

А. Беспалова¹, О. Книш¹, О. Дашковська¹, К. Шевченко², А. Грищенко³

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна

²Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, Україна

³Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

СПОРУДИ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ПІД ЧАС ВОЄННИХ ДІЙ

У статті аналізується облаштування укриттів у багатофункціональних спорудах, зокрема підземних паркінгах, із врахуванням вибухових загроз. Аналіз демонструє переваги композитних матеріалів, таких як вуглецеве волокно, яке забезпечує високу міцність на розтяг, малу вагу, хімічну стійкість та легкість монтажу та ремонту

Ключові слова: споруди багатоцільового призначення, сховище, вибухова дія, вуглепластик, полімерні композиційні матеріали.

Постановка проблеми

Проблематика облаштування ефективних укриттів знову набула особливої актуальності, як це вже було в попередньому столітті. У контексті стрімкого розвитку засобів ведення бойових дій загроза для мирного населення охоплює не лише вибухові пристрої, але й можливе застосування хімічної зброї. Поточна ситуація в Україні висуває необхідність оперативного впровадження державою заходів щодо організації систем колективного захисту. Зокрема, потрібно:

– створювати нові укриття та модернізувати існуючі;

– переобладнувати заглиблені приміщення (підвали, цокольні поверхи) під функціональні сховища;

– впроваджувати сучасні конструктивні підходи до проєктування захисних споруд.

Укриття можуть бути автономними або інтегрованими у будівлі. Найбільш поширеним типом є вбудовані сховища, які зазвичай розташовуються у підвальних приміщеннях, що знижує рівень дії ударної хвилі.

Найдоцільнішим з економічної точки зору є переобладнання об'єктів подвійного призначення — наприклад, підземних автостоянок, станцій метрополітену та переходів, які в умовах надзвичайної ситуації можуть бути використані як укриття. (рис. 1).

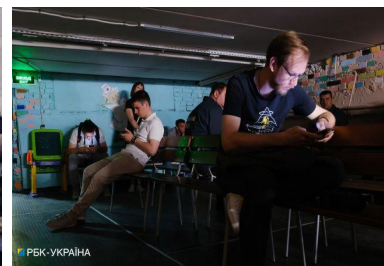
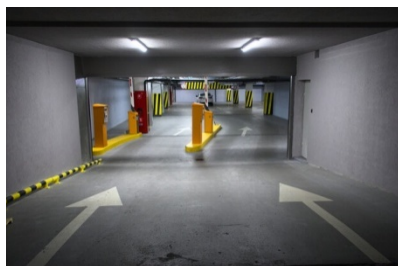


Рис. 1. Споруди подвійного призначення

Отже, важливим напрямком є облаштування сховищ у підземних паркінгах та цокольних рівнях будівель в умовах щільної міської забудови, а також розроблення шляхів підвищення надійності основних конструктивних елементів — колон і перекриттів, що забезпечить зниження ризику для життя та покращить роботу аварійно-рятувальних служб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні у багатьох країнах ведуться активні дослідження, присвячені конструктивним рішенням для укриттів. Особливо актуальними ці питання є у державах, де постійно існує ризик терористичних актів або воєнних дій.

У процесі аналізу закордонного досвіду [1–6] щодо проєктування захисних споруд цивільного

захисту виявлено, що ключовими параметрами, які враховуються при їхньому проєктуванні, є не тільки величина надлишкового тиску повітряної ударної хвилі та ефективність у зменшенні рівня іонізуючого випромінювання, а й стійкість конструкцій до безпосереднього влучання вибухонебезпечних предметів або їх уламків [7–10].

Суттєві розробки у сфері створення захисних споруд реалізуються, зокрема, в Ізраїлі, де з огляду на постійну загрозу ракетних обстрілів, широко розповсюджена практика облаштування так званих "безпечних кімнат" – МаМад. Ці кімнати, як правило, будуються із монолітного залізобетону, обладнуються герметичними вікнами та броньованими сталевими дверима, що забезпечує захист від вибухів і отруйних речовин. Ізраїльське законодавство вимагає наявності таких приміщень у кожному новозбудованому житловому будинку [7].

