

## КОМПЛЕКСНА РЕКОНСТРУКЦІЯ ЗРУЙНОВАНИХ БЕЗКАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ

У нових соціально-економічних умовах основною формою розвитку промислового виробництва є реконструкція. Головне завдання нині – підвищити технічний рівень, якість, впровадити енергозберігаючі та ресурсозберігаючі технології, використовуючи наявний промисловий потенціал країни. У статті представлені результати комплексної реконструкції зруйнованих безкаркасних будівель і інтеграції наявних об'єктів культурно-історичної спадщини у сучасне міське середовище. Наведено результати аналізу у разі застосування інформаційного моделювання будівель (BIM) з поєднанням з новими сучасними та екологічними технологіями для вибору ефективних, технологічних, технічних та організаційних рішень у ліквідації аварійних пошкоджень та руйнувань безкаркасних будівель внаслідок військових дій. Також за допомогою засобів 3D сканування виконано більш ретельний аналіз пошкоджень та руйнувань. 3D фіксація об'єктів архітектури виконується сучасними методами за допомогою спеціалізованого обладнання або засобами фотограмметрії та сучасного програмного забезпечення для перетворення серії фотознімків у хмару точок. Встановлено, що фотограмметрія є відносно недорогим і практично універсальним методом створення тривимірних моделей об'єктів архітектури для фіксації фактичних переміщень для подальшого аналізу та роботи, створення обмірних креслень, планів вимірювання, фасадів, розрізів тощо. У результаті виконаної роботи була отримана повна 3D модель пошкодженої будівлі – виміри (хмари точок) були отримані шляхом поєднання великої кількості знімків, зроблених сучасним фотоапаратом та дроном, знімання частіше виконується як наземних зовнішніх фасадів, так і внутрішніх приміщень. За потреби потім усе поєднується в одну хмару точок за допомогою сучасного спеціального програмного забезпечення. Вивченням отриманої тривимірної моделі можна виконати ретельний аналіз руйнувань та розробити варіанти протиаварійної стабілізації конструкцій, а також організаційні, технологічні та технічні заходи, які необхідно терміново вжити для запобігання загибелі людей або обвалу будівель безкаркасного типу, у тому числі великопанельних будівель після масових пошкоджень внаслідок обстрілів та інших військових дій. Насамперед перед проєктувальником та експертом, який залучений у відновленні житлового фонду, чималу роль повинні грати такі принципи, як зручність, доступність та екологічність шляхів та способів відновлення таких будівель. Сучасні екологічні технології дозволять досить ефективно та швидко провести реконструкцію зруйнованих безкаркасних конструкцій. У післявоєнний час використання представлені методики дозволить оперативно оцінити технічний стан будівель і вибрати стратегію стабілізації, включаючи періодичність моніторингу, скорочуючи потреби і терміни ремонту.

**Ключові слова:** комплексна реконструкція, зруйновані будівлі, безкаркасні конструкції, екологічні технології, сталий розвиток у будівництві, енергоефективність, зелене будівництво, відновлення інфраструктури навколо пошкоджених будівель.

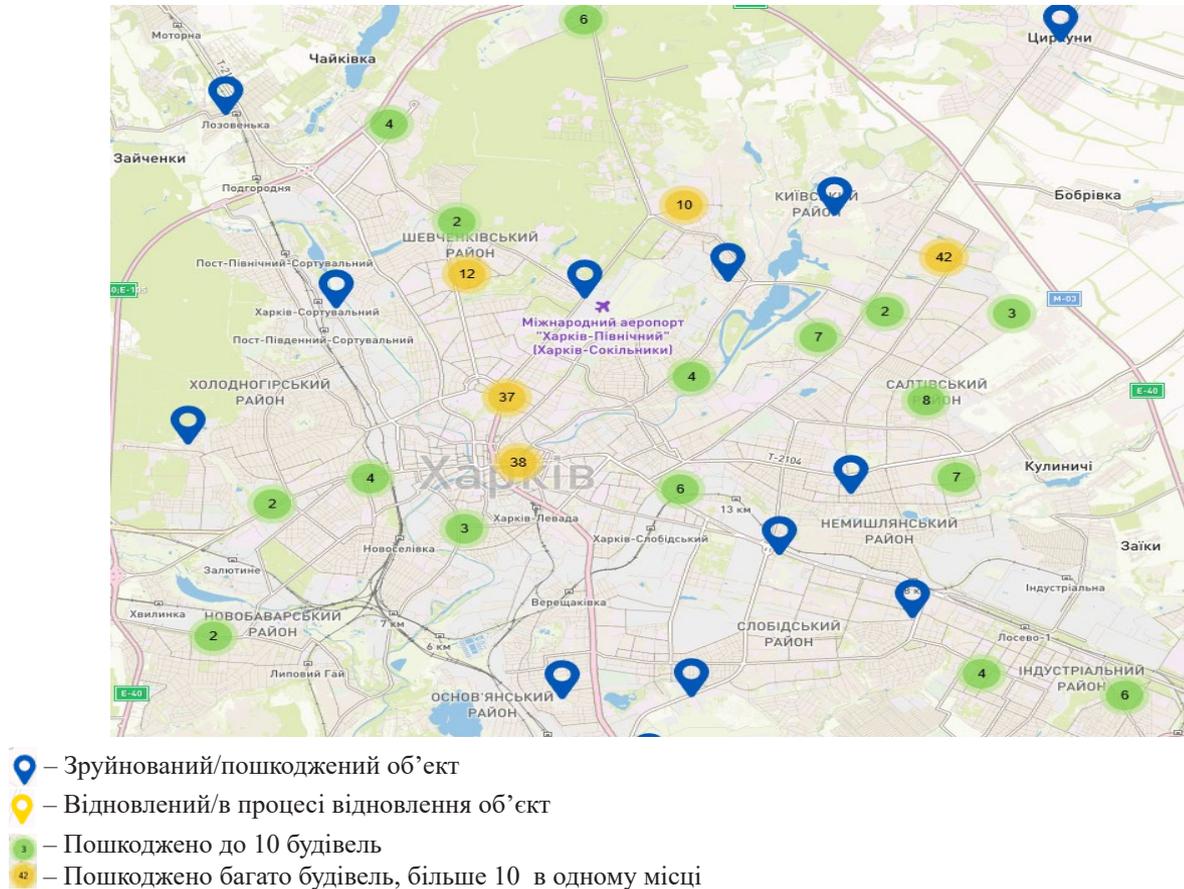
## COMPREHENSIVE RECONSTRUCTION OF DESTROYED FRAMELESS BUILDINGS USING ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES

In the new socio-economic conditions, the main form of development of industrial production is reconstruction. The main task today is to increase the technical level, quality, introduce energy-saving and resource-saving technologies, using the existing industrial potential of the country. The article presents the results of the comprehensive reconstruction of destroyed frameless buildings and the integration of existing cultural and historical heritage sites into the modern urban environment. The results of the analysis and prospects for the application of building information modeling (BIM) and environmental technologies for the selection of effective organizational, technological and technical solutions in the elimination of emergency destruction of frameless buildings as a result of military operations are presented. It has been established that photogrammetry is a relatively inexpensive and practically universal method for creating three-dimensional models of architectural objects and their measurement plans. Modern images were obtained by combining both images taken by a drone and ground-based external facades and interiors. The optimal option for emergency stabilization, as well as organizational, technological and technical measures that must be urgently taken to prevent the death of people or the collapse of large-panel buildings after massive damage due to shelling and other military actions. Modern environmental technologies will allow for the reconstruction of destroyed frameless structures quite quickly. In the post-war period, the use of the presented methodology will allow for a prompt assessment of the technical condition of buildings and the selection of a stabilization strategy, including the frequency of monitoring the need and timing of repairs.

