

УДК 69.059.4:725:728

БАГАТОРІВНЕВА ПРОСТОРОВО-ІЄРАРХІЧНА МОДЕЛЬ ЗАХИЩЕНИХ ЗОН БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Т.В. Жидкова,

канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Україна

DOI: 10.32347/2410-2547.2026.116.460-469

У статті запропоновано багаторівневу конструктивно-просторову модель захищених зон у структурі житлових і громадських будівель, що базується на диференціації внутрішнього простору будівлі залежно від його розташування відносно зовнішньої оболонки та конструктивного ядра. Модель дозволяє розглядати будівлю як систему просторових рівнів із різним потенційним рівнем захищеності та може бути використана для підвищення безпеки цивільного населення в умовах воєнних загроз.

Ключові слова: захищені простори; безпека будівель; вибухові навантаження; конструктивне ядро будівлі; цивільний захист; багаторівнева модель захисту; житлові та громадські будівлі.

Вступ

Повномасштабна війна в Україні радикально змінила вимоги до житлового середовища, висунувши на перший план питання безпеки мешканців у місці їх постійного проживання. Багатоповерховий житловий будинок, який у мирний час розглядався переважно як об'єкт проживання, інженерного забезпечення та соціально-побутового комфорту, в умовах воєнних загроз набуває додаткової функції просторового захисту цивільного населення. Унаслідок ракетних ударів, застосування ударних безпілотних літальних апаратів, уламкового ураження, локальних руйнувань конструкцій, пожеж і задимлення житловий будинок стає не лише середовищем ризику, а й потенційним середовищем первинного захисту.

Сучасна практика цивільного захисту в Україні значною мірою орієнтована на використання підземних укриттів, споруд подвійного призначення, підвальних та інших заглиблених приміщень. Такий підхід є ефективним у багатьох випадках, проте в умовах багатоповерхової житлової забудови його застосування має низку обмежень.

Для значної частини мешканців, зокрема осіб похилого віку, дітей, маломобільних груп населення, сімей із малими дітьми, а також жителів верхніх поверхів, вирішальним чинником стає не лише наявність укриття, а й можливість дістатися до нього за обмежений час. За короткого інтервалу між сигналом повітряної тривоги та потенційним ураженням шлях до підземного укриття може виявитися надто тривалим, а в окремих випадках фізично неможливим.

Таким чином виникає суперечність між традиційним розумінням укриття як окремого локалізованого об'єкта, переважно підземного, та реальною потребою у формуванні системи захисту, інтегрованої у просторову структуру житлового будинку.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю переосмислення ролі внутрішнього простору багатоповерхових житлових будинків у системі цивільного захисту та визначення потенціалу різних частин будівлі як зон підвищеної захищеності під час воєнних загроз.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Теоретичні дослідження вибухових навантажень і реакції конструкцій є важливою основою для оцінки стійкості будівель до воєнних впливів. У роботі Т. Ngo та співавторів розглянуто механізми формування та поширення вибухової хвилі, а також основні параметри вибухового навантаження – надлишковий тиск і імпульс, що визначають характер впливу на будівельні конструкції [1]. Подібні аспекти аналізуються у дослідженні Н. Draganić та V. Sigmund, де показано, що реакція будівлі на вибух залежить від відстані до джерела вибуху, геометрії будівлі та властивостей конструкційних матеріалів [2]. У праці G. Mays та P. Smith узагальнено результати досліджень впливу вибухових навантажень на будівлі та підкреслено, що найбільш уразливими є фасадні елементи та легкі огорожувальні конструкції [3]. Водночас у роботі S. Verma та співавторів розглянуто підходи до проектування вибухостійких конструкцій, зокрема

використання посиленних матеріалів і конструктивних рішень, спрямованих на підвищення здатності будівлі протидіяти динамічним впливам [4].

Теоретичні дослідження механізмів формування вибухової хвилі створюють основу для визначення параметрів динамічного впливу на будівельні конструкції. У зв'язку з короткочасним характером таких впливів особливе значення має аналіз імпульсних навантажень та методів їх урахування при розрахунку конструкцій.

Дослідження імпульсних навантажень є важливим напрямом аналізу динамічної поведінки будівельних конструкцій під час вибухових впливів. У роботі Г.М. Іванченка та співавторів розглянуто особливості впливу вибухових навантажень на будівлі та споруди цивільного захисту, де показано, що короткочасні імпульсні дії можуть спричинити значні деформації конструктивних елементів та порушення їхньої несучої здатності [5].

У дослідженнях Г.В. Гетун, І.С. Безклубенка та А.В. Соломіна проаналізовано вплив повітряної ударної хвилі на будівлі та захисні споруди з урахуванням параметрів надлишкового тиску та імпульсу, що визначають характер короткочасного динамічного навантаження. Встановлено, що під дією вибуху відбувається нерівномірний розподіл напружень і деформацій у конструктивній системі, при цьому максимальні пошкодження локалізуються у зовнішніх огорожувальних елементах [6–7].

Узагальнення результатів цих робіт свідчить, що характер пошкоджень будівлі значною мірою визначається здатністю конструктивної системи перерозподіляти навантаження між елементами та забезпечувати просторову жорсткість будівлі під час динамічних впливів.

Оцінка параметрів імпульсного навантаження дозволяє перейти до аналізу безпосередньої реакції конструктивних систем будівель та механізмів їх пошкодження під дією вибуху.

Дослідження впливу вибухових навантажень на будівлі свідчать, що навіть короткочасна дія ударної хвилі може спричинити локальні руйнування несучих елементів із подальшим розвитком прогресуючого обвалення. У працях Luccioni, Ambrosini та Danesi, а також Toy і Sevim показано, що характер пошкоджень залежить від інтенсивності вибуху, відстані до об'єкта та просторової жорсткості конструктивної системи, причому найбільш вразливими є нижні поверхи та ключові несучі елементи [8; 9]. Дослідження Masi та ін. додатково підтверджують значення масштабних факторів і геометрії конструкцій у формуванні сценаріїв руйнування [10]. У цьому контексті прогресуюче обвалення розглядається як ланцюгова реакція, що виникає після локального пошкодження та призводить до непропорційно великих втрат конструктивної цілісності [11, 12].

