

Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2024-6>

УДК 624.07



ДОНЕЦЬ Т.П.

Аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів Національного авіаційного університету, молодший науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна,
e-mail: donets@ndibk.gov.ua,
тел.: +38 (095) 686-55-45,
ORCID: 0000-0002-2203-5824

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОШКОДЖЕНЬ БУДІВЕЛЬ З РІЗНИМИ КОНСТРУКТИВНИМИ СИСТЕМАМИ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ

АНОТАЦІЯ

У статті освітлено актуальні проблеми аналізу та узагальнення даних щодо зруйнованих або пошкоджених будівель в різних містах України протягом 2022÷2024 років. Актуальність роботи обумовлена важливістю структурувати та систематизувати підходи до аналізу пошкоджень або руйнування будівель. В дослідженні наведено огляд робіт та публікацій стосовно обстеження і ліквідації наслідків влучання засобів ураження в будівлю. Для наочного порівняння та узагальнення даних, у статті розглянуті випадки пошкодження і руйнувань конструкцій будівель з різними типами конструктивних систем. Основним завданням несучих конструкцій будівлі, яка зазнає влучання боєприпасу, є забезпечення її живучості в цілому, тобто можливості подальшого збереження мінімальної несучої здатності та недопущення прогресуючого обвалення. Різні конструктивні системи виконують це завдання по-різному. Панельні будівлі схильні до лавиноподібного прогресуючого обвалення, що, в свою чергу, призводить до значних жертв серед цивільного населення. В цегляних будівлях, при значній силі вибухової хвилі, можлива втрата загальної стійкості несучих

стін, що також може викликати прогресуюче обвалення. Одноповерхові каркасні будівлі промислового типу зазнають нищівних наслідків внаслідок влучання, особливо якщо детонація призводить до займання. За рахунок великої Площі займання, пожежу важко локалізувати. Найкраще себе проявляють монолітно-каркасні будівлі. В Києві та Чернігові такі будівлі зазнали ураження авіабомбами та ракетами, але встояли зі значними фактичними пошкодженнями та руйнуваннями вертикальних та горизонтальних несучих елементів. При цьому навіть пошкоджені будівлі зберігали стійкість до прогресуючого обвалення за рахунок перерозподілу зусиль в конструкціях. Слід зазначити, що відновленню підлягають будівлі з будь-якою конструктивною системою, в залежності від ступеню пошкодження, доцільності та рентабельності відновлення. Для пошуку кращих конструктивних вирішень будівель необхідно проводити детальний аналіз наявних пошкоджень та руйнувань різних будівель. В майбутньому це буде визначальним фактором для розробки та впровадження змін до існуючих підходів з проектування.



КЛЮЧОВІ СЛОВА: вибух, пошкодження будівель, руйнування, прогресуюче обвалення, повітряна ударна вибухова хвиля, конструктивна система, монолітний каркас.

CHARACTERISTICS OF DAMAGE TO BUILDINGS WITH DIFFERENT STRUCTURAL SYSTEMS AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS

ABSTRACT

The article presents current problems in the analysis and generalization of data concerning destroyed or damaged buildings in various cities of Ukraine during 2022-2024. The relevance of the work is determined by the importance of structuring and systematizing approaches to the analysis of building damage or destruction. The research provides a review of works and publications concerning the inspection and mitigation of consequences following the explosive impact on a building. For visual comparison and data generalization, cases of damage and destruction of building structures with various types of construction systems were considered. The main goal of the load-bearing structures of a building subjected to explosive impacts is to ensure its overall survivability, i.e., the ability to preserve minimal load-bearing capacity and prevent progressive collapse. Different structural systems archive this goal differently. Panel buildings are prone to progressive collapse, which in turn leads to significant casualties among the civilian population. In brick buildings, with a significant explosive wave force, the overall stability of load-bearing walls can be lost, potentially leading to progressive collapse. Single-story industrial-type frame buildings suffer devastating consequences from impacts, especially if the detonation of ammunition causes subsequent fires. Due to the large area of ignition, the fires are difficult to localize. Monolithic framework buildings demonstrate the best performance. In Kyiv and Chernihiv, such buildings were hit by aerial bombs and missiles but remained standing despite significant damage and destruction of vertical and horizontal load-bearing elements. At the same time, even damaged buildings maintain resistance to progressive collapse due to the redistribution of forces within the structures. It should be noted that buildings of any structural system can be restored, depending on the extent of damage, feasibility, and cost-effectiveness of restoration. To find the best structural solutions for buildings, a detailed analysis of existing damages and destructions in various buildings is necessary. In the future, this will be a determining factor in developing and implementing changes to existing design codes.

