

ASSESSMENT AND REPAIRMENT OF THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES DAMAGED DUE TO RUSSIAN MISSILE ATTACK

*Vladyslav SHEKHOVTSOV¹, Oleg FESENKO²,
Viktor MALAKHOV³, Yevhen DMYTRENKO⁴*

^{1, 3} Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture
4, Didrihsona st., Odesa, Ukraine, 65029

² Kyiv National University of Construction and Architecture
31, Povitryanyh Syl Ave, Kyiv, Ukraine, 03037

⁴ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
19, Horikhuvatskyi shliakh Str., Kyiv, Ukraine, 03041

¹0155544@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-9499-0188>

²fesenko.aa@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8154-2239>

³vityamal@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7635-4337>

⁴zdmirenko26@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9737-943X>

Abstract. Ukrainian cities and villages have been forced to become testing grounds for studying and researching the impact of blasts on buildings and structures of different structural systems due to the constant artillery shelling and bombardments by the Russian Federation's armed forces. Ukraine's seaports are strategic facilities, so port infrastructure is often damaged by Russian drone and missile attacks. The Odesa's city port is the largest seaport in Ukraine, so for studying and researching, as a typical example, one of the damaged buildings of this port was chosen.

The object of research – load bearing structures damaged due to blast exposure of missile strike by the armed forces of the Russian Federation.

The purpose of the research is to determine the actual technical state of the building's load-bearing structures; to check ability to repairment of the building.

The research included such stages as:

- visual inspection of the survived structures after the missile strike;
- determination of the real concrete strength by non-destructive methods;
- verification finite element method (FEM) analysis of the building's structural system, taking into account the actual technical state and real material properties;
- design of strengthening schemes for the survived structures.



Vladyslav SHEKHOVTSOV

Assistant Professor,
Department of reinforced concrete
structures and transport facilities,
PhD



Oleg FESENKO

Assistant Professor,
Department of reinforced concrete
and masonry structures,
PhD



Viktor MALAKHOV

Assistant Professor,
Department of reinforced concrete
structures and transport facilities,
PhD



Yevhen DMYTRENKO

Assistant Professor,
Department of construction,
PhD

Number of civil buildings and infrastructure

facilities damaged or collapsed by russian attacks is increasing day by day. Case study presented in this research is typical and can be recognized as a solution for other buildings.

Keywords. Russian missile attack; assessment; repair; reinforced concrete structures; damage; structural analysis

DESCRIPTION OF THE BUILDING

Ukrainian civil residential buildings and infrastructure facilities have been forced to become testing grounds for studying and researching the impact of blasts on buildings and structures of different structural systems due to the constant artillery shelling and bombardments by the russian federation's armed forces [1-8].

The administrative 3-storey cast-in-situ building, measuring 36x24 m in plan is shown in Fig. 1. The structural scheme of the building is a reinforced concrete frame with shear walls.

The foundation of the building is a reinforced concrete slab 500 mm in thickness.

The grid of columns is 6.0 x 6.0 m. The

cross-section of the columns is 400x400mm. Reinforcement of the columns: longitudinal rebars – 4Ø16 (20) mm A400C, transverse rebars – stirrups 8 A240C.

The beams are arranged in the locations of the stairwells. The cross-section of the beams is 600x400 mm. Beam reinforcement: longitudinal rebars - 4 lower and 4 upper 22A400. Transverse reinforcement of beams – rebars 8mm, with a step of 150mm.

The shear walls are L-shaped in plan, located at the corners of the building and in the middle symmetrically to the central axes. The thickness of the shear walls is 200 mm. The shear walls are reinforced with mesh rebars 10, with a spacing of 200mm. The floor slabs are 200 mm in thickness. Reinforcement of the floor slabs with mesh rebars 10, 14 mm, with a spacing of 100 (200) mm. The reinforcing cages are located in the punching areas of floor slabs.

The partition walls are made of aerated concrete blocks. The thickness of the external walls is 400 mm, the internal walls are 100mm in thickness.