Проте адаптація ізраїльської моделі до українських умов не є прямолінійною через відмінності у типах загроз. Зокрема, з огляду на використання Російською Федерацією озброєнь з вищим ступенем руйнівної дії, необхідно провести додаткові дослідження щодо ефективності таких "безпечних кімнат" в умовах українського середовища. Також слід зазначити, що в Ізраїлі діють детально регламентовані технічні вимоги до таких споруд, зокрема щодо класу бетону, вибухозахисних дверей, систем вентиляції, що в Україні ще не імплементовані на загальнодержавному рівні.

У низці європейських країн, таких як Велика Британія, Данія, Норвегія та Федеративна Республіка Німеччина, розповсюджено застосування заглиблених об'єктів багатофункціонального призначення. Це можуть бути склади, спортивні зали, кафе, кінотеатри та інші об'єкти, які в умовах надзвичайних ситуацій оперативно переобладнуються у сховища. Такий підхід дозволяє мінімізувати витрати на будівництво окремих захисних споруд та підвищує оперативність заходів із цивільного захисту.

Окремий інтерес становить досвід Китаю, Куби та В'єтнаму, де держава активно залучає приватний сектор до створення інфраструктури, здатної виконувати функції укриттів – зокрема, підземних паркінгів або комерційних споруд.

З урахуванням цих міжнародних напрацювань, а також з огляду на національні завдання у сфері цивільного захисту, в Україні реалізується концепція освоєння підземного простору міських територій. Це передбачає зведення споруд подвійного призначення, які можуть використовуватись у

мирний час за первинним призначенням, але при необхідності – швидко трансформуються у захисні укриття.

Такий підхід відповідає стратегічним напрямкам державної політики щодо забезпечення готовності об'єктів цивільного захисту та є економічно доцільним.

Формулювання мети статті

Метою цього дослідження є відокремлення основних несучих конструктивних елементів укриттів і обґрунтування шляхів підвищення їх надійності.

Для реалізації поставленої мети передбачається:

– розроблення інженерних рішень щодо підсилення ключових конструктивних елементів (зокрема перекриттів та колон нижніх рівнів) із застосуванням вуглепластикових полотно або інших полімерних композиційних матеріалів у вузлах жорсткого з'єднання колон і ригелів.

Виклад основного матеріалу

Укриття, як правило, є окремими спеціалізованими спорудами, зведення яких потребує значних фінансових та інженерних ресурсів. Проте в умовах щільної міської забудови проблему забезпечення населення захисними спорудами можна частково розв'язати шляхом будівництва об'єктів подвійного призначення, у яких укриття інтегрується у функціональні частини будівлі. Такий підхід дозволяє істотно знизити витрати та раціонально використовувати площу, не відволікаючи її від основної експлуатаційної функції.

Відповідно до положень законодавства [11], основним видом захисної споруди є сховище – герметична конструкція, призначена для забезпечення тимчасового перебування людей у безпечних умовах під час впливу факторів надзвичайних ситуацій, бойових дій або терактів. Зокрема, під укриття можуть бути переобладнані цокольні рівні, підвальні приміщення, а також підземні паркінги, які в мирний час експлуатуються як елементи житлової або транспортної інфраструктури (рис. 2, 3).

Під час проєктування об'єктів подвійного призначення, що мають потенціал трансформації у сховища, необхідно дотримуватись ряду обов'язкових технічних вимог:

1. Необхідно заздалегідь передбачити конструктивні можливості для герметизації отворів при переході будівлі в режим укриття.



Рис. 2. Загальний вигляд житлової малоповерхової будівлі з підземним паркінгом у м. Одеса

2. Сховища повинні розміщуватись у безпосередній близькості до місць постійного перебування мешканців, що дозволяє скоротити час евакуації (наприклад, підземний паркінг може служити укриттям для жителів будинку, над яким він розташований).

3. Найбільш раціональною конструктивною схемою є монолітний залізобетонний каркас, який широко застосовується у сучасному житловому і громадському будівництві різної поверховості.

4. У випадку з малоповерховими житловими будинками доцільно передбачати автономні системи опалення (наприклад, газові котли у квартирах), щоб уникнути розміщення теплових пунктів у підвалах, оскільки останні непридатні для розміщення у приміщеннях укриттів.

5. Стіни таких приміщень мають бути виконані з вогнестійких матеріалів і покриті цементно-піщаним розчином під подальше фарбування.