Важливо, що ці теоретичні положення, сформульовані в роботах іноземних дослідників, знаходять пряме підтвердження в реальних умовах воєнних руйнувань в Україні. Зокрема, супутниковий аналіз пошкоджень у Києві демонструє масштабність і системність руйнувань житлової забудови [13], а натурні обстеження окремих будівель виявляють характерні сценарії - від локальних пошкоджень до часткового обвалення конструктивних секцій [14, 15]. При цьому за результатами дослідження [15] встановлено, що навіть за значних ушкоджень окремі будівлі можуть підлягати відновленню за умови збереження основної несучої схеми, локального підсилення елементів, заміни пошкоджених конструкцій та відновлення просторової жорсткості системи.

Аналіз реальних пошкоджень будівель унаслідок воєнних дій підтверджує результати теоретичних досліджень щодо поведінки конструктивних систем під дією вибухових навантажень. У роботі О. Лісеного, В. Глуховського, М. Мар'єнкова та ін. наведено результати обстеження 27-поверхового каркасно-монолітного житлового будинку на проспекті В. Лобановського, 6-А у Києві, пошкодженого внаслідок влучання ракети. Дослідження показало, що попри значні локальні руйнування окремих несучих елементів і перекриттів, загальна конструктивна система будівлі зберегла просторову стійкість і можливість подальшого відновлення. При цьому найбільш значні пошкодження були зосереджені у фасадних і крайових частинах будівлі, тоді як внутрішні приміщення, розташовані у глибині об'єму, у багатьох випадках залишилися відносно неушкодженими, що підтверджує різний рівень уразливості внутрішніх і зовнішніх зон будівлі [16].

Узагальнення результатів цих досліджень свідчить, що ступінь руйнування будівлі значною мірою залежить від конструктивної системи та просторового розташування її елементів:

найбільш уразливими є фасадні зони, тоді як внутрішні частини будівлі часто демонструють вищий рівень збереженості.

У сучасній міжнародній практиці захист цивільного населення дедалі частіше реалізується не лише через окремі укриття, а й через інтеграцію захищених просторів безпосередньо у структуру будівель. Такий підхід дозволяє скоротити час доступу до безпечного простору та підвищити рівень захищеності населення під час раптових загроз.

У Сінгапурі система захисту населення базується на обов'язковій інтеграції shelter-приміщень у житлові будинки. Нормативні документи Singapore Civil Defence Force передбачають household shelters у квартирах та storey shelters на рівні поверху, для яких встановлено чіткі технічні вимоги до конструкцій, прорізів і захисних елементів [17–19].

У практиці цивільного захисту Ізраїлю розміщення укриттів у межах будівлі забезпечує швидкий доступ населення до захисту під час ракетних обстрілів та інших надзвичайних ситуацій, а їхні конструктивні характеристики регламентуються вимогами системи цивільної оборони, зокрема рекомендаціями Israel Home Front Command [20]. В цій країні застосовується система інтегрованих захищених приміщень (Merhav Mugan), які розміщуються безпосередньо у структурі житлових і громадських будівель. Основними типами таких просторів є МАМАД (Merhav Mugan Dirati) – індивідуальне захищене приміщення у квартирі, МАМАК (Merhav Mugan Komati) – укриття колективного користування на рівні поверху, а також МАМАМ (Merhav Mugan Musadi) – захищені приміщення у громадських та інституційних будівлях. За відсутності таких приміщень допускається використання внутрішніх сходових кліток або внутрішніх кімнат будівлі, розташованих на максимальній відстані від зовнішніх стін та вікон [20–21].

При цьому технічні вимоги до проектування захищених приміщень в Ізраїлі регламентуються на рівні державних інституцій, однак не представлені у відкритому доступі як єдиний стандартизований документ. У зв'язку з цим аналіз ізраїльського досвіду ґрунтується на офіційних відкритих рекомендаціях та узагальнених джерелах, що відображають практику застосування системи захисту цивільного населення [20–21].

Досвід інтеграції захищених просторів у структуру житлових будівель на прикладі Ізраїлю та Сінгапуру був розглянутий у попередніх дослідженнях автора, де проаналізовано особливості організації укриттів, їх інтеграцію у житлове середовище та нормативні підходи до забезпечення захисту цивільного населення [22]. Зокрема, встановлено, що в Ізраїлі реалізовано модель обов'язкового включення захищених приміщень типу МАМАД до складу квартир, тоді як у Сінгапурі застосовується система захищених просторів, інтегрованих у житлові блоки та громадські будівлі.

У Норвегії рекомендації Norwegian Directorate for Civil Protection також передбачають використання підвальних приміщень або внутрішніх кімнат будівлі як безпечних зон у разі відсутності спеціалізованих укриттів [23]. Подібний підхід відображає ширше поширену у міжнародній практиці концепцію shelter-in-place.

У багатьох країнах поширеною є концепція shelter-in-place, що передбачає перебування людей у найближчому безпечному приміщенні замість евакуації під час небезпечної події. Аналіз міжнародних рекомендацій показує, що рівень безпеки простору визначається його розташуванням відносно зовнішніх стін, кількістю конструктивних бар'єрів та віддаленістю від фасадної оболонки будівлі. Найбезпечнішими вважаються внутрішні приміщення, розташовані у центральній частині будівлі або в підвальних рівнях, тоді як фасадні простори з великими світлопрорізами мають значно нижчий рівень захисту [24–28].

В Україні питання інтеграції захисних споруд у структуру будівель регламентується Кодексом цивільного захисту та державними будівельними нормами. Зокрема, ДБН В.2.2-5:2023 передбачає можливість створення споруд подвійного призначення із захисними властивостями протирадіаційних укриттів або сховищ у підземному просторі будівель та споруд [29, 30].