Fig. 1. General view of the building before the missile attack

Рис. 1. Загальний вигляд будівлі до ракетної атаки

COLLECTION OF DAMAGE DATA

The investigated building was partially collapsed as a result of a blast exposure due to

missile attack by the armed forces of the russian federation in May 2022. The epicentre of the explosion was located right next to the building, at a distance of up to 10 m from the external wall. According to witnesses, the shell-hole

was up to 8 m in diameter and up to 4 m in depth. Neighbouring buildings were also heavily damaged.

Investigation of the structures was carried

out after liquidation of the blast consequences and urgent emergency works. The general view of the partially collapsed building is shown in fig. 2.



Fig. 2. General view of the partially collapsed building

Рис. 2. Загальний вигляд частково зруйнованої будівлі

Mechanical damages such as concrete fractures, baring, deformations, ruptures, visual elongation of steel rebars was recorded during the examination of 1st and 2nd floor columns of

the building. A numerous columns had damages located in the upper punching zone of floor slabs (Fig. 3).



Fig. 3. Concrete fractures of columns at punching zone of floor slabs

Рис. 3. Руйнування бетону у зоні продавливання плит колонами

1st floor columns 2-3/G and 3rd floor columns 1-2/A had vertical deflections

(Fig. 4, 5). Significant concrete fractures, baring of steel rebars, and cracks with a width

of more than 2mm were recorded during the examination of the shear walls. The concrete



Fig. 4. Concrete fractures of columns
Рис. 4. Руйнування бетону колон

fractures of the shear walls is located in the upper punching zone of floor slabs (Fig. 6, 7).



Fig. 5. Vertical deflections of concrete columns
Рис. 5. Вертикальні переміщення колон



Fig. 6. Concrete fractures of shear walls
Рис. 6. Руйнування бетону стіни



Fig. 7. Wall with cracks more than 2mm wide
Рис. 7. Стіна із тріщинами понад 2 мм

DAMAGE DATA ANALYSIS

Information on the main damages of the load-bearing structures as a result of the blast

exposure and the recommended measures to repairing are given in Table 1.

Table 1. Typology of damaged structural elements
Табл. 1. Типи пошкоджених конструкцій

N o.	Type of damage	Measures to repairing structural elements
	Column	
1.	Concrete fractures, baring of steel rebars, vertical deflections	Demolishment and replacement of damaged structural elements
2.	Concrete fractures at punching zone of floor slabs	
3.	Deformations, breaks, visual elongation of steel rebars	
	Shear walls	
4.	Concrete fractures, baring of steel rebars, vertical deflections	Partial demolishment and replacement of damaged structural elements
5.	Deformations, breaks, visual elongation of steel rebars	
	Beams	
6.	Shear cracks at the support zones more than 2mm in wide	Demolishment and replacement of damaged structural elements
7.	Concrete fractures of the beam-column connections, deformation and baring of steel rebars	
	Floor slabs	
8.	Concrete spalling with baring of steel rebars at the bottom surface	Strengthening of the punching zones, repair and restoration of the bottom surface
9.	Concrete spalling without baring of steel rebars at the bottom surface	Repair and restoration of the bottom surface
10.	Cracks at the bottom surface	Repair of concrete cracks by injections

Table 2 shows the calculated indicators of entire building. physical wear of structural elements and the

Table 2. The extent of physical wear of survived structural elements
Табл. 2. Ступінь фізичного зносу вицілених конструктивних елементів

N o.	Structural element	Part of the entire structure, γ_e , %	Physical wear of the structural element, Φ_e , %	$\gamma_e \cdot \Phi_e / 100$, %
1	Foundation slab	10	10	1
2	Columns	15	52	8
3	Shear walls	10	43	4
4	Floor beams	5	57	3
5	Floor slabs	30	52	16
6	Partition walls	10	15	2
7	Flooring	15	65	10
8	Stairs	5	25	1
	Total amount	100		45

MATERIAL PROPERTIES

A non-destructive method was used to

determine the real concrete strength of the structural elements during the research. The results of concrete strength measurement with

concrete test hammer and ultrasonic method are shown in Table 3.