6. Якщо товщина стін менше 50 см, необхідне додаткове утеплення.

7. Проектування сховища має передбачати організацію допоміжних функціональних зон (фільтровентиляційних приміщень, санвузлів, електрощитових, тамбурів-шлюзів, ДЕС тощо) з розрахунком площі укриття не менше ніж 0,5 м² на одну особу. Як показано на рис. 3, площа підземного паркінгу дає змогу забезпечити укриття всім мешканцям.

8. Планувальні рішення мають включати щонайменше два виходи (один з яких — аварійний) з обов'язковим поворотом під 90° або розміщенням спеціальних захисних екранів, як продемонстровано на рис. 2.

З огляду на специфіку динамічних навантажень, які виникають при вибухових впливах, **несучі та огорожувальні елементи** укриттів повинні бути розраховані не лише на стандартні статичні й тимчасові навантаження, а й на **еквівалентну дію динамічного імпульсу**. Такий розрахунок забезпечує здатність конструкції поглинати енергію вибуху, зменшуючи ризик руйнування шляхом її рівномірного розподілу по структурі.



Рис. 3. Позначення сховища у паркінгу спеціальною табличкою «Вхід у сховище» із напрямком руху

У каркасних конструкціях головними шляхами передавання навантажень є жорсткі вузли колон і ригелів, а отже, саме ці **стикові елементи** повинні бути максимально укріплені. Особливу увагу слід приділяти **нижнім поверхам**, які найбільше схильні до вибухового впливу через розташування ближче до джерела потенційної загрози.

Одним із ключових рішень є **використання додаткового армування в зонах згину та зсуву**. Для колон особливо нижнього ярусу це передбачає **безперервне армування** у місцях стиків, яке унеможливує крихке руйнування й забезпечує стійкість навіть при частковій втраті міцності бетону після вибуху.

Для значного підвищення вибухостійкості доцільно:

- обрамлювати колони сталевими кожухами;
- улаштовувати додаткові незалежні сталеві колони по периметру будівлі;
- укріплювати з'єднання колон і перекриттів за допомогою зовнішнього армування полімерними композиційними матеріалами.

Особливу роль у цьому процесі відіграють композити на основі вуглеволокон (вуглепластик). Для підвищення вибухостійкості колон доцільно:

- враховувати динамічні навантаження при проектуванні, особливо в зонах, де можливе пряме влучання;
- застосовувати композитні матеріали на основі вуглецевих волокон (вуглепластик), які мають високу межу міцності при розтягуванні, низьку вагу (в 4–5 разів менше, ніж сталь) та високу ефективність у стиснених умовах (наприклад, у підземних просторах).

Замість дорогих вуглепластиків можна застосовувати **альтернативні ПКМ**, зокрема: склопластик, органічне скло, полімерні суміші з анізотропними властивостями.

Особливістю застосування композитів є те, що їх можна використовувати як на етапі проектування, так і під час експлуатації об'єкта — зокрема, для посилення конструкцій у випадку підвищення ризику або пошкодження. Завдяки технології

нанесення армуючих полотен на епоксидну смолу можлива швидка модернізація об'єктів без демонтажу або значного втручання в існуючі системи (рис. 4).

Таким чином, комплексне використання конструктивних, матеріальних і планувальних

рішень дозволяє ефективно інтегрувати функцію захисту в сучасне будівництво, забезпечуючи стійкість, надійність і життєздатність споруд у надзвичайних умовах.