У попередніх дослідженнях автора розглянуто інтеграцію захищених приміщень у структуру будівель різного функціонального призначення. Зокрема, обґрунтовано формування безпечних зон у структурі поверху житлових будинків, запропоновано використання приміщень спальні у

зкладах дошкільної освіти як потенційних захищених просторів та проаналізовано організацію захисту пацієнтів і медичного персоналу у закладах охорони здоров'я [31–33].

Результати цих досліджень підтверджують доцільність інтеграції захищених приміщень у структуру будівель, однак питання їх конструктивно-просторової організації та ієрархії рівнів захисту в межах будівлі потребує подальшого дослідження.

Таким чином, аналіз наукових досліджень і нормативних документів дозволяє зробити кілька узагальнень:

1. характер пошкоджень будівель при вибухових навантаженнях значною мірою залежить від конструктивної системи будівлі;
2. найбільш уразливими є фасадні зони, тоді як внутрішні простори мають вищий рівень захищеності;
3. конструктивні ядра будівель та інші внутрішні елементи можуть виконувати функцію просторового екранування від зовнішніх впливів;
4. у міжнародній практиці захищені простори дедалі частіше інтегруються у структуру житлових будинків.

Водночас у більшості досліджень ці рішення розглядаються фрагментарно, без формування єдиної архітектурно-планувальної моделі їх взаємодії у структурі будівлі. Це визначає наукову прогалину, пов'язану з необхідністю системного дослідження ієрархії внутрішніх просторів за рівнем захищеності та розроблення багаторівневої моделі захищеного простору, інтегрованого у структуру багатопверхових житлових будинків.

Метою дослідження є формування конструктивно-просторової моделі захищених зон у структурі житлових і громадських будівель, що базується на диференціації внутрішніх просторів за рівнем захищеності та їх розташуванням відносно зовнішніх огорожувальних конструкцій і конструктивного ядра будівлі.

Методологія дослідження ґрунтується на поєднанні теоретичних і аналітичних методів, спрямованих на виявлення конструктивно-просторових закономірностей формування захищених зон у структурі будівель.

Застосовано метод аналізу наукових джерел, що дозволило узагальнити результати досліджень щодо впливу вибухових навантажень на будівлі, принципів підвищення стійкості конструкцій до динамічних впливів та сучасних підходів до організації захисних споруд цивільного захисту. Використано порівняльний аналіз міжнародних нормативних документів і практики інтеграції захищених просторів у будівлі.

Застосовано метод просторово-конструктивного аналізу будівель, який передбачає дослідження взаємозв'язку між конструктивною системою будівлі та просторовим розташуванням її елементів. Для формування моделі використано метод концептуального моделювання, що дозволив представити будівлю у вигляді ієрархії захищених зон з різним рівнем безпеки. Просторові взаємозв'язки між зонами проаналізовано за принципом концентричної організації будівлі, де ступінь захищеності підвищується від периферії до центральної частини.

Результати дослідження

На основі проведеного аналізу наукових джерел, міжнародного досвіду організації захисних споруд та нормативних вимог різних країн сформовано концепцію багаторівневої системи захищених просторів у структурі житлових і громадських будівель. Запропонований підхід базується на принципі просторової диференціації рівня захищеності приміщень залежно від їхнього розташування у структурі будівлі та конструктивних характеристик огорожувальних елементів.

У результаті дослідження розроблено багаторівневу конструктивно-просторову модель безпеки будівлі, що описує ієрархічну організацію простору за рівнем захисту від зовнішніх уражальних факторів. Модель базується на принципі багаторівневої організації простору, у якій конструкції будівлі розглядаються як система послідовних захисних бар'єрів, що зменшують вплив вибухової хвилі, уламків та локальних руйнувань конструкцій (рис. 1).

На відміну від традиційних підходів, що передбачають створення окремих укриттів або спеціалізованих захисних приміщень, запропонована модель розглядає будівлю як інтегровану багаторівневу систему захисту, у якій кожна просторово-функціональна зона виконує роль

додаткового демпферного шару. У такій системі рівень захищеності поступово зростає від периферії будівлі до її центральної частини.

Просторова структура будівлі в межах цієї моделі формується у вигляді концентричних зон, кожна з яких має різний рівень захисту. Умовно можна виділити кілька просторових рівнів безпеки, що послідовно підвищують захищеність від фасадної частини будівлі до її центрального ядра:

1. Sacrificial façade layer — жертвний фасадний шар
2. Фасадна зона
3. Буферна зона
4. Внутрішня зона підвищеної безпеки
5. Проміжна (комунікаційна зона)
6. Захищене конструктивне ядро

У багаторівневій системі безпеки будівлі зовнішня зона може розглядатися як жертвний фасадний шар (sacrificial façade layer), який виконує функцію первинного бар'єра між зовнішнім середовищем і основними конструкціями будівлі.

У зовнішній частині будівлі формується так званий **жертвний фасадний шар (sacrificial façade layer)**, який виконує функцію первинного бар'єра між зовнішнім середовищем та основними конструкціями будівлі. Основною характеристикою такого шару є здатність взяти на себе первинний вплив уражальних факторів – ударної хвилі, уламків та локальних навантажень і частково деформуватися або руйнуватися, зменшуючи передачу енергії на основний каркас будівлі.

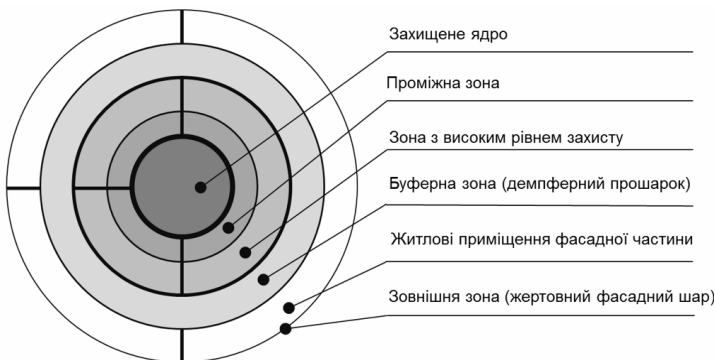


Рис. 1. Багаторівнева конструктивно-просторова модель безпеки

тими конструкціями (металевими або композитними), що формують дистанційний захисний шар перед основною площиною фасаду;

– перфорованими або решітчастими фасадними панелями, які можуть виконувати роль зовнішнього захисного екрана.