**Key words:** comprehensive reconstruction, destroyed buildings, frameless structures, environmental technologies, sustainable development in construction, energy efficiency, green construction, restoration of infrastructure around damaged buildings.

### Постановка проблеми

З початку повномасштабного вторгнення та бойових дій на території України загальна сума прямих задокументованих збитків житловій і нежитловій нерухомості та іншій інфраструктурі становила понад 143,8 млрд доларів [1]. Проте остаточна оцінка розміру збитків і руйнувань можлива лише після закінчення бойових дій на території України.



**Рис. 1.** Мапа, яка відображає кількість будівель з найбільш суттєвими пошкодженнями у м. Харків Харківської обл. [2]

За попередніми даними обласних військових адміністрацій, станом на лютий 2025 року загальна площа пошкоджених або зруйнованих об’єктів становить 102,1 млн. кв. м, що становить 9,5% від загальної площі житлового фонду України. За цими оцінками 16,4 тис. житлових будинків (їх загальна площа – 19,6 млн м<sup>2</sup>) зазнали часткових пошкоджень (ступінь руйнування 10%); середніх пошкоджень (ступінь руйнувань – 10%–40%) зазнали 65,7 тис. житлових будинків (загальна площа – 35,3 млн м<sup>2</sup>); повністю зруйновано (ступінь руйнування – понад 40%) 72,7 тис. житлових будівель (їх загальна площа – 29,6 млн м<sup>2</sup>) [3]. Мапа руйнувань по Харківській області – на рис. 1.

З огляду на перелічені кількісні параметри заподіяної шкоди, а також наслідки руйнувань, які ми можемо спостерігати щодня з власних вікон, можемо підсумувати:

1. Багато пошкоджених будівель можна повністю або частково відновити, використовуючи енергозберігаючі та ресурсозберігаючі екологічні технології.

2. Є можливість переглянути важливість та архітектурну цінність деяких постраждалих будівель і вирішити, чи варто їх реконструювати, чи краще переобладнати на більш практичні та сучасні архітектурні стилі та технології зеленого будівництва.

3. Економія ресурсів не повинна ставати єдиним критерієм оцінки проєктних рішень і не повинна призводити до вибору недовговічних або не досить якісних конструктивних систем і будівельних матеріалів.

З огляду на те, що значна кількість помешкань у міських мікрорайонах по всій Україні будується з використанням безкаркасних панельних систем, це дослідження насамперед зосереджується на екологічних технологіях відновлення, реконструкції таких будівель сучасними екологічними технологіями.

### Аналіз останніх досліджень

Якщо проаналізувати наявний досвід реконструкції безкаркасних будівель екологічними матеріалами та методами у країнах Центральної Європи, можна відзначити, що модернізація в основному зосереджена на покращенні теплоізоляційних характеристик стінових панелей, віконних заповнень і покрівлі, адаптації систем опалення та водопостачання до сучасних вимог, заміна електроприладів, модернізація систем вентиляції та ремонт власне оздоблення фасадів, використання енергозберігаючих та зелених технологій. У цьому напрямі величезний вклад зробили такі вчені: С. Ігнатівчус та ін. [4], А. Останська [5], П. Новаковський [6], Д. Піонтовська-Вороняк та ін. [7], М. Гурі та ін. [8]. Зокрема, значна частина праць П. Книзняка [9–10] та Я. Шульца [11–12] присвячена різним питанням експлуатації безкаркасних будівель (LPS). Також цікаві результати отримані авторами з метою дослідження сейсмостійкості панельних будівель і описані в роботах [13–15], а також моделювання поведінки панельних будівель у разі вибуху побутового газу [16; 17].

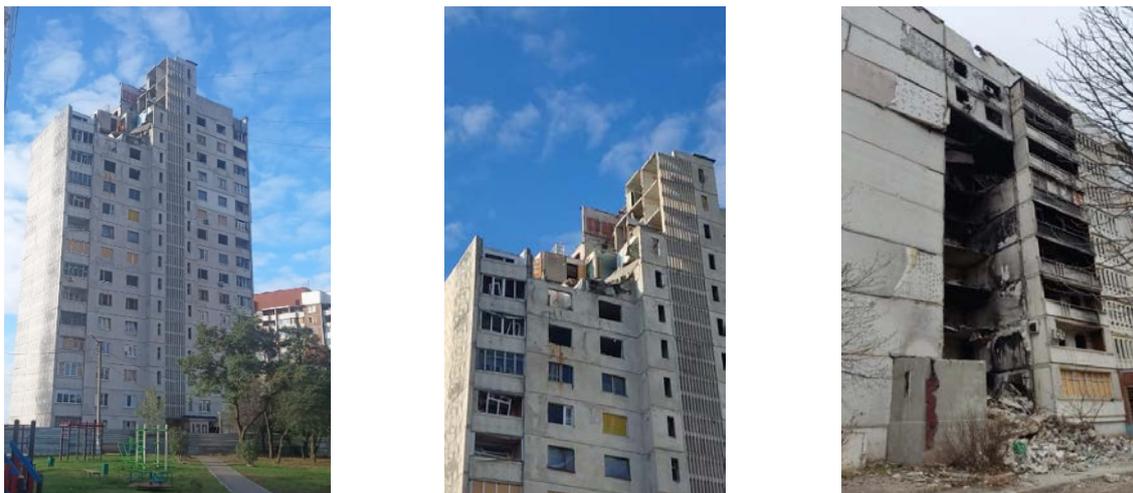


Рис. 2. Приклад поширених руйнувань панельних будинків [2]

Водночас важко знайти дослідження, які хоча б віддалено були присвячені екологічним технологіям реконструкції панельних будинків після вибухових ударів або прямих влучань в уражені конструкції. Більшість праць, наявних на сьогодні, які акцентують увагу на оцінці технічного стану будівель після пошкоджень, виконані вітчизняними науковцями, серед яких слід відзначити роботу [18].

Реконструкція панельних будинків в Україні нині ускладнюється, окрім фактичного продовження бойових дій (рис. 2), ще й тим, що наразі в Україні повністю відсутня база будівельної індустрії (заводи з виробництва залізобетонних конструкцій) зі спеціалізацією на виготовленні елементів конструкцій панельних будинків. Габаритні розміри елементів конструкції значно відрізняються в різних серіях. Розробка індивідуальних систем опалубки для кожного випадку виявляється трудомістким і дорогим заходом. Є також складність організації

надійного з'єднання монолітних і збірних конструкцій. І, нарешті, екологічний складник панельної будівлі дуже низький (суттєво низькі показники теплового опору зовнішніх стін і покрівлі, практично відсутня ергономіка житлових приміщень, погана зовнішня архітектура тощо). Зазначене зумовлює необхідність створення ефективної конструктивної системи із застосування максимальної кількості екологічних матеріалів, технологічно придатної для реконструкції безкаркасних будівель.