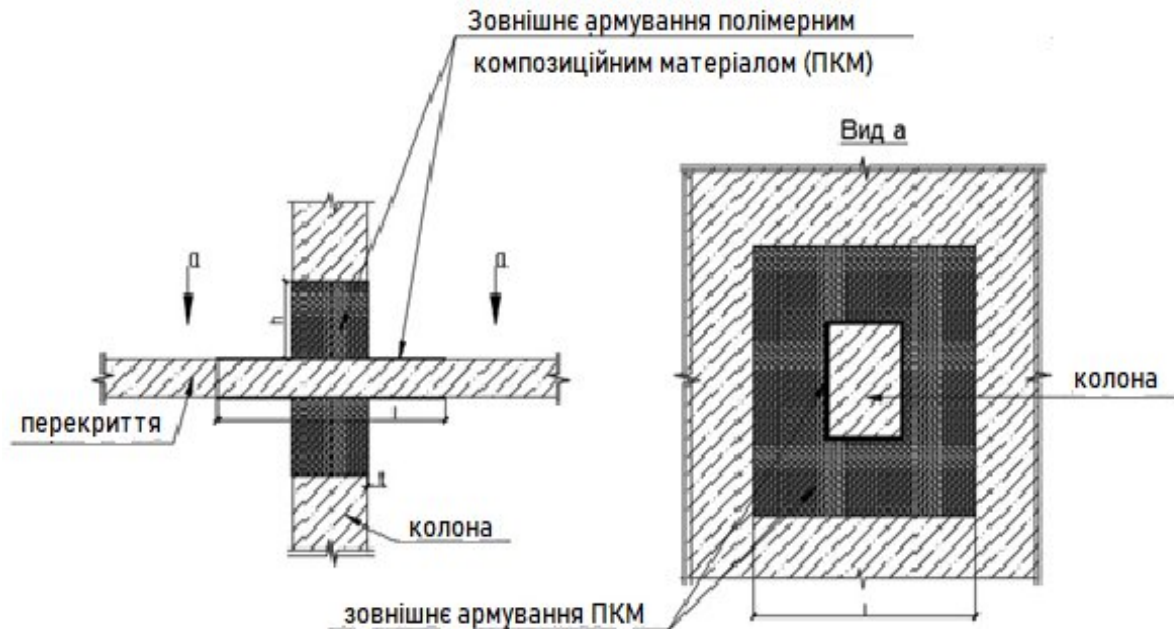


Рис. 4. Зовнішнє армування вуглепластиковим полотном з'єднання перекриття та колони

Композитні матеріали на основі вуглецевих волокон мають набагато більш високу міцність на розтягування, ніж арматурна сталь, причому їх питома вага в 4-5 разів менше, ніж у сталі. Звідси випливає важлива для практичних цілей перевага вуглеволокон над сталевими пластинами за співвідношенням «міцність / власна вага». Низька вага композитного матеріалу робить його установку і приєднання до конструкції, що посилюється, набагато більш простим і легким в порівнянні зі сталевими пластинами. Це особливо важливо при посиленні залізобетонних конструкцій у стиснених умовах, наприклад, у підземних спорудах, технічних приміщеннях будівель.

Композити значно підвищують несучу здатність елементів на розтяг, зсув та згин. У випадку високої вартості вуглепластика можливе використання альтернативних полімерних композицій (наприклад, склопластиків, органічного скла, інших ПКМ).

Композитні матеріали є ефективним засобом підсилення як нових, так і вже збудованих конструкцій. Їх легко монтувати, зокрема в обмежених умовах, що робить їх практичними для модернізації підземних об'єктів.

Висновки

1. Проведене дослідження підтвердило актуальність питання забезпечення населення сучасними укриттями, здатними протистояти сучасним загрозам, включаючи вплив вибухових хвиль та хімічних агентів.

2. Узагальнений міжнародний досвід (Ізраїль, країни ЄС, Азія) демонструє ефективність використання споруд подвійного призначення, які можуть бути переобладнані під укриття, що дозволяє суттєво скоротити час і витрати на будівництво спеціальних об'єктів.

3. Визначено, що ключову роль у підвищенні стійкості укриттів відіграє посилення основних несучих конструкцій – перекриттів і колон – особливо на нижніх поверхах.

4. Запропоновано низку інженерних рішень: посилення жорстких стиків колон і ригелів з використанням вуглепластикових матеріалів або полімерних композицій, а також додаткове обрамлення або дублювання колон сталевими елементами.

5. Встановлено, що композитні матеріали — зокрема вуглепластики — мають суттєві переваги в умовах експлуатації у щільних просторах, забезпечують високий рівень міцності та стійкості,

не вимагають додаткового захисту від корозії, легко відновлюються і можуть бути адаптовані до вже збудованих конструкцій [12, 13].

6. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку нормативних документів щодо застосування ПКМ у захисних спорудах та моделювання їх поведінки при дії багаторазових динамічних навантажень.