Такі елементи створюють додатковий просторовий бар'єр перед основною конструкцією будівлі та можуть частково розсіювати енергію вибухової хвилі або затримувати фрагменти, що зменшує навантаження на несучі конструкції фасаду. У цьому контексті фасадні системи – балкони, лоджії, вентилявані фасади або решітчасті екрани розглядаються не лише як архітектурні чи кліматичні елементи, але й як перший рівень багаторівневої системи захисту будівлі.

Безпосередньо біля зовнішніх стін розташовується фасадна зона, яка найбільше піддається впливу вибухової хвилі та уламків. У житлових будинках у цій зоні можуть розміщуватися вітальні або кабінети, а в громадських будівлях – навчальні приміщення, робочі кабінети або комунікаційні простори (коридори, вестибюлі тощо).

Наступним рівнем є буферна зона, що виконує функцію демпферного прошарку між зовнішніми та внутрішніми просторами будівлі. Ця зона в разі розміщення робочих або навчальних приміщень у фасадній зоні може бути організована у вигляді коридорів, комунікаційних галерей або повітряного прошарку між конструкціями, шару легкого або пористого бетону.

У сучасній архітектурній практиці такий шар може формуватися різними фасадними елементами, зокрема:

– застаканими балконами або лоджіями, які створюють додатковий повітряний прошарок між фасадом і внутрішніми приміщеннями;

– вентиляваними фасадними системами, де між облицюванням і основною стіною утворюється повітряний зазор;

– екранувальними решітчастими

Основна функція цієї зони полягає у частковому гасінні та розсіюванні енергії вибухової хвилі, а також у зменшенні передачі динамічного навантаження на внутрішні несучі конструкції.

Приміщення, розташовані у внутрішній частині плану будівлі, мають вищий рівень безпеки завдяки віддаленості від фасадів та наявності кількох захисних просторових шарів. У різних типах будівель такими приміщеннями можуть бути житлові кімнати (дитячі, спальні), внутрішні приміщення навчальних закладів, палати та операційні блоки лікарень, спальні в дитячих садочках, а також інші функціональні простори, що потребують підвищеного рівня захисту [31 – 33].

Найвищий рівень захищеності у структурі будівлі має **конструктивне ядро**, яке зазвичай включає сходові клітки, ліфтові шахти, інженерні комунікації, а також ліфтові холи та додаткові приміщення, що можуть використовуватися як тимчасові безпечні простори під час підвищеного рівня загрози. Конструктивне ядро, як правило, формується з монолітних або масивних залізобетонних стін підвищеної товщини, що забезпечує високий рівень просторової жорсткості будівлі. Завдяки центральному розташуванню та значній міцності огорожувальних конструкцій ці простори можуть розглядатися як зони підвищеної захищеності.

Таким чином, будівля розглядається не як сукупність окремих приміщень, а як система послідовних просторових бар'єрів, які зменшують вплив уражальних факторів. Кожен наступний рівень виконує функцію додаткового захисного шару, що послаблює дію вибухової хвилі, уламків або локальних руйнувань конструкцій.

Універсальність запропонованої моделі полягає в тому, що рівні захисту визначаються не функцією приміщень, а їхнім положенням у структурі будівлі та рівнем конструктивної захищеності. Це дозволяє застосовувати модель для різних типів будівель: житлових, освітніх, медичних, адміністративних або торговельних.

На представленій схемі умовно виділені рівні захисту, що дозволяє детально відобразити поступове підвищення безпеки від фасаду до центральної частини будівлі. Водночас у практичному проектуванні кількість зон може бути зменшена шляхом об'єднання окремих проміжних рівнів. Така адаптація не змінює принципу багаторівневої системи захисту, а лише спрощує її використання у типових архітектурно-планувальних рішеннях.

Для оцінки потенційного рівня захищеності різних приміщень у структурі житлового будинку запропоновано використовувати індекс захищеності приміщення. Загальний вигляд індексу може бути представлений у вигляді:

$$I_z = w_1 K_d + w_2 K_b + w_3 K_c + w_4 K_s + w_5 K_o,$$

де K_d – глибина розташування приміщення відносно фасаду будівлі; K_b – кількість конструктивних бар'єрів між приміщенням та зовнішнім середовищем; K_c – конструктивна міцність огорожувальних елементів; K_s – просторове розташування приміщення у структурі будівлі; K_o – наявність додаткових захисних елементів; w_1, \dots, w_5 – вагові коефіцієнти.

У межах цього дослідження індекс використовується переважно як аналітичний інструмент для порівняльної оцінки різних просторових зон будівлі без введення конкретних числових значень параметрів.

Для будівель підвищеної значущості багаторівнева модель може реалізовуватися через спеціальні конструктивні системи, зокрема шляхом відокремлення зовнішнього та внутрішнього каркасів будівлі із застосуванням демпфуючих елементів. Детальний аналіз таких конструктивних рішень потребує окремого дослідження.

Основні принципи багаторівневої просторово-ієрархічної моделі

Аналіз результатів дослідження дозволив сформулювати три основні принципи організації захищених просторів у структурі будівлі.

1. Принцип просторової ієрархії захисту.

Рівень захищеності приміщень визначається їх положенням у просторовій структурі будівлі. Захист поступово зростає від фасадних зон до центрального конструктивного ядра.

2. Принцип багаторівневості захисних бар'єрів.

Будівля розглядається як система послідовних просторових і конструктивних шарів, кожен з яких частково зменшує вплив уражальних факторів, створюючи ефект поступового демпфування навантажень.

3. Принцип інтегрованої архітектурної безпеки.