KEYWORDS: explosion, building damage, destruction, progressive collapse, air-blast shock wave, construction system, monolithic framework.

ВСТУП

Станом на сьогодні частка прямих збитків від руйнувань і пошкоджень житлових будинків та об'єктів інфраструктури становить більше 60 % від загальних збитків під час воєнних дій на території України. Загальна площа пошкоджених або зруйнованих об'єктів становить близько 89 млн м², що становить близько 9 % від загальної площі житлового фонду України [1]. Кількість пошкоджених та зруйнованих будівель з кожним роком тільки збільшується. При цьому слід зазначити, що будівлі зазнають руйнувань не тільки в районах активних бойових дій, але й на всій території України. В районах активних бойових дій руйнувань та пошкоджень зазнають більшість будівель. Найбільших руйнувань зазнав житловий фонд Маріуполя, Харкова, Чернігова, Северодонецька, Рубіжного, Бахмута та десятків міст. В Северодонецьку, за попередніми оцінками, пошкоджено близько 90 % житлового фонду, відновлення будівель та споруд неможливе під час ведення активних воєнних дій.

З 2022 року в Україні житлові та цивільні будівлі зазнали різноманітного ураження від боєприпасів, ракет, дронів, з різним об'ємом вибухової речовини та уламків, що, в свою чергу, значним чином впливає на технічний стан та експлуатаційну придатність конструкцій будівель. З початку 2024-го року стає дедалі масштабнішим використання фугасних авіабомб з масою вибухової речовини від 200 кг (ФАБ-500) до 1400 кг (ФАБ-3000).

Для запобігання значних руйнуванням та пошкодженням будівель необхідно детально та якісно досліджувати вплив вибухів на будівлі та споруди. Перед провідними фахівцями, інженерами, науковцями та фаховими установами (науково-дослідними інститутами, проектними інститутами, вищими навчальними закладами тощо) стоїть дуже важливе завдання, починати виконання якого необхідно з аналізу фактичних пошкоджень та руйнувань будівель з різними конструктивними системами, матеріалами несучих елементів, різною поверховістю тощо. В даній статті наведено аналіз публікацій науковців, в тому числі співробітників ДП НДІБК, в яких проводились дослідження появи руйнувань, пошкодження та обвалення конструкцій в будівлях та виконано аналіз пошкоджень будівель від вибухів або прямого влучання боєприпасів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Вплив вибухів та поява руйнувань конструкцій з подальшою оцінкою технічного стану будівлі наведено в статті [2]. У публікації розглянуто питання обстеження пошкодженого об'єкту, визначення міцності матеріалів пошкоджених конструкцій та складання схем розташування пошкоджених і зруйнованих конструкцій. При



цьому слід зазначити, що внаслідок влучання боєприпасів в будівлі почалася пожежа, що призвело до значного погіршення технічного стану конструкцій.

Питання обстеження панельних будинків, пошкоджених внаслідок воєнних дій, було розглянуто в [3]. В роботі проаналізовано вплив різних боєприпасів на ступінь пошкодження панельних будівель, розглянуто можливість відновлення будівель та визначено основні недоліки такого типу будівель. До основних недоліків великопанельних будівель відносять схильність до прогресуючого обвалення внаслідок впливу вибухової хвилі або влучання боєприпасів.

Обстеження та необхідні умови для відновлення 27-ми поверхової каркасно-монолітної будівлі на проспекті В. Лобановського, 6-А в м. Києві, пошкодженої внаслідок влучання ракети, наведено в статті співробітників ДП НДІБК [4]. В публікації детально проаналізовано наявні пошкодження і руйнування будівлі та визначено фактичні фізико-механічні характеристики матеріалів конструкцій, виконаний перевірний розрахунок з метою встановлення придатності до подальшої експлуатації пілонів будівлі. Після проведеного комплексу робіт визначено передумови для відновлення експлуатаційної придатності будівлі.

В дослідженні [5] розглянуто значну кількість важливих питань, а саме: наукові задачі, які постають перед фахівцями під час воєнних дій на території України та ліквідації їх наслідків, аналіз існуючих наукових робіт та публікацій з оцінювання технічного стану та відновлення пошкоджених або зруйнованих будівель внаслідок військових дій, стан системи будівельних норм та стандартів.