### Мета дослідження

Метою статті є використання ефективної конструктивної системи реконструкції зруйнованих безкаркасних будівель із застосуванням екологічних технологій.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Оновлення основних виробничих фондів у процесі реконструкції є найбільш економічно доцільним. Під час будівництва нового підприємства вартість будівельно-монтажних робіт становить 70% усіх капітальних вкладень, у разі розширення – близько 60%, у разі реконструкції – близько 26%. Економія матеріальних ресурсів під час реконструкції промислових будівель та споруд дозволяє ефективніше використовувати капіталовкладення для розвитку нової техніки та технології, освоєння випуску нових видів продукції. Прискорення окупності капітальних вкладень під час реконструкції та технічного переозброєння відбувається у 2–2,5 раза швидше, а загальні витрати на одиницю виробничої потужності у середньому приблизно на 30% нижче, ніж у разі нового будівництва.

Запропоновано рішення для збірно-монолітної залізобетонної безкаркасної будівлі. Воно включає у себе технологію виготовлення та монтажу збірних елементів, а також порядок улаштування монолітної частини перерізів колон, балок, плит і діафрагм. Основні риси такі:

1. Просторовий каркас послідовно зводиться шляхом початкового монтажу незнімної опалубки в форму порожнистих тонкостінних елементів, виготовлених на 3D-принтері, які мають змінну форму та розмір, що дозволяє організувати довільні кроки колон і змінну висоту підлоги.

2. Збирання збірної частини каркаса проводиться поверхово з підпорядкуванням укладання важкого або легкого бетону, що самоущільнюється.

3. Для великих прольотів система дозволяє розміщувати канали в балках, щоб полегшити подальше натягування сталевих арматур.

4. У разі прольотів, довжина яких перевищує 6,0 м, використовуються попередньо напружені збірні пустотні плити з поворотом на кут  $\pi/2$  у кожній планувальній комірці відносно сусідніх.

У разі безкаркасної схеми вертикальні, що обгороджують і внутрішні несучі конструкції, виконуються у вигляді суцільних стін. У каркасно-панельних спорудах з повним каркасом допускається поздовжнє й поперечне розташування скритих ригелів. У спорудах з неповним каркасом рекомендується поздовжнє розміщення ригелів. Пропоноване рішення ґрунтується на таких принципах:

1. Відмова від прийняття строгих габаритних розмірів планувальних осередків і незмінності розмірів елементів каркаса. Цей принцип диктує використання збірних елементів каркаса в якості незнімної опалубки. Реалізація варіативності розмірів, своєю чергою, забезпечується тут технологією виготовлення збірних елементів у вигляді тонкостінних профілів закритого та відкритого перерізу з використанням 3DCP [19]. Такий підхід дає можливість гнучко адаптувати систему як до реконструкції, так і до ремонту та реновації наявних і пошкоджених об'єктів, а також до нового екологічного будівництва. Крім того, розташування вертикальних несучих елементів (колон) у загальному випадку може бути довільним з багаторозгалуженим перерізом (рис. 3).

2. Принцип визначення форми зібраної частини балок у вигляді швелера полицями вгору (рис. 3). При цьому прольоти балок можуть бути довільними, а розміри їх перерізів, як і колон, визначаються розрахунком.

3. Принцип виготовлення виробів арматури у вигляді просторового каркаса з комплексом геометрія та мінімізована кількість стиків між поверхами та прольотами.

4. Принцип використання самоущільнювального бетону. Метою є уникнення вібраційного ущільнення суміші.

5. Принцип використання важкого або легкого бетону, приготовленого на розтяжному цементі для моноліту. Цей принцип дозволяє включати у спільну роботу монолітні і збірні частини конструкції, а також створює ефект конфайнменту в залізобетонних елементах системи, і особливо в колонах.

6. Висвітлено принцип економічності під час виконання. Одночасно для каркасів з великими прольотами застосовують попередньо напружені плити.

7. Принцип використання вставок-порожнечі з легких матеріалів для плит і діафрагмових стін з монолітного бетону [20]. Цей принцип дозволяє значно зменшити вагу будівлі. А мінімізація ваги призводить до підвищення сейсмостійкості та екологічності будівлі.

Наведемо наглядний приклад відновлення пошкодженої багатоповерхової панельної будівлі (рис. 3).

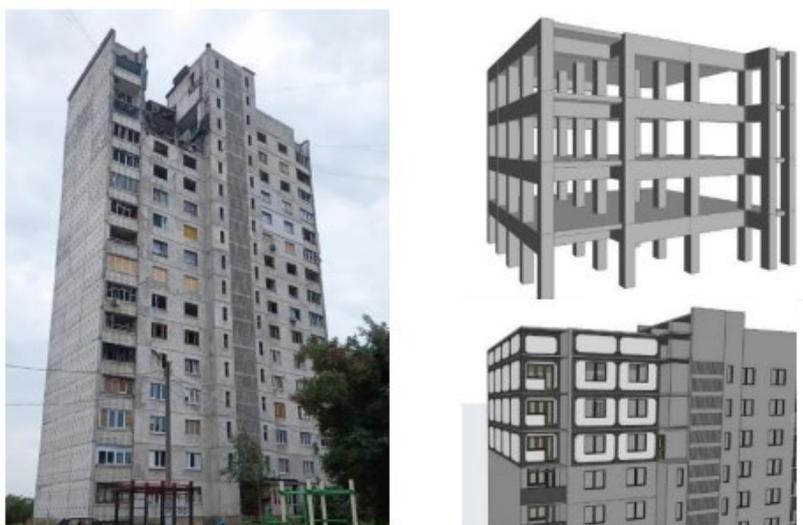


Рис. 3. Загальний вигляд пошкодженої будівлі, шлях від результатів пошкодження до повного відновлення будівлі за допомогою сучасних методів відновлення (розроблено А.В. Колчановим)

Під час влучання снарядів спостерігаються численні руйнації, обвали та деформація каркасу зверху до низу будівлі. У разі ретельного вивчення руйнувань та вимірювань геодезичними приладами з використанням хмари точок у фахівців зароджуються варіанти для відновлення будівлі. Схеми деформацій на рис. 4.

Реконструкція пошкоджених будівель – це складний процес, що включає низку етапів для відновлення функціональності, безпеки та зовнішнього вигляду споруди.

Основні етапи реконструкції пошкоджених будівель:

#### 1. Оцінка стану будівлі

- Технічне обстеження (оцінка несучих конструкцій, фундаменту, стін, покрівлі).
- Виявлення ступеня пошкодження (часткове, критичне чи повне руйнування).
- Документація пошкоджень (фото, звіти, акти).



Рис. 4. Схеми деформацій та руйнувань будівлі, постраждалої внаслідок бойових дій

## 2. Проектування

- Розробка проекту реконструкції (можливо з модернізацією).
- Узгодження з архітекторами, інженерами.
- Отримання дозволів (якщо потрібно).

## 3. Демонтаж небезпечних елементів

- Видалення аварійних конструкцій.
- Очищення території.

## 4. Укріплення конструкцій

- Посилення фундаменту, колон, перекриттів.
- Відновлення стін, балок, перекриттів.

## 5. Відновлення інженерних систем

- Електрика, водопостачання, опалення, вентиляція тощо.

## 6. Оздоблювальні роботи

- Штукатурка, фарбування, встановлення вікон/дверей.
- Внутрішнє оздоблення.

### 7. Контроль якості та задача в експлуатацію

- Перевірка дотримання норм безпеки.
- Підписання акту готовності.

Розглянемо проєктні рішення з відновлення пошкодженої будівлі.