Функції захисту інтегруються безпосередньо в об'ємно-планувальну та конструктивну структуру будівлі, що дозволяє підвищувати рівень безпеки без необхідності створення окремих спеціалізованих укриттів у кожному приміщенні.

Висновки

У роботі запропоновано концепцію конструктивно відокремленого ядра будівлі як центрального елемента системи захищених просторів та сформовано багаторівневу модель архітектурної безпеки, що описує ієрархію захищених зон у структурі житлових і громадських будівель. Обґрунтовано роль перехідних (буферних) просторових зон як елементів, що зменшують передачу вибухових навантажень на внутрішні частини будівлі. Запропоновано індекс оцінки рівня захищеності простору, який може використовуватися для порівняльного аналізу різних частин будівлі.

Запропонований підхід дозволяє розглядати будівлю не лише як конструктивну систему, що протидіє динамічним навантаженням, але і як просторову систему організації безпеки, у якій різні частини будівлі мають різний рівень потенційної захищеності. Це створює можливість інтеграції захисних функцій у структуру будівель без необхідності створення спеціалізованих укриттів у кожному окремому приміщенні.

Отримані результати можуть бути використані у проєктній практиці під час формування об'ємно-планувальних і конструктивних рішень житлових та громадських будівель з урахуванням вимог безпеки; у дослідженнях з оцінки вразливості будівель, де запропонований індекс захищеності може застосовуватися як аналітичний інструмент для порівняльного аналізу різних просторових зон будівлі; у розробленні рекомендацій щодо модернізації наявного житлового фонду, зокрема шляхом використання внутрішніх конструктивних зон будівель як потенційних просторів підвищеної безпеки; а також у подальших дослідженнях, присвячених архітектурній типології захищених приміщень та інтеграції захисних просторів у житлове середовище.

Запропонована концепція може розглядатися як теоретична основа для формування нових підходів до організації захищених просторів у будівлях різного функціонального призначення та розвитку системи цивільного захисту в умовах сучасних воєнних ризиків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ngo T., Mendis P., Gupta A., Ramsay J.* Blast loading and blast effects on structures – an overview. // *Electronic Journal of Structural Engineering.* – 2007. Special issue. – P. 76–91.
2. *Draganić H., Sigmund V.* Blast loading on structures. // *Technical Gazette.* – 2012. – Vol. 19, – № 3. – P. 643–652.
3. *Cormie D., Mays G., Smith P.* Blast Effects on Buildings. 2nd ed. London : Thomas Telford, – 2009.
4. *Verma S., Choudhury M., Saha P.* Blast resistant design of structure. // *International Journal of Research in Engineering and Technology.* – 2015. – Vol. 4, Special issue 13. – P. 64–70. – DOI: 10.15623/ijret.2015.0425010
5. *Іванченко Г. М., Гетун Г. В., Безклубенко І. С., Соломін А. В., Постернак О. М.* Вплив вибухових навантажень на будівлі та споруди цивільного захисту населення // *Опір матеріалів і теорія споруд.* – 2023. – № 111. – С. 39–48. – DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.39-48
6. *Getun H. V., Bezklubenko I. S., Solomin A. V.* Airblast wave impact on protective shelters. // *Strength of Materials and Theory of Structures.* – 2020. – № 105. – P. 133–144. – DOI: 10.32347/2410-2547.2020.105.133-144
7. *Getun H. V., Bezklubenko I. S., Solomin A. V.* Influence of air shock wave on buildings and structures. // *Strength of Materials and Theory of Structures.* – 2020. – № 105. – P. 179–191. – DOI: 10.32347/2410-2547.2020.105.179-191
8. *Luccioni B. M., Ambrosini R. D., Danesi R. F.* Analysis of building collapse under blast loads. // *Engineering Structures.* – 2004. – Vol. 26, № 1. – P. 63–71. – DOI: 10.1016/j.engstruct.2003.08.011
9. *Toy A. T., Sevim B.* Structural response of multi-story building subjected to blast load. // *Journal of Structural Engineering&Applied Mechanics.* – 2022. – № 5(1). – P. 13–21. – DOI: 10.31462/jseam.2022.01013021
10. *Masi F., Stefanou I., Maffi-Berthier V.* Scaling laws for the rigid-body response of masonry structures under blast loads. // *Journal of Engineering Mechanics.* – 2021. – Vol. 147, – № 10. – DOI: doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001986
11. *Bontempi F.* Progressive collapse of structures. // *Structure and Infrastructure Engineering.* – 2011. – Vol. 7, – № 4. – P. 323–332. – DOI: 10.1080/15732479.2010.532635
12. *Fesun I. K., Vabishchevich M. O., Lukashovich D. Y.* Analysis of foreign experience in research cases of progressive collapse of buildings and structures. // *Building structures.* – 2024. – № 10. – P. 45–53. – DOI: 10.31650/2786-6696-2024-10-45-53