В працях [6, 7] наведено класифікацію можливих типів прогресуючого обвалення, проаналізовано ознаки прогресуючого обвалення, визначена ймовірність руйнування конструктивної системи при настанні особливої ситуації. Дослідженням проблематики наявної нормативної документації стосовно прогресуючого обвалення присвячено статтю [8].

В публікаціях зарубіжних наукових видань значну частину досліджень присвячують безпосередньо вибуховій хвилі та наслідкам вибуху. Так, стаття [9] описує дослідження, пов'язане з вивченням вибухових кратерів, які залишаються після вибуху на поверхні ґрунту. В праці [10] приділено увагу проблематиці збільшення навантаження повітряної ударної хвилі від рухомих боєприпасів. З появою та розвитком гіперзвукової зброї це питання стає дедалі актуальнішим.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Основним завданням статті є структуризація і аналіз фактичних пошкоджень та руйнувань в будівлях з різними конструктивними системами для виявлення будівель з кращою стійкістю до впливу вибухів або влучання боєприпасів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Конструктивна система будівлі – це несучі елементи будівлі або цивільних інженерних споруд і спосіб, яким дані елементи функціонують разом, так пояснюється це поняття в ДБН В.1.2-6:2011 «Механічний опір та стійкість» [11]. Саме це є однією з найважливіших складових комплексного питання стійкості будівлі в момент влучання боєприпасу або вибуху поряд з будівлею. Для дослідження розглянуто досить складні випадки, які в переважній більшості призвели до великої кількості загиблих (померлих) людей та значних пошкоджень або руйнувань будівель.

У місті Дніпро в червні 2024 року було пряме влучання ракети в житловий дев'ятиповерховий будинок з несучими поздовжніми та поперечними цегляними стінами та багатопустотними плитами перекриття. Внаслідок влучання було зруйновано чотири поверхи будівлі, в нижніх поверхах у місці появи завалів виникла пожежа. В процесі рятувально-пошукових робіт відбулось обвалення конструкцій будівлі (рис. 1 ÷ 2).

Внаслідок влучання авіабомби в Харкові зазнали пошкоджень будівлі, постраждало більше 50 людей. В одній з будівель зі стінами з силікатної цегли та багатопустотними плитами зазнали пошкоджень три нижніх поверхи з обваленням



Рисунок 1 ÷ 2 – Наслідки прямого влучання ракети в житловий будинок в м. Дніпро



конструкції перекриття (рис. 3, а). Після завершення рятувально-пошукових робіт (рис. 3, б) було виконано контрольований підрив завислої в повітрі частини стіни.

В березні 2022 року в Чернігові винищувачі СУ-34 скинули 8 авіабомб на житловий мікрорайон. В монолітну каркасну будівлю над 12-м поверхом було влучання однієї з них. Внаслідок цього відбулось локальне руйнування конструкцій перекриття (до 3-х поверхів) та вертикальних несучих елементів (рис. 4, а). При цьому слід зазначити, що прогресуючого обвалення не відбулось.

В червні 2023 року в 26-ти поверховий каркасно-

монолітний житловий будинок в м. Київ влучила ракета, що призвело до пошкодження будівлі (рис. 4, б). Зруйнувалось перекриття та пілони в рівні 16 ÷ 19 поверхів, прогресуючого обвалення не відбулось.

У Дніпрі в січні 2023 року ракета влучила у багатоповерховий великопанельний будинок. Внаслідок лавиноподібного обвалення конструкцій будівлі одна секція будівлі перетворилась на гору завалів (рис. 5). Такий сценарій руйнування частини будівлі призвів до великої кількості загиблих мешканців будинку.

В травні 2024 року авіабомби влучили в

а)



б)



Рисунок 3 – Наслідки влучання авіабомби в м. Харків, червень 2024 року
а) після влучання авіабомби; б) після контрольованого підриву стіни

а)



б)



Рисунок 4 – Наслідки влучань в монолітні будівлі різними засобами ураження
а) будівля в м. Чернігів; б) будівля в м. Київ

а)



б)



Рисунок 5 – Наслідки лавиноподібного обвалення конструкцій будівлі в м. Дніпро
а) будівля на ранок після влучання; б) будівля після розбирання завалів



Рисунок 6 – Пожежа в гіпермаркеті в м. Харків

гіпермаркет будівельних матеріалів в м. Харків. Гіпермаркет – типова промислова одноповерхова будівля з металевим каркасом. У цьому випадку має місце виникнення пожежі та масштабне задимлення торгівельних павільйонів та решти приміщень (рис. 6). В будівлі через певний час вогневого впливу металеві конструкції втратили вогнезахист та почали наднормативно деформуватись, руйнуватись та обвалюватись. Слід заува-

жити, що у разі виникнення та розповсюдження пожежі в великорозмірних в плані будівлях, значною складністю для підрозділів ДСНС є доступ до осередку загоряння та можливості локалізувати пожежу. Внаслідок довготривалої пожежі будівля вигоріла вщент.

