ефективність і естетична привабливість роблять модульні системи оптимальним вибором для вирішення складних завдань реконструкції.

Одним із ключових завдань у відновленні пошкоджених будівель є забезпечення їхньої конструктивної міцності та стійкості. В умовах

повоєнного відновлення, де будівлі зазнали значних руйнувань, основною вимогою є посилення несучих конструкцій. Цей процес включає ретельне обстеження технічного стану будівлі, визначення ступеня пошкоджень та впровадження технологій, які дозволяють відновити або покращити здатність конструкцій витримувати навантаження.

Першим кроком є оцінка стану несучих елементів, таких як стіни, колони, балки та перекриття. За допомогою спеціалізованих методів діагностики (ультразвукове сканування, рентгенографія бетону, випробування на міцність) визначають наявність тріщин, корозії арматури, зниження несучої здатності бетону. [1]

Карбонові або скловолоконні стрічки та сітки є ефективним засобом для зміцнення бетону. Вони наносяться на поверхню конструкцій, забезпечуючи додаткову міцність і стійкість до динамічних навантажень.

Для відновлення колон, балок чи фундаментів застосовують технологію заливки нового шару бетону, що об'єднується з існуючою конструкцією. Встановлення сталевих обойм або стрижнів навколо пошкоджених елементів дозволяє компенсувати втрату несучої здатності та рівномірно розподілити навантаження.

Для герметизації тріщин та відновлення монолітності конструкцій використовують полімерні матеріали, які вводяться під тиском.

У процесі посилення конструкцій необхідно враховувати можливі динамічні навантаження, зокрема, сейсмічну активність або повторні вибухи. Це досягається шляхом використання спеціальних армуючих систем або демпфуючих елементів.

Посилення несучих конструкцій дозволяє не лише відновити функціональність будівлі, але й значно продовжити термін її експлуатації, забезпечуючи безпеку мешканців.

У випадках, коли пошкодження стін і перекриттів є критичними, доцільним рішенням є використання заміennих модулів. Модульний підхід до відновлення дозволяє швидко та ефективно замінювати зруйновані елементи, забезпечуючи відновлення будівлі з мінімальними витратами часу і ресурсів.

Замінні модулі виготовляють у заводських умовах із точним дотриманням необхідних стандартів. Їхня конструкція забезпечує легкий монтаж на місці пошкоджень, навіть у складних умовах будівельного майданчика. Модулі виготовляють з міцних і легких матеріалів, таких як високоякісний бетон, армовані композити або сталеві панелі.

Стінові модулі використовують для заміни зовнішніх і внутрішніх стін, які зазнали значних пошкоджень. Можуть включати утеплювальні шари, оздоблювальні матеріали та системи герметизації. Забезпечують енергоефективність і захист від вологи.

Модулі перекриттів замінюють пошкоджені або зруйновані міжповерхові перекриття. Оснащуються армуванням для підвищення міцності і стійкості до навантажень. Легкість конструкції модулів зменшує навантаження на існуючі несучі елементи.

Модулі комбінованого типу включають функціональні елементи, такі як вентиляційні канали, системи опалення чи електромережі.

Після демонтажу пошкоджених елементів на будівельному майданчику виконується підготовка для встановлення модулів (укріплення стиків, вирівнювання основи). Замінні модулі монтують за допомогою спеціальних кріплень або монтажного обладнання. Герметизація стиків забезпечує цілісність конструкції та її стійкість до зовнішніх впливів.

Модулі виготовляються одночасно з демонтажем пошкоджених елементів, що значно скорочує тривалість робіт. Заводське виготовлення гарантує високу якість матеріалів і точність конструкцій. Замінні модулі можуть бути адаптовані до будь-яких архітектурних і технічних вимог.

Замінні модулі ідеально інтегруються з іншими модульними системами, такими як фасадні панелі або інженерні модулі. Це дозволяє проводити комплексне оновлення будівель, забезпечуючи їх естетичність, функціональність та енергоефективність.

Енергоефективність та екологічність модульних систем. Модульні системи є одним із найефективніших підходів до реконструкції будівель у повоєнних умовах. Вони не лише забезпечують швидке та якісне відновлення, але й сприяють підвищенню енергоефективності будівель [3]. Ураховуючи сучасні вимоги до зниження енергоспоживання, модульні рішення дозволяють мінімізувати втрати енергії та забезпечити комфортні умови проживання для мешканців.