Література

1. Technical requirements for storey shelters SCDF from September 2015.
2. Technical requirements for household shelters SCDF from August 2012.
3. Israeli standards 5075. The Legal Standards for a Protected Area. Guidelines for Applying Protected Area Management Categories.
4. Specification for engineering design in protected spaces. Maritime Policy for Israel's Mediterranean Waters from May 2020, Israel. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/isr218689E.pdf> [in English]
5. Report of the detailed findings of the independent international Commission of inquiry on the protests in the Occupied Palestinian Territory. Specification for examining solutions for protection on the door of the protected space from 2018, Israel. <https://digitallibrary.un.org/record/3798961>.
6. Technical requirements for storey shelters SCDF from 31 December 2021. [https://www.scdf.gov.sg/docs/default-source/cd-shelter-\(docs\)/technical-requirements-for-storey-shelters-2021.pdf](https://www.scdf.gov.sg/docs/default-source/cd-shelter-(docs)/technical-requirements-for-storey-shelters-2021.pdf) [in English].
7. The safest room in the house: website. Retrived from: <https://www.timesofisrael.com/the-safest-room-in-the-house/> [in English].
8. The do's and dont's of the mamad: website. Retrived from: <https://derorit.co.il/the-dos-and-donts-of-the-mamad/> [in English].
9. What Is a Safe Room? The Moat Around Your Castle Has Gone High-Tech: website. Retrived from: <https://www.thoughtco.com/safe-room-what-is-a-safe-room-177327> [in English].
10. Dosvid Izrayilyu shchodo formuvannya stratehiyi natsional'noyi bezpeky. Natsional'nyy instytut stratehichnykh doslidzhen'. <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/natsionalna-bezpeka/dosvid-izrayilyu-shchodo-formuvannya-stratehiyi-natsionalnoyi> [in Ukrainian].
11. Kodeks tsyvil'noho zakhystu Ukrayiny, zi zminamy № 3379-IX vid 06.09.2023. [in Ukrainian].
12. Pichandi, S., Rana, S., Oliveira, D. and Fanguero, R. [et al.] (2013). Fibrous and composite materials for blast protection of structural elements. *Journal of reinforced plastics and composites*, 32(19), 1477–1500. URL: https://www.researchgate.net/publication/260896919_Fibrous_and_composite_materials_for_blast_protection_of_structural_elements_-_A_state-of-the-art_review
13. Jomy, P. [et al.]. (2010). Architectural and structural design blast resistant buildings: a seminar report submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of Bachelor of Technology in civil engineering. *Sreepathy institute of management & technology Vavanoor*. Palakkad. URL: <http://www.slideshare.net/pauljomy92/architectural-and-structural-design-of-blast-resistant-buildings-report>.
4. Specification for engineering design in protected spaces. Maritime Policy for Israel's Mediterranean Waters from May 2020, Israel. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/isr218689E.pdf> [in English]
5. Report of the detailed findings of the independent international Commission of inquiry on the protests in the Occupied Palestinian Territory. Specification for examining solutions for protection on the door of the protected space from 2018, Israel. <https://digitallibrary.un.org/record/3798961>.
6. Technical requirements for storey shelters SCDF from 31 December 2021. [https://www.scdf.gov.sg/docs/default-source/cd-shelter-\(docs\)/technical-requirements-for-storey-shelters-2021.pdf](https://www.scdf.gov.sg/docs/default-source/cd-shelter-(docs)/technical-requirements-for-storey-shelters-2021.pdf) [in English].
7. The safest room in the house: website. Retrived from: <https://www.timesofisrael.com/the-safest-room-in-the-house/> [in English].
8. The do's and dont's of the mamad: website. Retrived from: <https://derorit.co.il/the-dos-and-donts-of-the-mamad/> [in English].
9. What Is a Safe Room? The Moat Around Your Castle Has Gone High-Tech: website. Retrived from: <https://www.thoughtco.com/safe-room-what-is-a-safe-room-177327> [in English].
10. Dosvid Izrayilyu shchodo formuvannya stratehiyi natsional'noyi bezpeky. Natsional'nyy instytut stratehichnykh doslidzhen'. <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/natsionalna-bezpeka/dosvid-izrayilyu-shchodo-formuvannya-stratehiyi-natsionalnoyi> [in Ukrainian].
11. Kodeks tsyvil'noho zakhystu Ukrayiny, zi zminamy № 3379-IX vid 06.09.2023. [in Ukrainian].
12. Pichandi, S., Rana, S., Oliveira, D. and Fanguero, R. [et al.] (2013). Fibrous and composite materials for blast protection of structural elements. *Journal of reinforced plastics and composites*, 32(19), 1477–1500. URL: https://www.researchgate.net/publication/260896919_Fibrous_and_composite_materials_for_blast_protection_of_structural_elements_-_A_state-of-the-art_review
13. Jomy, P. [et al.]. (2010). Architectural and structural design blast resistant buildings: a seminar report submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of Bachelor of Technology in civil engineering. *Sreepathy institute of management & technology Vavanoor*. Palakkad. URL: <http://www.slideshare.net/pauljomy92/architectural-and-structural-design-of-blast-resistant-buildings-report>.