Зведений аналіз пошкоджених та зруйнованих об'єктів з різними конструктивними системами наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Аналіз пошкоджень будівель з різними конструктивними системами

Об'єкт та розташування	Конструктивна система	Прогресуюче обвалення	Виникнення пожежі	Визначальний вплив на технічний стан
1	2	3	4	5
4-х поверховий житловий будинок, м. Чернігів, вул. Толстого, 122 [2]	Безкаркасна, цегляні стіни	Відсутнє	Значні наслідки	Виникнення пожежі
27-ми поверховий житловий будинок, м. Київ, [4]	Монолітний каркас	Відсутнє	Незначна	Влучання засобу ураження
9-ти поверховий житловий будинок, м. Дніпро	Безкаркасна, цегляні стіни	В момент влучання та після	Незначна	Прогресуюче обвалення
5-ти поверхова цивільна будівлі, м. Харків	Безкаркасна, цегляні стіни	Відсутнє	Незначна	Влучання засобу ураження
17-ти поверховий житловий будинок, м. Чернігів, вул. Чорновола, 15А	Монолітний каркас	Відсутнє	Незначна	Влучання засобу ураження
26-ти поверховий житловий будинок, м. Київ, вул. Митрополита В. Липківського, 37-В	Монолітний каркас	Відсутнє	Незначна	Влучання засобу ураження
9-ти поверховий житловий будинок, м. Дніпро	Велико-панельна будівля	В момент влучання (повністю зруйнована)	Незначна	Прогресуюче обвалення
Одноповерхова будівля гіпермаркету, м. Харків	Металевий каркас	Відсутнє	Значні наслідки	Виникнення пожежі



Визначальний вплив на технічний стан будівлі відіграє тип засобу ураження та те, що відбувається після влучання. Збільшення кількості жертв та ступеню пошкодження будівлі зумовлені виникненням пожежі та прогресуючого обвалення конструкцій. Лавиноподібне обвалення, як у випадку великопанельної будівлі в Дніпрі, це, без перебільшення, найгірший із можливих сценаріїв руйнування будівлі. В подальшому такі будівлі не доцільно відновлювати, як вже було описано в роботі [3]. Також ускладнює евакуацію, призводить до збільшення кількості жертв та пошкоджень конструкцій – виникнення пожежі, як у випадку гіпермаркету в Харкові, житлових будинків в Дніпрі та житлового будинку в Чернігові [2].

Будівлі з монолітним каркасом в Чернігові та Києві по вул. Митрополита В. Липківського і на проспекті В. Лобановського [4] продемонстрували стійкість до прогресуючого обвалення в момент та після влучання. Це зумовлено саме конструктивною системою будівлі. Монолітний каркас має можливість перерозподілу зусиль в конструкціях будівлі навіть після повного або часткового руйнування розташованих поряд несучих елементів. Також це зумовлено вимогами державних будівельних норм [11], якими регламентована необхідність розрахунку на прогресуюче обвалення для відповідальних будівель на стадії проектування.

ВИСНОВКИ

Необхідність структурувати та систематизувати підходи до аналізу пошкодження або руйнування будівель з різними типами конструктивних систем є актуальним питанням станом на сьогодні. Тільки після детального вивчення наслідків влучання боєприпасів в цивільні будівлі можна визначити слабкі сторони кожної конструктивної системи. В майбутньому це буде визначальним фактором для розробки та впровадження змін до існуючих правил проектування. Дещо гірша стійкість будівель до прямих влучань та виникнення прогресуючого обвалення в безкаркасних цегляних та великопанельних будівлях. Найкращу стійкість демонструють монолітно-каркасні будівлі при досить значних пошкодженнях (до 3-4 поверхів).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сергійчук В.А., Белоконь А.М., Табаркевич Н.В., Табаркевич О.О. Особливості обстеження та оцінки технічного стану житлового будинку, пошкодженого внаслідок військових дій, щодо його придатності до подальшої експлуатації. Наука та будівництво. 2023. № 1. С. 27-42.