Технологічна особливість у цьому випадку полягає у зведенні монолітних елементів каркасу в опалубці, що на 80 відсотків є незйомною, в якій переважно використовують сторони внутрішніх перегородок квартир та стіни зовнішніх стін та листи цементно-стружкових плит у місцях, де немає сполучень стін за проєктом. Каркасні перекриття збираються зі збірних залізобетонних плит та монолітних ділянок (рис. 5–12).

Руйнація та демонтажні роботи



Проєктний вигляд відновлення



Рис. 5. Загальний вигляд об'єкта, відновленого екологічними технологіями

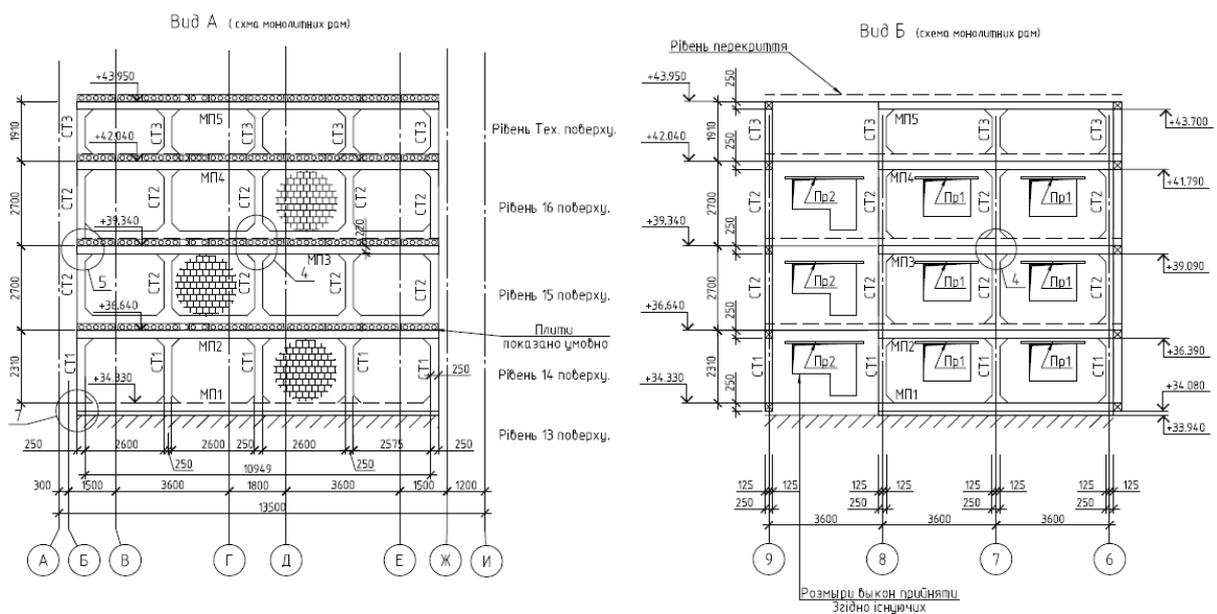


Рис. 6. Схема відновлення стіни з монолітних конструкцій з частковим використанням незйомної опалубки

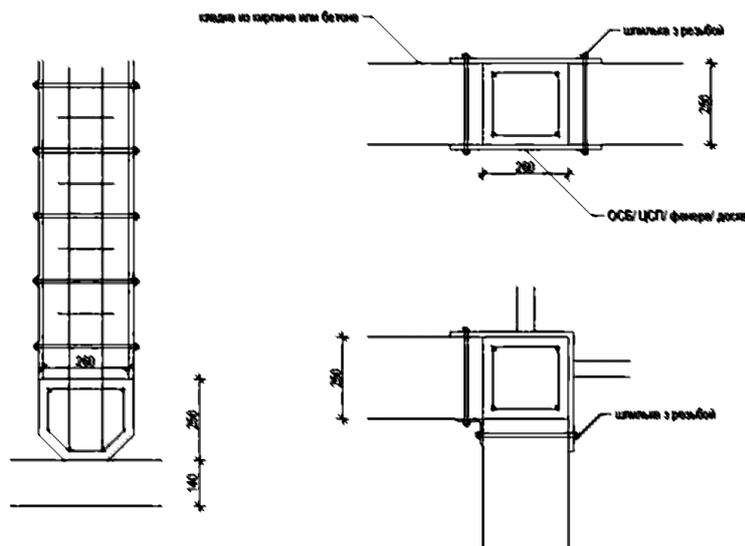


Рис. 7. Загальна схема влаштування елементів каркасу будівлі та відновлювальні роботи

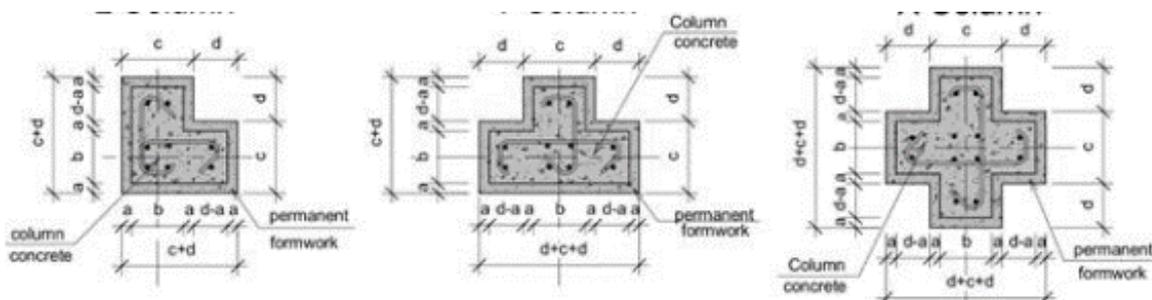


Рис. 8. Пропонована та використана конфігурація колон і балок

Оскільки будівля запроектована та побудована на пальовому фундаменті, то і передбачається відновлення каркасу у разі зменшення його ваги (незначно), деформація фундаменту не врахована в розрахунки, позаяк зусилля перерозподіляються зверху до низу та на рівні розстверку та паль мають рівномірні характеристики. Внутрішні стіни та плитні панелі виготовлені з конструкційного бетону (C16/20). Бетон зовнішніх панелей легкий (керамзитобетон,  $\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$ ). Всі геометричні розміри прийняті відповідно до проєктних рішень. Метеорологічні умови розраховуються натеper згідно з чинними нормативними документами (ДБН). Інтегральне вертикальне навантаження на перекриття приймається згідно зі збором навантажень та відповідно до експлуатації житлових будівель. Зовнішні стіни ненесучі, тому навантаження від них було враховане відповідно до прикладених зусиль згідно з позиціонуванням.

Вихідні дані для розрахунку посилення конструкції будівлі з використанням запропонованого типу каркасної системи наведено нижче.

Перетини: колона: 250×250; балки: 300×300; 180×300; 140×300.

Бетон C25/30. Арматура A500S.

Плити – збірні, попередньо напружені, армовані, пустотні з монолітними ділянками.

Використовувалося ліцензійне програмне забезпечення Liga САПР. Також були використані спеціальні надбудови, призначені для моделювання панельних будівель. Розрахункова 3D модель будівлі з надбудовою наведена на рис. 5. Усі навантаження приймаються згідно з ДБН В.1.2-2:2006, окремо вітрові навантаження збільшуються в 5 разів. Проведено сейсмічні дії на 5 балів. Максимальна горизонталь переміщення верхньої частини будівлі внаслідок тиску

вітру становить 14,1 мм ( $50600 / 14,1 = 3588 \ll 500$ ). Вимушені частоти коливань під час сейсмічної розвідки становлять 0,67с і не перевищують 2,0 с. Найбільше прискорення верхнього поверху 0,078 м/с<sup>2</sup> і не перевищує 0,08 м/с<sup>2</sup>, що дозволяє зробити висновок про комфортне перебування людей у будівлі.