13. *Aimaiti Y., Sanon C., Koch M., Baise L., Moaveni B.* War related building damage assessment in Kyiv, Ukraine using Sentinel-1 radar and Sentinel-2 optical images. // *RemoteSensing*. – 2022. – Vol. 14. – № 24. – DOI: 10.3390/rs14246239
14. *Табаркевич Н., Сергійчук В., Белоконь А., Табаркевич О.* Особливості обстеження та оцінки технічного стану житлового будинку // *Наука та будівництво*. – 2023. – Т. 35. – № 1. – С. 27–42 – DOI: 10.33644/2313-6679-1-2023-4
15. *Molodid O. S., Kovalchuk O. Yu., Skoshko V. I., Plokhuta R. O., Molodid O. O., Musiaka I. V.* Inspection of buildings and structures damaged as a result of hostilities on the example of Borodianka. // *Strength of Materials and Theory of Structures* – 2023. – № 110. – P. 328–343. – DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.328-343
16. *Лісеній О., Глуховський В., Мар'єнков М. та ін.* Обстеження, оцінка технічного стану та умови відновлення житлового будинку на проспекті В. Лобановського, 6-А в м. Києві, пошкодженого внаслідок воєнних дій // *Наука та будівництво*. – 2022. – № 3–4. – С. 55–68. – DOI: 10.33644/2313-6679-34-2022-6
17. Civil Defence Shelter Act 1997 – URL: <https://sso.agc.gov.sg/act/cdsa1997> (дата звернення: 16.03.2026).
18. Technical requirements for household shelters – URL: [SingaporeCivilDefenceForce](https://www.civildefence.gov.sg/technical-requirements-for-household-shelters). Singapore, 2023.
19. Technical requirements for storey shelters – URL: [SingaporeCivilDefenceForce](https://www.civildefence.gov.sg/technical-requirements-for-storey-shelters). Singapore, 2021.
20. Home Front Command. Choosing a protectivespace – URL: <https://www.idf.il/en/mini-sites/home-front-command/choosing-a-protective-space/> (дата звернення: 16.03.2026).
21. Merkhav Mugaṅ (Protected Space) – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Merkhav_Mugaṅ (дата звернення: 16.03.2026).
22. *Жидкова Т. В., Чепурна С. М.* Організація захисту цивільного населення // *Містобудування та територіальне планування*. – 2022. № 80. – С. 191–202. – DOI: 10.32347/2076-815x.2022.80.191-202
23. Norwegian Directorate for Civil Protection. Places to stay in a national emergency URL: <https://www.dsb.no> (дата звернення: 16.03.2026).
24. Federal Emergency Management Agency. FEMA 453: Design guidance for shelters and saferooms URL: <https://www.wbdg.org/FFC/DHS/fema453.pdf> (дата звернення: 16.03.2026).
25. Federal Emergency Management Agency. Shelter-in-place for residential homes... URL: <https://apps.usfa.fema.gov/pdf/efop/efo36724.pdf> (дата звернення: 16.03.2026).
26. Centers for Disease Control and Prevention. Shelter-in-place for a chemical emergency URL: <https://www.cdc.gov/chemical-emergencies/response/shelter-in-place.html> (дата звернення: 16.03.2026).
27. CFA Victoria. A best practice approach to shelter-in-place URL: https://www.cfa.vic.gov.au/ArticleDocuments/533/sip_bestpractice.pdf (дата звернення: 16.03.2026).
28. He Z. Decision-making between evacuation and shelter-in-place in multi-hazard chemical accidents. *Chemical Engineering Transactions*. 2025.
29. ДБН 2.2-5:2023 : Захисні споруди цивільного захисту – [Чинний від 2023-11-01]. Київ: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023 120 с.
30. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI URL: Верховна Рада України. <https://zakon.rada.gov.ua/go/5403-17> (дата звернення: 16.03.2026).
31. *Жидкова Т. В.* Безпечні зони на поверсі житлових будинків. // *Теорія та практика дизайну*. – 2023. – Вип. 29–30. – С. 55–62. – DOI: 10.32782/2415-8151.2023.29-30.6
32. *Zhydkova T.* Volume-planning solutions of pre-school education institutions // *Modern Construction and Architecture*. – 2023. – № 5. – P. 9–15. – DOI: 10.31650/2786-6696-2023-5-9-15
33. *Жидкова Т. В.* Методи організації захисту пацієнтів // *Теорія та практика дизайну*. – 2024. Вип. 33. – С. 34–40. – DOI: 10.32782/2415-8151.2024.33.3

REFERENCES

1. *Ngo T., Mendis P., Gupta A., Ramsay J.* Blast loading and blast effects on structures – an overview. // *Electronic Journal of Structural Engineering*. – 2007. Special issue. – P. 76–91.
2. *Draganić H., Sigmund V.* Blast loading on structures. // *Technical Gazette*. – 2012. – Vol. 19. – № 3. – P. 643–652.
3. *Cormie D., Mays G., Smith P.* Blast Effects on Buildings. 2nd ed. London : Thomas Telford, – 2009.
4. *Verma S., Choudhury M., Saha P.* Blast resistant design of structure. // *International Journal of Research in Engineering and Technology*. – 2015. – Vol. 4, Special issue 13. – P. 64–70. – DOI: 10.15623/ijret.2015.0425010
5. *Ivanchenko H. M., Getun H. V., Bezklubenko I. S., Solomin A. V., Posternak O. M.* Vplyv vybukhovykh navantazhen na budivli ta sporudy tsyvilnoho zhakhystu naseleння (Influence of explosive loads on buildings and structures of the population civil protection) // *Strength of Materials and Theory of Structures*. – 2023. – No. 111. – P. 39–48. – DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.39-48
6. *Getun H. V., Bezklubenko I. S., Solomin A. V.* Airblast wave impact on protective shelters. // *Strength of Materials and Theory of Structures*. – 2020. – № 105. – P. 133–144. – DOI: 10.32347/2410-2547.2020.105.133-144
7. *Getun H. V., Bezklubenko I. S., Solomin A. V.* Influence of air shock wave on buildings and structures. // *Strength of Materials and Theory of Structures*. – 2020. – № 105. – P. 179–191. – DOI: 10.32347/2410-2547.2020.105.179-191
8. *Luccioni B. M., Ambrosini R. D., Danesi R. F.* Analysis of building collapse under blast loads. // *Engineering Structures*. – 2004. – Vol. 26, № 1. – P. 63–71. – DOI: 10.1016/j.engstruct.2003.08.011
9. *Toy A. T., Sevim B.* Structural response of multi-story building subjected to blast load. // *Journal of Structural Engineering&Applied Mechanics*. – 2022. – № 5(1). – P. 13–21. – DOI: 10.31462/jseam.2022.01013021
10. *Masi F., Stefanou I., Maffi-Berthier V.* Scaling laws for the rigid-body response of masonry structures under blast loads. // *Journal of Engineering Mechanics*. – 2021. – Vol. 147, – № 10. – DOI: doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001986
11. *Bontempi F.* Progressive collapse of structures. // *Structure and Infrastructure Engineering*. – 2011. – Vol. 7, – № 4. – P. 323–332. – DOI: 10.1080/15732479.2010.532635
12. *Fesun I. K., Vabishchevich M. O., Lukashevych D. Y.* Analysis of foreign experience in research cases of progressive collapse of buildings and structures. // *Building structures*. – 2024. – № 10. – P. 45–53. – DOI: 10.31650/2786-6696-2024-10-45-53