Однією з головних переваг модульних систем є можливість інтеграції теплоізоляційних матеріалів безпосередньо у фасадні модулі. Це значно підвищує енергоефективність будівлі, особливо у випадках реконструкції старих бетонних будинків, які зазвичай мають низькі теплоізоляційні властивості.

Фасадні модулі оснащують сучасними ізоляційними матеріалами, такими як мінеральна вата, пінополістирол або пінополіуретан. Ці матеріали мають високі теплоізоляційні показники та забезпечують зменшення тепловтрат до 50–70%. Утеплювачі інтегруються у багат шарові конструкції модулів, що поєднують теплоізоляційні шари з декоративними панелями. Це покращує мікроклімат всередині приміщень: взимку будівлі зберігають тепло, а влітку – прохолоду, а також призводить до зменшення витрат на опалення та кондиціонування, продовжує термін служби будівлі завдяки захисту стін від впливу зовнішніх факторів, таких як волога чи температурні перепади.

У реконструйованих будівлях, оснащених фасадними модулями з теплоізоляцією, енергоспоживання на опалення може знижуватися на 30–50%, що суттєво зменшує витрати мешканців та сприяє екологічності будівель.

Модульні системи передбачають високий рівень герметизації конструкцій, що є важливим фактором для досягнення енергоефективності будівель. Герметичність конструкцій дозволяє мінімізувати тепловтрати через стики між елементами будівлі, що є типовою проблемою для традиційних методів реконструкції.

Для герметичних з'єднань у модульних системах використовують спеціальні ущільнювачі, герметики та монтажні піни, які забезпечують високу щільність стиків. Стики між модулями додатково покривають теплоізоляційними матеріалами або спеціальними мембранами, що запобігають утворенню «містків холоду». Зменшуються тепловтрати через конструкційні елементи, зокрема стики. Покращується шумоізоляція, що забезпечує комфортні умови проживання. Виключається проникнення вологи, яка може спричинити утворення конденсату та пошкодження матеріалів.

Завдяки ретельній герметизації в модульних будівлях зберігається до 20% більше тепла порівняно з традиційними конструкціями. Це забезпечує зниження енергоспоживання та підвищує загальну ефективність реконструйованих будівель.

Ще однією важливою перевагою модульних систем є можливість інтеграції відновлюваних джерел енергії, що відповідає сучасним стандартам екологічності та сталого розвитку. Інтеграція таких систем дозволяє не лише зменшити залежність від традиційних енергоресурсів, але й зробити будівлі енергетично автономними.

Фасадні модулі можуть бути оснащені інтегрованими сонячними панелями, які виробляють електроенергію для освітлення, роботи побутових приладів та інженерних систем. Використання сонячної енергії дозволяє знизити витрати на електроенергію та зменшити викиди вуглекислого газу. На дахах будівель можуть бути встановлені сонячні батареї більшої потужності, які забезпечують повне або часткове енергозабезпечення.

Теплові насоси можуть бути інтегровані у системи опалення та кондиціонування будівель. Ці пристрої використовують енергію землі, повітря або води для обігріву приміщень взимку та охолодження влітку, забезпечуючи економію енергії до 70% у порівнянні з традиційними системами.

Таблиця 1

Порівняння традиційних методів з модульними системами

| Критерій | Традиційні методи | Модульні системи |
|--------------------|-------------------|---|
| Швидкість | Тривалий процес | Висока швидкість монтажу |
| Якість | Залежить від умов | Висока якість завдяки заводському виробництву |
| Вартість | Висока | Оптимізована, економічна |
| Екологічність | Значні відходи | Мінімізація сміття |
| Енергоефективність | Обмежена | Висока завдяки сучасним технологіям |

Порівнюючи енергоефективність, традиційні методи часто залишають будівлю без достатньої теплоізоляції та герметизації, що спричиняє високі енергетичні витрати. Модульні системи, завдяки інтеграції сучасних утеплювачів, герметичних з'єднань та відновлюваних джерел енергії сприяють зменшенню енергоспоживання та скороченню викидів парникових газів.

Функціональні та архітектурні можливості модульних систем.