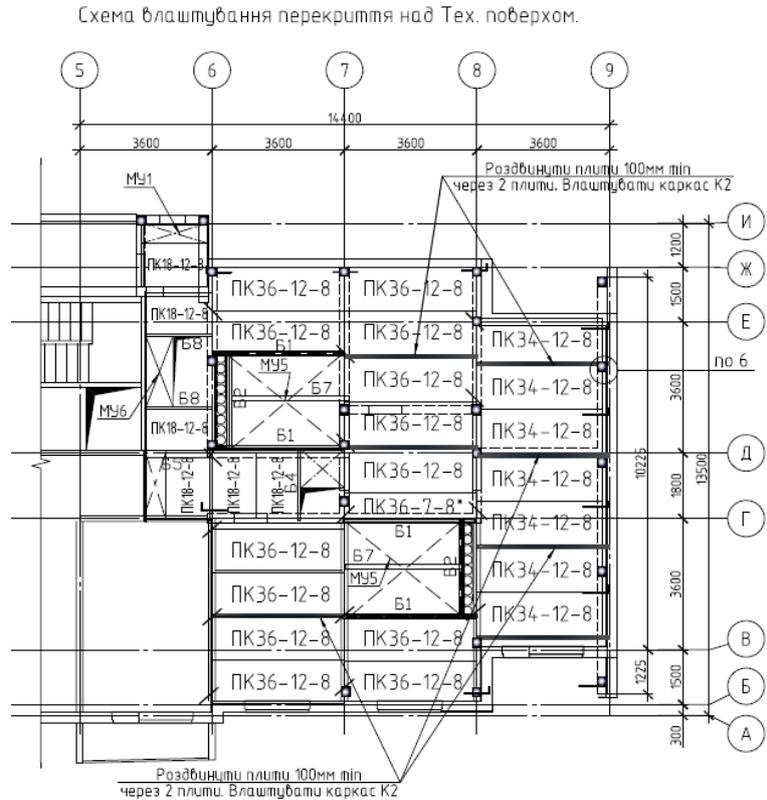


Рис. 9. Влаштування збірних перекриттів

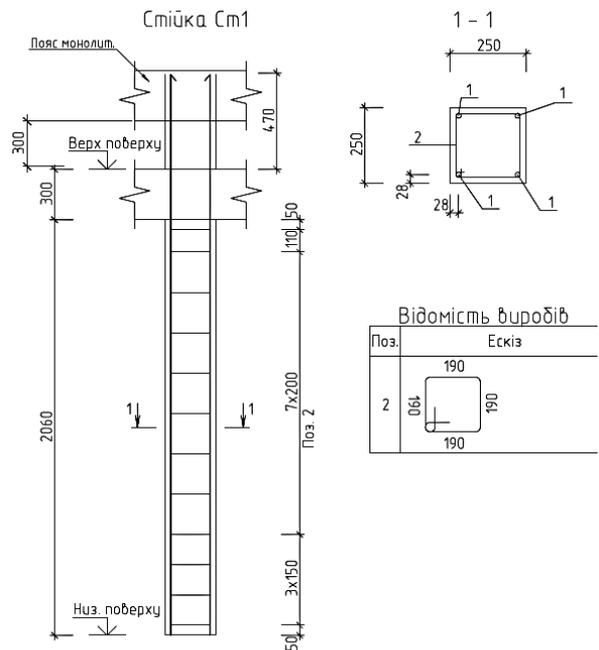


Рис. 10. Конструктивна схема влаштування монолітних стійок та колон

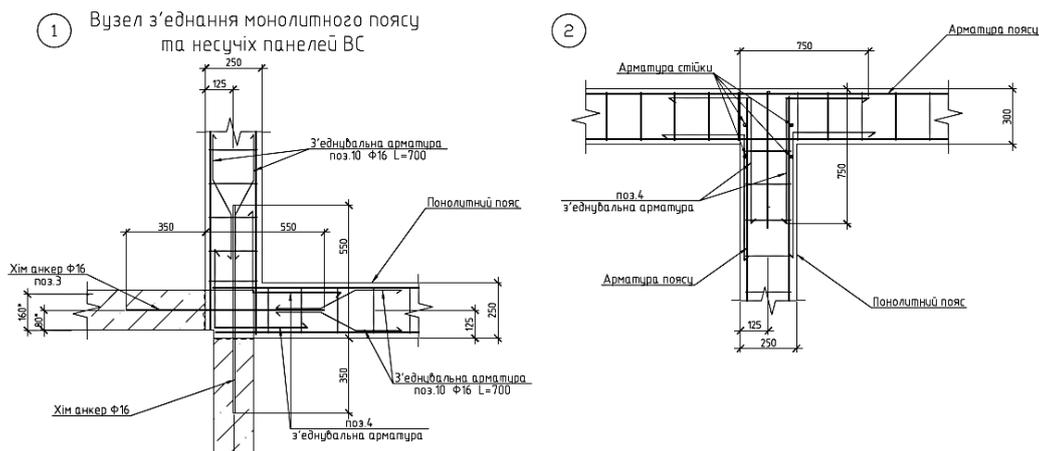


Рис. 11. Приклад сполучення елементів каркасу запропонованої будівлі

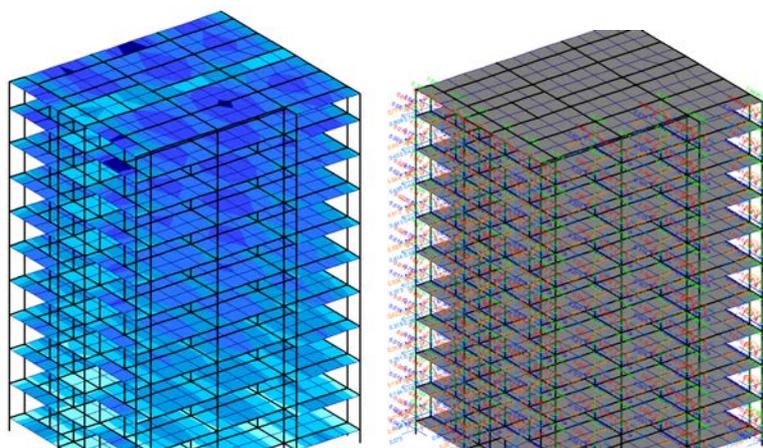


Рис. 12. Кінцево-елементна модель будівлі з надбудовами верхніх поверхів

Використання екологічних матеріалів запропоновано у вигляді утеплювача у разі досягнення високоефективного ступеня енергозбереження та споживання теплової та електричної енергії.

Енергоефективність будівлі досягнута використанням екологічного утеплювача. Приклад утеплення показано на рис. 13.