13. *Aimaiti Y., Sanon C., Koch M., Baise L., Moaveni B.* War related building damage assessment in Kyiv, Ukraine using Sentinel-1 radar and Sentinel-2 optical images. // *RemoteSensing*. – 2022. – Vol. 14. – № 24. – DOI: 10.3390/rs14246239
14. *Tabarkevych N., Serhiichuk V., Bielokon A., Tabarkevych O.* Osoblyvosti obstezhennia ta otsinky tekhnichnoho stanu zhytloвого будинку, poshkodzhenoho vnaslidok viiskovykh dii, shchodo yoho prydatnosti do podalshoi ekspluatatsii (Details of the survey and assessment of the state of residential building damaged dueto military actions, suitability for further operation) // *Science and Construction*. – 2023. – Vol. 35, No. 1. – DOI: 10.33644/2313-6679-1-2023-4
15. *Molodid O. S., Kovalchuk O. Yu., Skoshko V. I. et al.* Inspection of buildings and structures damaged as a result of hostilities on the example of Borodianka // *Strength of Materials and Theory of Structures*. – 2023. – No. 110. – P. 328–343. – DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.328-343
16. *Lisenyi O., Hlukhovskiyi V., Marienkov M. et al.* Obstezhennia, otsinka tekhnichnoho stanu ta umovy vidnovlennia zhytloвого будинку na prospekti V. Lobanovskoho, 6-A v m. Kyievi, poshkodzhenoho vnaslidok voiennykh dii (Survey, assessment of technical condition and suitability for further operation of the residential building at v. Lobanovsky avenue, 6-a, Kyiv, which was damaged dueto military activities) // *Science and Construction*. – 2022. – No. 3–4. – P. 55–68. – DOI: 10.33644/2313-6679-34-2022-6
17. Civil Defence Shelter Act 1997 – URL: <https://sso.agc.gov.sg/act/cdsa1997> (дата звернення: 16.03.2026).
18. Technical requirements for household shelters – URL: [SingaporeCivilDefenceForce](https://www.singaporecivildefenceforce.gov.sg/). Singapore, 2023.
19. Technical requirements for storey shelters – URL: [SingaporeCivilDefenceForce](https://www.singaporecivildefenceforce.gov.sg/). Singapore, 2021.
20. Home Front Command. Choosing a protectivespace – URL: <https://www.idf.il/en/mini-sites/home-front-command/choosing-a-protective-space/> (дата звернення: 16.03.2026).
21. Merkhav Mugan (Protected Space) – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Merkhav_Mugan (дата звернення: 16.03.2026).
22. *Zhydkova T. V., Chepurna S. M.* Orhanizatsiia zakhystu tsyvilnoho naselennia v bahatopoverkhovykh zhytlovykh budynkakh (Organization for the protection of civil population in multi-storey residential buildings) // *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*. – 2022. – No. 80. – P. 191–202. – DOI: 10.32347/2076-815x.2022.80.191-202
23. Norwegian Directorate for Civil Protection. Places to stay in a national emergency URL: <https://www.dsb.no> (дата звернення: 16.03.2026).
24. Federal Emergency Management Agency. FEMA 453: Design guidance for shelters and saferooms URL: <https://www.wbdg.org/FFC/DHS/fema453.pdf> (дата звернення: 16.03.2026).
25. Federal Emergency Management Agency. Shelter-in-place for residential homes...URL: <https://apps.usfa.fema.gov/pdf/efop/efo36724.pdf> (дата звернення: 16.03.2026).
26. Centers for Disease Control and Prevention. Shelter-in-place for a chemical emergency URL: <https://www.cdc.gov/chemical-emergencies/response/shelter-in-place.html> (дата звернення: 16.03.2026).
27. CFA Victoria. A best practice approach to shelter-in-place URL: https://www.cfa.vic.gov.au/ArticleDocuments/533/sip_bestpractice.pdf (дата звернення: 16.03.2026).
28. He Z. Decision-making between evacuation and shelter-in-place in multi-hazard chemical accidents. *Chemical Engineering Transactions*. 2025.
29. DBN V.2.2-5:2023. Budynky i sporudy. Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu. (Civil protection shelters) – Kyiv : Minregion, 2023.
30. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy (Civil Protection Code of Ukraine). Dokument 5403-VI, chynnyi, potochna redaktsiia vid 19.04.2024. (access 12.07.2024) [inUkrainian]. <https://zakon.rada.gov.ua/go/5403-17>
31. *Zhydkova T. V.* Bezpechni zony na poverkhi zhytlovykh budynkiv (Safe zones on residential building floors) // *Teoriia ta praktyka dyzainu*. – 2023. – No. 29–30. – P. 55–62. – DOI: 10.32782/2415-8151.2023.29-30.6
32. *Zhydkova, T.* Volume-planning solutions of preschool institutions with shelters. // *Modern Construction and Architecture*, – 2023. – 5 – 9–15. – DOI: 10.31650/2786-6696-2023-5-9-15
33. *Metody orhanizatsii zakhystu patsientiv ta medychnoho personalu v zakladakh okhorony zdorovia (Methods of organizing the protection of patients and medical staff in health care facilities) // Theory and Practice of Design*. – 2024. – No. 33. – P. 34–40. – DOI: /10.32782/2415-8151.2024.33.3

Стаття надійшла 16.03.2026

Жидкова Т.В.