Table 3. The results of concrete compressive strength measurement

Табл. 3 Результати вимірювання міцності бетону на стиск

N o.	Structural element	Average compressive strength f_{cm} , MPa	The coefficient of variation, V
1.	Column	27.9	0.11
2.	Column	30.2	0.11
3.	Column	28.7	0.12
4.	Column	33.4	0.07
5.	Shear wall	35.0	0.11
6.	Shear wall	33.4	0.11
7.	Shear wall	35.8	0.05
8.	Shear wall	31.0	0.13
9.	Shear wall	34.2	0.13
10.	Shear wall	32.6	0.07

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE DAMAGED BUILDING

Three restoration schemes of the building were considered in this research: scheme №1 –

without a superstructure, scheme №2 – 2-story reinforced concrete superstructure, scheme №3 – 2-story superstructure made of steel structures (Fig. 8).

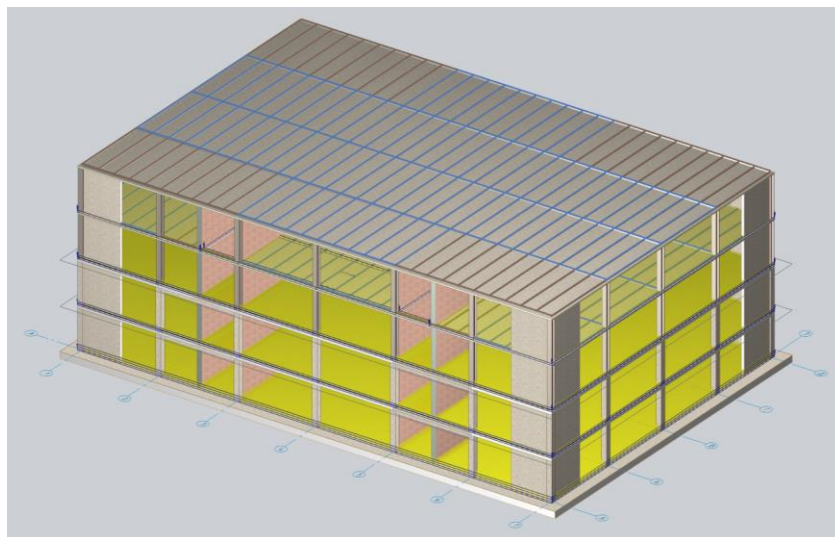


Fig. 8. The restoration scheme with a superstructure made of steel structures

Рис. 8. Розрахункова схема із надбудовою зі сталевих конструкцій

Numerical analysis of the restoration schemes was developed taking into account the reduced characteristics of concrete (compressive strength corresponding to C12/16 was taken instead of compressive strength corresponding to C16/20) and reduced

reinforcement due to damages caused by blast exposure. Geometrical parameters of the building, mechanical characteristics of materials, loads and load combinations are assumed to be the same for each restoration scheme.

The maximum values of longitudinal internal force N in the columns for the most unfavorable load combination were:

- without a superstructure – 1138 kN;
- with 2-story reinforced concrete superstructure – 2100 kN;
- with 2-story superstructure made of steel structures – 1942 kN. The minimum values of columns' load-bearing capacity ratio were:
- without a superstructure – 1,15 (reserve is 15%);
- with 2-story reinforced concrete superstructure – 0,78 (deficient load-bearing capacity);
- with 2-story superstructure made of steel structures – 0,84 (deficient load-bearing capacity).

According to the results of the structural analysis of different restoration schemes and national regulations [9-11] conclusion about the possibility of 2-story superstructure made of steel structures without strengthening the foundation was made. In addition, columns and shear walls have to be strengthened. The punching shear zones of floor slabs also have to be strengthened.

REPAIRMENT AND TECHNICAL SOLUTIONS

The method of strengthening with steel casing has been recommended in order to restore the load-bearing capacity and serviceability of damaged columns and shear walls (Fig. 9).