Модульні системи пропонують унікальні можливості для розширення функціональності існуючих будівель. Завдяки своїй гнучкості, вони дозволяють не тільки відновлювати пошкоджені конструкції, але й створювати нові функціональні простори, які значно покращують комфорт, естетику та зручність експлуатації будівлі. Серед ключових рішень – інтеграція балконів, терас, дахових зон, а також облаштування додаткових приміщень, таких як ліфти, пандуси чи технічні кімнати.

Забезпечення доступності будівель для людей із інвалідністю або маломобільних груп є важливою вимогою сучасного будівництва. Модулі для пандусів виготовляють з легких металевих або композитних матеріалів і встановлюють біля входів до будівлі. Вони можуть бути стаціонарними та знімними або складними для тимчасового використання. Пандуси роблять будівлю інклюзивною, що покращує якість життя мешканців.

Елементи безбар'єрного доступу це пандуси, широкі дверні отвори, ліфти, поручні та підйомні платформи.

Завдяки стандартизації модулі для пандусів, ліфтів та платформ можуть бути швидко виготовлені та змонтовані. Використання інноваційних матеріалів дозволяє знизити вагу конструкцій та зменшити навантаження на будівлю. Гнучкість модулів забезпечує можливість адаптації до різних типів будівель.

Висновок

1. Посилення несучих конструкцій та використання замічних модулів для пошкоджених стін і перекриттів є ключовими технологіями у відновленні пошкоджених будівель. Вони забезпечують швидке, економічне і якісне повернення будівель до експлуатації, враховуючи

вимоги сучасного будівництва та безпеки. Інтеграція модульних систем дозволяє ефективно вирішувати завдання реконструкції, мінімізуючи вплив на мешканців і знижуючи витрати ресурсів.

2. Модульні системи мають явні переваги перед традиційними методами реконструкції. Вони забезпечують швидкість і якість виконання робіт, дозволяють зменшити витрати та мають позитивний екологічний вплив. У контексті повоєнного відновлення ці характеристики роблять модульні системи оптимальним вибором для швидкої та стійкої реконструкції житлового фонду.

References

1. Kotsiuba, S. V. Architectural and Structural Features of the Modernization of Multi-Story Buildings / S. V. Kotsiuba. – Kyiv: Naukova Dumka, 2020. – 284 p.
2. Modular Construction: Prospects and Challenges: Monograph / Edited by I. I. Doroshenko. – Dnipro: DNU, 2018. – 356 p.
3. Moroz, V. A., Boyko, L. V. Energy-Efficient Technologies in the Renovation of the Housing Stock / V. A. Moroz, L. V. Boyko. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020. – 248 p.
4. National Strategy for the Renovation of the Housing Stock in Ukraine: Analytical Report / Edited by M. I. Bobr. – Kyiv: UkrNDI of Urban Design, 2021. – 192 p.
5. Yasuhara, K., Fujita, T. Modular Construction Techniques in Post-War Housing Rehabilitation / K. Yasuhara, T. Fujita. – London: Routledge, 2018. – 364 p.
6. Modular Building Institute. Modular Construction Reports: Trends and Innovations. – Washington D.C.: MBI, 2021. – 225 p.
7. United Nations Habitat. Sustainable Urban Development and Housing Reconstruction: Guidelines and Best Practices. – New York: UN, 2020. – 142 p.

Література

1. Коцюба, С. В. Архітектурні та конструктивні особливості модернізації багатоповерхових будинків / С. В. Коцюба. – К. : Наукова думка, 2020. – 284 с.
2. Модульне будівництво: перспективи та виклики : монографія / за ред. І. І. Дорошенко. – Д. : ДНУ, 2018. – 356 с.
3. Мороз, В. А. Енергоефективні технології у відновленні житлового фонду / В. А. Мороз, Л. В. Бойко. – Х. : НТУ «ХПІ», 2020. – 248 с.
4. Національна стратегія з відновлення житлового фонду в Україні : аналітичний звіт / за ред. М. І. Бобра. – К. : УкрНДІ проектування міст, 2021. – 192с.
5. Yasuhara, K., Fujita, T. Modular Construction Techniques in Post-War Housing Rehabilitation / K. Yasuhara, T. Fujita. – London: Routledge, 2018. – 364 p.
6. Modular Building Institute. Modular Construction Reports: Trends and Innovations. – Washington D.C.: MBI, 2021. – 225 p.
7. United Nations Habitat. Sustainable Urban Development and Housing Reconstruction: Guidelines and Best Practices. – New York: UN, 2020. – 142 p.