БАГАТОРІВНЕВА ПРОСТОРОВО-ІЄРАРХІЧНА МОДЕЛЬ ЗАХИЩЕНИХ ЗОН БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Зростання воєнних загроз і підвищення ризиків для цивільного населення актуалізують проблему підвищення рівня безпеки будівель та інтеграції захисних функцій у їхню просторову структуру. Традиційно питання захисту населення розглядається переважно у контексті створення спеціалізованих захисних споруд або підвищення міцності окремих конструктивних елементів. Водночас просторово-конструктивна організація будівлі як фактор формування потенційно захищених зон досліджена недостатньо. Метою дослідження є розроблення багаторівневої конструктивно-просторової моделі захищених зон у структурі житлових і громадських будівель.

У дослідженні використано методи аналізу наукових джерел, порівняльного аналізу міжнародних нормативних документів та узагальнення практики організації захисних просторів у різних країнах. Проаналізовано результати досліджень впливу вибухових навантажень на будівлі, принципи підвищення стійкості конструкцій до динамічних впливів, а також міжнародний досвід інтеграції захищених просторів у структуру будівель. Особливу увагу приділено нормативним вимогам і практичним рішенням, що застосовуються у країнах НАТО, зокрема в Ізраїлі, Сінгапурі, Фінляндії, Швейцарії, Норвегії та Великій Британії.

У результаті дослідження сформовано концепцію багаторівневої конструктивно-просторової моделі захищених зон у будівлі, яка базується на диференціації внутрішнього простору будівлі залежно від його розташування відносно зовнішньої оболонки та конструктивного ядра. Запропонована модель передбачає виділення кількох просторових рівнів захищеності: зовнішньої оболонки будівлі, перехідних (буферних) зон, внутрішніх просторів та конструктивного ядра. Обґрунтовано роль конструктивно відокремленого ядра будівлі як центрального елемента системи захищених зон, а

також значення перехідних просторових прошарків, які можуть виконувати функцію додаткового конструктивного бар'єра між зовнішнім середовищем та внутрішніми зонами будівлі.

Для аналітичної оцінки потенційного рівня захищеності різних частин будівлі запропоновано індекс захищеності простору, що враховує просторове розташування приміщення, кількість конструктивних бар'єрів, характеристики огорожувальних конструкцій та близькість до конструктивного ядра будівлі. Запропонована модель має універсальний характер і може застосовуватися для аналізу житлових і громадських будівель, а також використовуватися як теоретична основа для подальших досліджень архітектурної типології захищених просторів і розроблення рекомендацій щодо підвищення безпеки будівель в умовах сучасних воєнних ризиків.

Ключові слова: безпека будівель, вибухові навантаження, конструктивне ядро будівлі, багаторівнева модель захисту, цивільний захист, житлові та громадські будівлі.

Zhydkova T. V.

MULTI-LAYERED SPATIAL–HIERARCHICAL MODEL OF PROTECTED ZONES IN BUILDINGS AND STRUCTURES

The growth of military threats and increased risks for the civilian population make the problem of increasing the level of security of buildings and integrating protective functions into their spatial structure more urgent. Traditionally, the issue of population protection is considered mainly in the context of creating specialized protective structures or increasing the strength of individual structural elements. At the same time, the spatial and structural organization of a building as a factor in the formation of potentially protected zones has not been studied sufficiently.

The purpose of the study is to develop a multi-level structural and spatial model of protected zones in the structure of residential and public buildings.

The study uses methods of analyzing scientific sources, comparative analysis of international regulatory documents and generalizing the practice of organizing protective spaces in different countries. The results of studies of the impact of explosive loads on buildings, the principles of increasing the resistance of structures to dynamic impacts, as well as international experience in integrating protected spaces into the structure of buildings are analyzed. Particular attention is paid to regulatory requirements and practical solutions used in NATO countries, in particular in Israel, Singapore, Finland, Switzerland, Norway and the United Kingdom.

As a result of the study, a concept of a multi-level structural-spatial model of protected zones in a building was formed, which is based on the differentiation of the internal space of the building depending on its location relative to the external shell and the structural core. The proposed model involves the allocation of several spatial levels of protection: the external shell of the building, transitional (buffer) zones, internal spaces and the structural core.

The role of the structurally separated core of the building as the central element of the system of protected zones is substantiated, as well as the value of transitional spatial layers, which can perform the function of an additional structural barrier between the external environment and the internal zones of the building.

For an analytical assessment of the potential level of protection of different parts of the building, a space protection index is proposed, which takes into account the spatial location of the room, the number of structural barriers, the characteristics of the enclosing structures and the proximity to the structural core of the building.

The proposed model is universal in nature and can be used for the analysis of residential and public buildings, as well as used as a theoretical basis for further research into the architectural typology of protected spaces and the development of recommendations for improving the security of buildings in the face of modern military risks.

Keywords: protected spaces, building safety, blastloads, structural core, civil protection, multi-level protection model, residential and public buildings.

УДК 69.059.4:725:728

Жидкова Т.В. Багаторівнева просторово-ієрархічна модель захищених зон будівель і споруд // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2026. – Вип. 116. – С. 460–469.

У статті запропоновано багаторівневу конструктивно-просторову модель захищених зон у структурі житлових і громадських будівель, що базується на диференціації внутрішнього простору будівлі залежно від його розташування відносно зовнішньої оболонки та конструктивного ядра.

Іл. 1. Бібліогр. 33 назв.

UDC 69.059.4:725:728

Zhydkova T. V. Multi-layered spatial–hierarchical model of protected zones in buildings and structures // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-&-Technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2026. – Issue 116. – P. 460-469.

The article proposes a multi-level structural–spatial model of protected zones within the structure of residential and public buildings, based on the differentiation of the internal building space depending on its location relative to the external envelope and the structural core.

Fig. 1. Ref. 33.

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри дизайну і графіки, ЖИДКОВА Тетяна Володимирівна

Адреса робоча: 03058, проспект Л. Гузара, 1, Київ, Національний Університет «Київський Авіаційний Інститут»

Роб. тел.: +38(044) 406-77-94 (приймальня)

E-mail: tetiana.zhydkova@npp.kai.edu.ua

ORCIDID: <http://orcid.org/0000-0001-7903-7073>