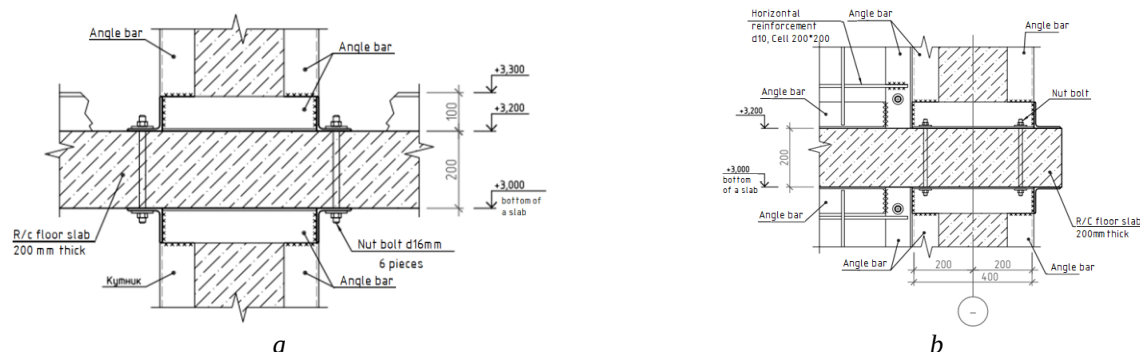


Fig. 9. Recommended strengthening schemes of vertical structural elements: a – columns; b – shear walls
Рис. 9. Рекомендовані схеми підсилення вертикальних конструкцій: а) колон; б) стін

The restoration of damaged areas of floor slabs has been recommended to be accomplished using the increasing method. The punching shear zones of floor slabs have been

recommended to restore by using angle braces (Fig. 10).

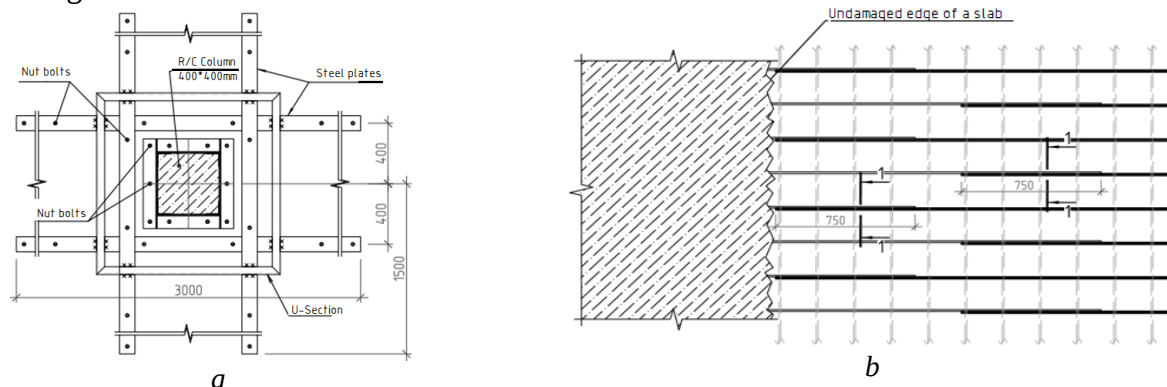


Fig. 10. Schemes of strengthening recommended of horizontal structural elements: a – punching shear zones; b – floor and roof slabs

Рис. 10. Рекомендовані схеми підсилення горизонтальних конструкцій: а) зони продавлення; б) плит перекриття і покриття

CONCLUSIONS

Based on the results presented in this research, the following conclusions were drawn:

1 Blast exposure due to missile strike inflicted by the armed forces of the Russian Federation caused partial collapse of the building. The degree of damage (physical wear) to the load-bearing structures of the surviving building after the explosion is 45% which corresponds to '**unsuitable for normal serviceability**' state. This state of building requires restoration and strengthening of structural elements.

2 Numerical analysis of the restoration schemes have demonstrated the possibility of realization 2-story superstructure made of steel structures, provided that columns, shear walls and punching shear zones of floor slabs have been strengthened according to recommended methods.

3 Strengthening of damaged columns and shear walls has been recommended by performing steel casing. The punching shear zones of floor slabs have been recommended to restore by using angle braces.