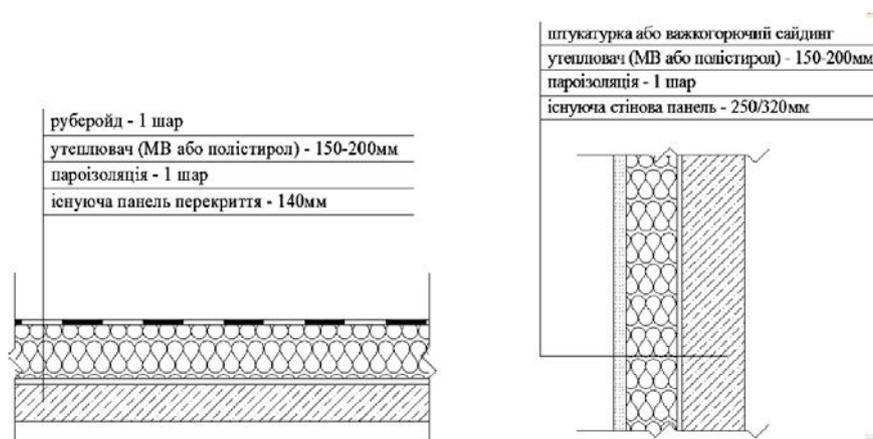


Рис. 13. Утеплення зовнішнього контуру будівлі

Відновлення будівель з екотехнологіями, основні принципи:

Оцінка можливостей для «зеленого» екологічного відновлення.

– Чи можливо зберегти частину старих конструкцій? Це зменшує кількість будівельного сміття.

– Які матеріали можна повторно використати або переробити?

Вибір екологічних матеріалів

– Натуральні матеріали: деревина із сертифікованих лісів, глина, солом'яні панелі, конопляний бетон (hempcrete).

– Матеріали з переробки: склоблоки, перероблений бетон, пластик для утеплення.

– Безпечні для здоров'я: фарби без VOC (летких органічних сполук), нетоксичні клеї, гіпсокартон без формальдегіду.

Енергоефективність

– Сонячні панелі для виробництва електроенергії або гарячої води.

– Вікна з потрійним склопакетом, енергоощадне скло, теплоізоляція стін і даху.

– LED-освітлення, датчики руху, «розумні» системи керування енергією.

Утеплення та збереження тепла

– Використання еко-утеплювачів: целюлозний утеплювач, вовна, конопляна мати.

– Технології пасивного будівництва (розташування вікон, орієнтація на південь, теплоаккумуляція).

Водозбереження

– Системи збору дощової води для технічних потреб.

– Економні крани та санвузли з подвійним зливом.

– Зелені дахи або «зелені стіни» для утримання вологи, поліпшення мікроклімату.

Екологічне середовище

– Ландшафтна інтеграція: збереження зелених зон, використання місцевої флори.

– Забезпечення природної вентиляції, мінімізація потреби в кондиціонуванні.

– Створення здорового мікроклімату (наприклад, використання «дихаючих» матеріалів).

Приклад вищезазначеного переліку для робіт на будівлі після обстрілу.

Реконструкція має проводитись з використанням таких мінімальних вимог:

– конструкцій із CLT (крос-ламінованої деревини),

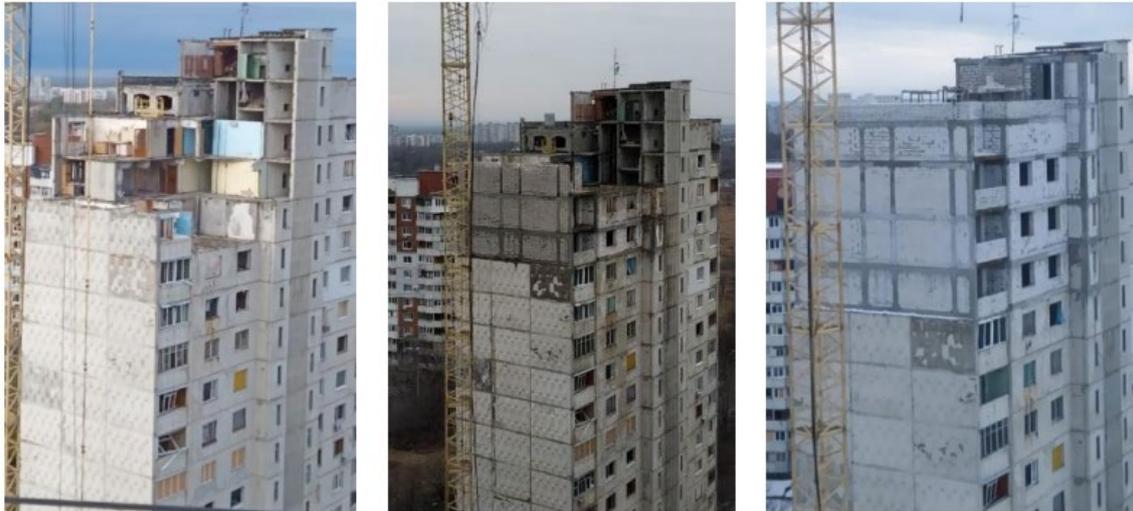
– сонячних батарей на даху,

– вентиляції з рекуперацією тепла,

– фасадів із зеленими стінами.

Під час зведення та реконструкції багатоповерхових каркасно-панельних будівель застосовується комбінований (змішаний) метод монтажу, який є поєднанням роздільного і комплексного методів. Як правило, приймається така послідовність та технологія монтажу конструкцій несучого каркасу будівель. З урахуванням геометричних розмірів поперечного перерізу колон першого ярусу опори під них виконуються зазвичай монолітні. Результати апробації нової конструктивної системи та технології інноваційної реконструкції безкаркасних будівель, у цьому випадку панельних, показано на рис. 14.

Вибір матеріалу і конструктивної схеми залежить від виможливого ступеня захисту, місцевих можливостей і екологічної доцільності. Зовнішні панелі цих будівель часто є ненесучими або самонесучими, слугують виключно огороженнями та забезпечують теплоізоляцію. Їх збій не призведе до руйнування інших несучих елементів. Тим не менш, вони несуть ризик краху в подальшій експлуатації, якщо зламани закладні частини їх кріплення. Під час реконструкції перевірка кріплення – важке завдання. Усі вони повинні утворювати екологічний каркас міста.



**Рис. 14.** Результат апробації запропонованої та розробленої конструктивної системи (на будівельному майданчику опалубка була побудована традиційними методами), проєктні та будівельні роботи виконано 2022–2023 р. (Проєктувальник та розробник, автор проєкту: інженер-проєктувальник, експерт, інженер-консультант: Колчанов Андрій Володимирович, співробітник ТОВ «Науково-дослідний експертно-проєктний центр», аспірант Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова)

### Висновки

На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Аналіз житла України, яке постраждало внаслідок бойових дій і агресії російської федерації, було здійснено за основними структурними особливостями і з точки зору впливу на них снарядів.

2. Запропонована конструктивна екологічна технологія, в основі якої лежить збірна незнімна опалубка елементів, яка демонструє значний потенціал для швидкого та ефективного будівництва. Її гнучкість дозволяє адаптувати його до різних проєктів і умов. Систему можна успішно використовувати як для ремонту пошкоджених будівель, так і для нового будівництва.

3. Реалізація системи, продемонстрована через відновлення пошкодженої безкаркасної будівлі, підтвердила свою функціональність і ефективність в умовах післяаварійного відновлення. Дослідження особливостей напружено-деформованого стану будівлі, зведеної з використанням екологічних елементів, свідчило про досягнення гармонійної взаємодії між відновленою частиною та наявною структурою, що відповідає всім вимогам.