References

1. Technical requirements for storey shelters SCDF from September 2015. [in English].
2. Technical requirements for household shelters SCDF from August 2012. [in English].
3. Israeli standards 5075. The Legal Standards for a Protected Area. Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. [in English].

Рецензент: д-р. техн. наук., проф. Ю.А. Отрош, Національний університет цивільного захисту України, Україна.

Автор: БЕСПАЛОВА Алла Вікторівна
доктор технічних наук, професор, професор кафедри організації будівництва і охорони праці
Одеська державна академія будівництва і архітектури
E-mail – bespalovaav@odaba.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3713-0610>

Автор: КНИШ Олексій Ігорович
кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри організації будівництва і охорони праці
Одеська державна академія будівництва і архітектури
E-mail – knyshoi@odaba.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3449-4112>

Автор: ДАШКОВСЬКА Ольга Петрівна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації будівництва і охорони праці Одеська державна академія будівництва і архітектури
E-mail – dashkovskayaop@odaba.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9980-023X>

Автор: ШЕВЧЕНКО Катерина Романівна
магістр з публічного управління та адміністрування Білоцерківського національного аграрного університету
E-mail – shevchenko.romanivna@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1774-4174>

Автор: ГРИЩЕНКО Анастасія Андріївна
Ад'юнкт ад'юнктури (докторантури) Національного університету цивільного захисту України
E-mail – hryshchenko_anastasiia@nuczu.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1035-2624>

MULTIPURPOSE STRUCTURES FOR PROTECTION OF THE POPULATION DURING WAR

A. Bespalova¹, O. Knysh¹, O. Dashkovskaya¹, K. Shevchenko², A. Hryshchenko³

¹Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine

²Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

³National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

The article considers the problem of the possibility of arranging shelters in the conditions of modern urban development due to the increased probability of various explosive attacks in our time. Providing the population with shelters can be solved by building (organizing) multifunctional buildings, in other words, organizing shelters in underground parking lots (ground floors). The parking area is more than sufficient to accommodate all residents, taking into account existing standards. The condition of having at least two entrances (exits), including an emergency one, is also met. The most sensitive structural elements of the building are highlighted, such as columns and beams, floor slabs, lintels and, accordingly, their rigid connections. To ensure a rigid connection of floor slabs and columns, it is necessary to provide additional reinforcement in the form of reinforcing ties (rods, sheets, plates, ropes, etc.). Such solutions improve the reduction of the risk of structural failure after an explosive impact, which helps to save buildings from destruction.

As an alternative, the protection of the main load-bearing elements of the structure is proposed to increase the rigidity of their connections with additional polymer materials, for example, carbon fiber. The main advantage of the proposed method is the possibility of using this function of reinforcing the structure with a composite material both at the design stage and during the operation of already constructed buildings due to the technology of arranging such connections and the shape of the proposed material. The components of the composite material (fibers and hardener) are durable and have high reliability when perceiving loads that are repeatedly repeated. To reduce the cost of the structure, it can be replaced with other polymer composite materials, for example, fiberglass (including fiberglass anisotropic materials) and others. Thus, the proposed approaches allow adapting objects of modern urban development to new challenges, increasing the safety of the population and preserving the housing stock even in emergency situations.

Keywords: multipurpose buildings, storage, explosive action, carbon fiber, polymer composite materials.