REFERENCES

1. **Civilian Harm in Ukraine** Homepage, <https://ukraine.bellingcat.com>, last accessed 2025/05/21.
2. **Nuzhnyi, V.** (2022). Pershi doslidzhennia ushkodzen budivel i sporud vnaslidok boiovykh dii [First studies of building and structure damages caused by military actions] [in Ukrainian]. *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, (11), 104-114. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.104-114>
3. **Fareniuk, H., & Nemchynov, Yu., & Bielokon, O., & Marienkov, M., & Bohdan, D., & Babik, K., & Baitala, Kh** (2022) Otsinka stanu budivel i sporud vibrodynamichnym metodom pislia viiskovykh poshkodzen. *Nauka ta budivnytstvo* [in Ukrainian]. 2(32), 3-18. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-08-2022-1>
4. **Hlukhovskiy V., & Dubovyk S., & Lisenyi O., & Liubchenko I., & Marienkov M., & Yakovenko M.** (2022) Obstezhennia, otsinka tekhnichnoho stanu ta umovy vidnovlennia zhytlovoho budynku na prospekti V. Lobanovskoho, 6-A v m. Kyievi, poshkodzenoho vnaslidok voiennykh dii. *Nauka ta budivnytstvo* [in Ukrainian]. 3-4 (33-34), 55-68. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-34-2022-6>
5. **Donets, T.** (2024). Kharakterystyka poshkodzen budivel z riznymy konstruktyvnymy systemamy vnaslidok voiennykh dii [in Ukrainian]. *Nauka ta budivnytstvo*, 40(2). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2024-6>
6. **Hlukhovskiy, V., Lisenyi, O., Zelenko, Ye., & Dubovyk, S.** (2025). Detalne vizualne ta instrumentalne obstezhennia tekhnichnoho stanu konstruksii budivli likuvalno-diahnostychnoho kompleksu natsionalnoi dytiachoi spetsializovanoi likarni «Okhmatdyt», poshkodzenoi vnaslidok zbroinoi ahresii rf [in Ukrainian]. *Nauka ta budivnytstvo*, 42(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2024-4>
7. **Dobrokhlop, M., & Dobrokhlop, Ye.** (2024). Rezultaty tekhnichnoho obstezhennia lohistychnoho tsentru u m. Brovary, pislia raketno - artyleriiskoho obstrilu u berezni 2022 roku [in Ukrainian]. *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, (15), 66-74. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.66-74>
8. **Zhuravskiy, O., Zhuravskiy, D., & Povazhniuk, O.** (2024). Osoblyvosti vidnovlennia zbirnykh zalizobetonnykh rebrystykh plyt pokryttiv promyslovykh budivel, zruinovanykh obstrilamy [in Ukrainian]. *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, (15), 185-195. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.185-195>
9. **Shpakova, H., & Shpakov, A., & Kripak, W., & Koliakova, V.** (2024) Structural and technological aspects of conservation of street art on buildings damaged during the war. *International Journal of Conservation Science*, 15, 103-118. [DOI:10.36868/IJCS.2024.SI.09](https://doi.org/10.36868/IJCS.2024.SI.09)
10. **Minrehion Ukrainy.** (2018). Zahal'ni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud: DBN V.1.2-14:2018 [General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures: DBN V.1.2-14:2018]. Kyiv: Derzhavne pidpriemstvo "Ukrarkhbudininform". (In Ukrainian)

11. **Minrehionbud Ukrainy. (2011).** Betonni ta zalizobetonni konstruktсии. Osnovni polozhennia: DBN V.2.6-98:2009 [Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions: DBN V.2.6-98:2009]. Kyiv: Derzhavne pidpriemstvo "Ukrarkhbud-inform". (In Ukrainian)
12. **Minrehionbud Ukrainy. (2011).** Betonni ta zalizobetonni konstruktсии z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia: DSTU B.V.2.6–156:2010 [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules: DSTU B.V.2.6–156:2010]. Kyiv: Derzhavne pidpriemstvo "Ukrarkhbudinform". (In Ukrainian)