4. Результати цього дослідження можуть слугувати основою для подальших досліджень і розробок запропонована конструктивна система з метою підвищення якості та швидкості будівництва. Підсумовуючи, зазначимо, що ця робота принесла початкові ідеї, засновані на тріаді «ідея – структура – технологія». Такий підхід передбачає комплексну оцінку рішення з огляду на конструктивну ефективність, технологічну раціональність, екологічність та економічну доцільність. Це веде до висновку, що представлена система має потенціал для еволюції до високорозвиненої технології, використовуючи сучасні інструменти та обладнання.

5. Використання системи енергоефективності зі зменшенням енергоспоживання та використання систем енергозбереження шляхом термомодернізації будівлі сучасними методами у сукупності на об'єкті зменшує викиди у разі виробництва енергоносіїв та тим самим береже екосистему планети. Залучення екологічних та індустріальних технологій невідокремленою частиною у відновленні пошкоджених будівель внаслідок бойових дій є ефективним. Відновлення будівель із застосуванням екологічних технологій – це сучасний підхід, який дозволяє не лише відбудувати зруйноване, але і створити більш енергоефективні, безпечні та стійкі до майбутніх можливих впливів на споруду.

Список використаної літератури

1. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (English). Washington : World Bank Group, 2022. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/099445209072239810/P17884304837910630b9c6040ac12428d5c>.
2. Map of Destruction. URL: <https://reukraine.shtab.net/>.
3. Eskew E., Jang S. Impacts and Analysis for Buildings under Terrorist Attacks. URL: [https://www.researchgate.net/publication/311517061\\_Impacts\\_and\\_Analysis\\_for\\_Buildings\\_under\\_Terrorist\\_Attacks](https://www.researchgate.net/publication/311517061_Impacts_and_Analysis_for_Buildings_under_Terrorist_Attacks).
4. Ignatavičius Č., Zavadskas E., Ustinovicus L. Modernization of large-panel houses in Vilnius. The 9th international conference “*Modern building materials, structures and techniques*” : selected papers, May 16–18, 2007 Vilnius, Lithuania / International Association for Bridges and Structural Engineering, European Council of Civil Engineers, The Association of European Civil Engineering Faculties, Lithuanian Academy of Science, Vilnius Gediminas Technical University. 2007. Vol. 1. P. 258–264. URL: [http://leidykla.vgtu.lt/conferences/MBM\\_2007/2pdf/Ignatav\\_Zavdsk.pdf](http://leidykla.vgtu.lt/conferences/MBM_2007/2pdf/Ignatav_Zavdsk.pdf).
5. Ostańska A. The effect of current thermomodernization projects on energy performance of multifamily residential buildings and perspectives for new regeneration projects: the case of a housing estate in Lublin. *Budownictwo i Architektura*. 2010. Vol. 7. P. 89–103. <https://doi.org/10.35784/bud-arch.2271>.
6. Nowakowski P. Functional and Aesthetic Aspects of Modernization of Large Panel Residential Buildings. In: Charytonowicz J., Falcão C. (eds). *Advances in Human Factors in Architecture, Sustainable Urban Planning and Infrastructure*. AHFE 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 966. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20151-7\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20151-7_32).
7. Piotrowska-Woroniak J., Ciesliński K., Woroniak G., Bielskus J. The Impact of Thermo-Modernization and Forecast Regulation on the Reduction of Thermal Energy Consumption and Reduction of Pollutant Emissions into the Atmosphere on the Example of Prefabricated Buildings. *Energies*. 2022. Vol. 15. P. 2758. <https://doi.org/10.3390/en15082758>.
8. Guri M., Krosi F., Xhexhi K. Study of thermal performance of prefabricated large panel buildings. 2<sup>nd</sup> Croatian Conference on Earthquake Engineering 2CroCEE. (Zagreb, Croatia, March 22–24, 2023). P. 268–279. <https://doi.org/10.5592/CO/2CroCEE.2023.63>.
9. Kanoniczak M., Knyziak P. Potencjalnie słabe miejsca w konstrukcji zewnętrznych elementów budynków wielkopłytowych. *Rewitalizacja Obszarów Zurbanizowanych*. 2019. No. 9. P. 42–46. URL: [https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element/baztech-170c5b8e-2974-45be-a0d2-226768435fed/c/Kanoniczak\\_Potencjalnie\\_9\\_2019.pdf](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element/baztech-170c5b8e-2974-45be-a0d2-226768435fed/c/Kanoniczak_Potencjalnie_9_2019.pdf).
10. Tofiluk A., Knyziak P., Krentowski J. Revitalization of Twentieth-Century Prefabricated Housing Estates as Interdisciplinary Issue. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 471. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/11/112096>.
11. Szulc J. Techniczne możliwości modernizacji budynków z wielkiej płyty. *Izolacje*. 2018. Vol. 23. No. 2. P. 14–23.
12. Górski W., Szulc J. Modelowanie numeryczne niejednorodności struktury wypełnienia złączy w budynkach wielkopłytowych. *Acta Sci. Pol. Architectura*. 2019. Vol. 18, No. 2. P. 79–92. <https://doi.org/10.22630/ASPA.2019.18.2.25>.
13. Guri M., Brzev S., Lłuka D. Performance of Prefabricated Large Panel Reinforced Concrete Buildings in the November 2019 Albania Earthquake. *Journal of Earthquake Engineering*. 2021. Vol. 26. P. 1–27. <https://doi.org/10.1080/13632469.2021.1887010>.
14. Brzev S., Zugic Z., Guri M., Gjuzi O. Seismic behaviour of prefabricated large panel reinforced concrete buildings considering the effect of local soil conditions. 3rd European Conference on Earthquake Engineering & Seismology. Bucharest, Romania, 2022. P. 919–928. URL: [https://www.researchgate.net/publication/369791660\\_Seismic\\_behaviour\\_of\\_prefabricated\\_large\\_panel\\_reinforced\\_concrete\\_buildings\\_considering\\_the\\_effect\\_of\\_local\\_soil\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/369791660_Seismic_behaviour_of_prefabricated_large_panel_reinforced_concrete_buildings_considering_the_effect_of_local_soil_conditions).
15. Galstyan G., Arzumanyan A., Galoyan H. Techno-Economic and Material Science Expediency of Modernization and the Renaissance of Large-Panel House Building in Armenia. *Key Engineering Materials*. 2019. Vol. 828. P. 68–72. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.828.68>. [www.scientific.net/KEM.828.68](http://www.scientific.net/KEM.828.68).
16. Kadela M., Cińcio A., Fedorowicz J., Geryło R. Attempt at Numerical Representation of Gas Explosion in a Large Panel Building. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 603. P. 052023. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052023>.

17. Knyziak P. Konstrukcje Budynków Wielkopłytowych W Sytuacjach Awaryjnych. *Inżynieria i Budownictwo*. 2019. Vol. 75, No. 9. P. 404–408.
18. Molodid O., Kovalchuk O., Skochko V., Plokhuta R., Molodid O., Musiaka I. Inspection of war-damaged buildings and structures by the example of urban settlement Borodianka. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2023. P. 328–343. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.328-343>.
19. Ma Guowei, Buswell Richard, Ricardo Leal da Silva Wilson, Wang Li, Xu Jie, Jones Scott Z. Technology readiness: A global snapshot of 3D concrete printing and the frontiers for development. *Cement and Concrete Research*. 2022. Vol. 156. 106774. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106774>.
20. Shmukler V., Bugaevskiy S. Creation of a permanent formwork for the construction of semispherical reinforced concrete structures. *New Technologies in Construction*. 2017. No. 1. P. 36–44.