2. Слюсаренко Ю.С., Мелашенко Ю.Б., Іщенко Ю.І. Досвід обстеження панельних будинків, пошкоджених внаслідок бойових дій. Наука та будівництво. 2023. № 2. С.41-50.
3. Глуховський В.П., Лісений О.М., Мар'єнков М.Г., Дубовик С.О., Любченко І.Г., Яковенко М.С. Обстеження, оцінка технічного стану та умови відновлення житлового будинку на проспекті Лобановського, 6-А в м. Києві, пошкодженого внаслідок воєнних дій. Наука та будівництво. 2022. № 3-4. С. 55-68.
4. Фаренюк Г.Г. Актуальні завдання галузевої науки на сучасному етапі розвитку держави. Наука та будівництво. 2024. №1, С.3-12.
5. Барабаш М.С. Аналіз надійності висотної будівлі з урахуванням ризику прогресуючого обвалення. Науково-виробничий журнал: Будівництво України. 2010. № 4. С. 37-41.
6. Барабаш М.С., Гензерський Ю.В., Покотило Я.В. Методи мінімізації ймовірності прогресуючого руйнування висотної будівлі при дії сейсмічних навантажень. Науково-технічний журнал: Нові технології в будівництві. 2011. №1(21)'11. С. 17-22.
7. Вабіщевич М.О., Фесун І.К. Підходи щодо забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення будівель та споруд. Сучасний стан та перспективи. Опір матеріалів і теорія споруд. Strength of Materials an Theory of Structures. 2023. № 110. С. 256-263.
8. Xu, R., Chen, L., Zheng, Y., Li, Z., Cao, M., & Fang, Q. Study of crater in the Gobi Desert induced by ground explosion of large amounts of TNT explosive up to 10 tons. Shock and Vibration. 2021. № 3. С. 1-17. <https://doi.org/10.1155/2021/7357877>
9. Xu, Q. P., et al. Air blast pressure characteristics of moving charge. Journal of Physics: Conference Series 2020. № 1507. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1507/3/032052>
10. ДБН В.1.2-6:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 36 с.

REFERENCES

1. Sergiichuk, V.A., Bielokon, A.M., Tabarkevich, N.V., & Tabarkevich, O.O. (2023). Features of the survey and assessment of the technical condition of a residential building damaged as a result of military actions, regarding its suitability for further operation. Science and Construction, 2023(1), 27-42.
2. Slyusarenko, Yu.S., Melashenko, Yu.B., Ishchenko, Yu.I. (2023). Experience in



- inspecting panel buildings damaged due to military actions. *Science and Construction*, 2023(2), 41-50.
3. Glukhovskiy, V.P., Lisiyeni, O.M., Maryenko, M.G., Dubovyk, S.O., Liubchenko, I.G., & Yakovenko, M.S. (2022). Survey, assessment of the technical condition, and conditions for the restoration of a residential building on Lobanovsky Avenue, 6-A in Kyiv, damaged as a result of military actions. *Science and Construction*, 2022(3-4), 55-68.
 4. Farenjuk, G.G. (2023). Current challenges in industry-specific science at the present stage of national development. *Science and construction*. *Science and Construction*, 2024(1), 3-12.
 5. Barabash, M. S. (2010). Analysis of the reliability of a high-rise building considering the risk of progressive collapse. *Scientific and Production Journal: Construction of Ukraine*, 4, 37-41.
 6. Barabash, M. S., Genzerskyi, Y. V., & Pokotilo, Y. V. (2011). Methods for minimizing the probability of progressive collapse of a high-rise building under seismic loads. *Scientific and Technical Journal: New Technologies in Construction*, 1(21)'11, 17-22.
 7. Vabishevych, M.O., & Fesun, I.K. (2023). Approaches to ensuring resistance to progressive collapse of buildings and structures: Current state and prospects. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 110, 256-263.
 8. Xu, R., Chen, L., Zheng, Y., Li, Z., Cao, M., & Fang, Q. (2021). Study of crater in the Gobi Desert induced by ground explosion of large amounts of TNT explosive up to 10 tons. *Shock and Vibration*, 2021(3), 1-17. <https://doi.org/10.1155/2021/7357877>
 9. Xu, Q. P., et al. (2020). Air blast pressure characteristics of moving charge. *Journal of Physics: Conference Series*, 1507. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1507/3/032052>
 10. DBN V.1.2-6:2021. (2022). Basic requirements for buildings and structures. Mechanical resistance and stability. Kyiv: Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 28.05.2024