LITERATURE

1. **Civilian Harm in Ukraine Homepage,** <https://ukraine.bellingcat.com>, last accessed 2025/05/21.
2. **Нужний, В** (2022) Перші дослідження ушкоджень будівель і споруд внаслідок бойових дій. *Будівельні конструкції. Теорія і практика* (11), 104-114. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.104-114>
3. **Фаренюк, Г., & Немчинов, Ю., & Бєлоконь, О., & Мар'єнков, М., & Богдан, Д., & Бабік, К., & Байтала, Х** (2022) Оцінка стану будівель і споруд вібродинамічним методом після військових пошкоджень. *Наука та будівництво*. 2(32), 3-18. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-08-2022-1>
4. **Глуховський В., & Дубовик С., & Лісений О., & Любченко І., & Мар'єнков М., & Яковенко М.** (2022) 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*. 3-4 (33-34), 55-68. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-34-2022-6>
5. **Донець, Т.** (2024). Характеристика пошкоджень будівель з різними конструктивними системами внаслідок воєнних дій. *Наука та будівництво*, 40(2). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2024-6>
6. **Глуховський, В., Лісений, О., Зеленко, Є., & Дубовик, С.** (2025). Детальне візуальне та інструментальне обстеження технічного стану конструкцій будівлі лікувально-діагностичного комплексу національної дитячої спеціалізованої лікарні «Охматдит», пошкодженої внаслідок збройної агресії рф. *Наука та будівництво*, 42(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2024-4>
7. **Доброхлос, М., & Доброхлос, Є.** (2024). Результати технічного обстеження логістичного центру у м. Бровари, після ракетно - артилерійського обстрілу у березні 2022 року. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (15), 66–74. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.66-74>
8. **Журавський, О. ., Журавський, Д., & Поважнюк, О.** (2024). Особливості відновлення збірних залізобетонних ребристих плит покриттів промислових будівель, зруйнованих обстрілами. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (15), 185–195. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.185-195>
9. **Shpakova, H., & Shpakov, A., & Kripak, W. , & Koliakova, V.** (2024) Structural and technological aspects of conservation of street art on buildings damaged during the war. *International Journal of Conservation Science*, 15, 103-118. DOI:10.36868/IJCS.2024.SI.09
10. **Мінрегіон України.** (2018). Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: ДБН В.1.2-14:2018 (36 с.). [Чинні від 2019-01-01]. Київ: Державне підприємство «Укрархбудінформ». (Державні будівельні норми України). [Українською]
11. **Мінрегіонбуд України.** (2011). Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009 (71 с.). [Чинні від 2011-06-01]. Київ: Державне підприємство «Укрархбуд-інформ». (Державні будівельні норми України). [Українською]
12. **Мінрегіонбуд України.** (2011). Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: DSTU Б.В.2.6–156:2010 (118 с.). [Чинний з 2011-06-01] Київ: Державне підприємство «Укрархбуд-інформ». (Національний стандарт України). [Українською]

ОЦІНКА ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ПОШКОДЖЕНІ ВНАСЛІДОК РОСІЙСЬКОЇ РАКЕТНОЇ АТАКИ

*Владислав ШЕХОВЦОВ,
Олег ФЕСЕНКО,
Віктор МАЛАХОВ,
Євген ДМИТРЕНКО*

Анотація. Через постійні артилерійські обстріли та бомбардування збройними силами Російської Федерації українські міста та села були змушені стати полігонами для вивчення та дослідження впливу вибухів на будівлі та споруди різних структурних систем. Морські порти України є стратегічними об'єктами, тому портова інфраструктура часто зазнає пошкоджень від російських безпілотників та ракет. Одеський міський порт є найбільшим морським портом України, тому для вивчення та дослідження, як типовий приклад, було обрано одну з пошкоджених будівель цього порту.

Об'єкт дослідження – несучі конструкції, пошкоджені внаслідок вибухового впливу

ракетного удару збройних сил Російської Федерації.

Метою досліджень є визначення фактичного технічного стану несучих конструкцій будівлі та перевірка їх придатності до ремонту.

Дослідження включало такі етапи, як:

- візуальний огляд уцілілих конструкцій після ракетного удару;
- визначення реальної міцності бетону неруйнівними методами;
- перевірочний аналіз конструктивної системи будівлі методом скінчених елементів (МСЕ) з урахуванням фактичного технічного стану та властивостей реальних матеріалів;
- проектування схем посилення вцілілих конструкцій.

Кількість цивільних будівель та об'єктів інфраструктури, пошкоджених або зруйнованих російськими атаками, зростає з кожним днем. Приклад, представлений у цьому дослідженні, є типовим і може бути визнаний рішенням для інших будівель.

Ключові слова. Російська ракетна атака; оцінка; ремонт; залізобетонні конструкції; пошкодження, розрахунок конструкцій

Стаття надійшла до редакції 21.04.2025