### References

1. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (English). Washington: World Bank Group, 2022. Retrieved from: <http://documents.worldbank.org/curated/en/099445209072239810/P17884304837910630b9c6040ac12428d5c> [in English].
2. Map of Destruction. Retrieved from: <https://reukraine.shtab.net/> [in English].
3. Eskew, E., & Jang, S. Impacts and Analysis for Buildings under Terrorist Attacks. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/311517061\\_Impacts\\_and\\_Analysis\\_for\\_Buildings\\_under\\_Terrorist\\_Attacks](https://www.researchgate.net/publication/311517061_Impacts_and_Analysis_for_Buildings_under_Terrorist_Attacks) [in English].
4. Ignatavičius Č., Žavadskas E., Ustinovicus L. (2007). Modernization of large-panel houses in Vilnius. The 9th international conference “Modern building materials, structures and techniques”: selected papers, May 16–18, 2007 Vilnius, Lithuania / International Association for Bridges and Structural Engineering, European Council of Civil Engineers, The Association of European Civil Engineering Faculties, Lithuanian Academy of Science, Vilnius Gediminas Technical University, 1, 258–264. Retrieved from: [http://leidykla.vgtu.lt/conferences/MBM\\_2007/2pdf/Ignatav\\_Zavdsk.pdf](http://leidykla.vgtu.lt/conferences/MBM_2007/2pdf/Ignatav_Zavdsk.pdf) [in English].
5. Ostańska, A. (2010). The effect of current thermomodernization projects on energy performance of multifamily residential buildings and perspectives for new regeneration projects: the case of a housing estate in Lublin. *Budownictwo i Architektura*, 7, 89–103. <https://doi.org/10.35784/bud-arch.2271> [in English].
6. Nowakowski, P. (2020). Functional and Aesthetic Aspects of Modernization of Large Panel Residential Buildings. In: Charytonowicz, J., Falcão, C. (eds) *Advances in Human Factors in Architecture, Sustainable Urban Planning and Infrastructure. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 966, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20151-7\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20151-7_32) [in English].
7. Piotrowska-Woroniak, J., Cieśliński, K., Woroniak, G., & Bielskus, J. (2022). The Impact of Thermo-Modernization and Forecast Regulation on the Reduction of Thermal Energy Consumption and Reduction of Pollutant Emissions into the Atmosphere on the Example of Prefabricated Buildings. *Energies*, 15, 2758. <https://doi.org/10.3390/en15082758> [in English].
8. Guri, M., Krosi, F. & Xhexhi, K. (2023). Study of thermal performance of prefabricated large panel buildings. 2nd Croatian Conference on Earthquake Engineering 2CroCEE. (Zagreb, Croatia, March 22–24, 2023). 268–279. <https://doi.org/10.5592/CO/2CroCEE.2023.63> [in English].
9. Kanoniczak, M. & Knyziak, P. (2019). Potencjalnie słabe miejsca w konstrukcji zewnętrznych elementów budynków wielkopłytowych [Potential weak points in the construction of external elements of large-panel buildings]. *Rewitalizacja Obszarów Zurbanizowanych*. 9, 42–46. Retrieved from: [https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-170c5b8e-2974-45be-a0d2-226768435fed/c/Kanoniczak\\_Potencjalnie\\_9\\_2019.pdf](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-170c5b8e-2974-45be-a0d2-226768435fed/c/Kanoniczak_Potencjalnie_9_2019.pdf) [in Polish].
10. Tofiluk, A., Knyziak, P., & Krentowski, J. (2019). Revitalization of Twentieth-Century Prefabricated Housing Estates as Interdisciplinary Issue. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/11/112096> [in English].

11. Szulc, J. (2018). Techniczne możliwości modernizacji budynków z wielkiej płyty [Technical possibilities of modernizing prefabricated buildings]. *Izolacje*, 23 (2), 14–23 [in Polish].
12. Górski, W., & Szulc, J. (2019). Modelowanie numeryczne niejednorodności struktury wypełnienia złączy w budynkach wielkopłytowych [Numerical modeling of the heterogeneity of the joint filling structure in large-panel buildings]. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 18 (2), 79–92. <https://doi.org/10.22630/ASPA.2019.18.2.25> [in Polish].
13. Guri, M., Brzev, S., & Lluca, D. (2021). Performance of Prefabricated Large Panel Reinforced Concrete Buildings in the November 2019 Albania Earthquake. *Journal of Earthquake Engineering*, 26, 1–27. <https://doi.org/10.1080/13632469.2021.1887010> [in English].
14. Brzev, S., Zugic, Z., Guri, M. & Gjuzi, O. (2022). Seismic behaviour of prefabricated large panel reinforced concrete buildings considering the effect of local soil conditions. 3rd European Conference on Earthquake Engineering & Seismology Bucharest, Romania, 919–928. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/369791660\\_Seismic\\_behaviour\\_of\\_prefabricated\\_large\\_panel\\_reinforced\\_concrete\\_buildings\\_considering\\_the\\_effect\\_of\\_local\\_soil\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/369791660_Seismic_behaviour_of_prefabricated_large_panel_reinforced_concrete_buildings_considering_the_effect_of_local_soil_conditions) [in English].
15. Galstyan, G., Arzumanyan, A., & Galoyan, H. (2019). Techno-Economic and Material Science Expediency of Modernization and the Renaissance of Large-Panel House Building in Armenia. *Key Engineering Materials*, 828, 68–72. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.828.68>. Retrieved from: [www.scientific.net/KEM.828.68](http://www.scientific.net/KEM.828.68) [in English].
16. Kadela, M., Cińcio, A., Fedorowicz, J., & Geryło, R. (2019). Attempt at Numerical Representation of Gas Explosion in a Large Panel Building. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603, 052023. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052023> [in English].
17. Knyziak, P. (2019). Konstrukcje Budynków Wielkopłytowych W Sytuacjach Awaryjnych [Structures of Large-panel Buildings in Emergency Situations]. *Inżynieria i Budownictwo*, 75 (9), 404–408 [in Polish].
18. Molodid, O., Kovalchuk, O., Skochko, V., Plokhuta, R., Molodid, O., & Musiiaka, I. (2023). Inspection of war-damaged buildings and structures by the example of urban settlement Borodianka. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 328–343. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.328-343> [in English].
19. Ma, G., Buswell, R., Ricardo Leal da Silva, W., Wang, L., Xu, J., & Jones, S. Z. (2022). Technology readiness: A global snapshot of 3D concrete printing and the frontiers for development. *Cement and Concrete Research*, 156, 106774. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106774> [in English].
20. Shmukler, V., & Bugaevskiy, S. (2017). Creation of a permanent formwork for the construction of semispherical reinforced concrete structures. *New Technologies in Construction*, 1, 36–44 [in English].

Колчанов Андрій Володимирович – аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. E-mail: [andrii.kolchanov@kname.edu.ua](mailto:andrii.kolchanov@kname.edu.ua), ORCID: 0009-0001-7813-2965.

Kolchanov Andrii Volodymyrovych – Postgraduate Student at the Department of Building Structures of the O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. E-mail: [andrii.kolchanov@kname.edu.ua](mailto:andrii.kolchanov@kname.edu.ua), ORCID: 0009-0001-7813-2965.



Отримано: 02.09.2025  
Рекомендовано: 18.11.2025  
Опубліковано: 30.12.2025