

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕХНІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ У МІСТІ БРОВАРИ, ПІСЛЯ РАКЕТНО - АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ОБСТРІЛУ У БЕРЕЗНІ 2022 РОКУ

Микола ДОБРОХЛОП¹, Єгор ДОБРОХЛОП²

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037

² ТОВ «В.С. Проект»

м. Одеса, пров. Світлий, 3, 65062

¹ nik.dobrohlop@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6393-786X>

² eguard@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0009-2275-1925>

Анотація. У статті наведені результати обстеження і деталі руйнування залізобетонних конструкцій будівлі холодильника з вбудовано-прибудованими адміністративно-побутовими приміщеннями. Будівля отримала пошкодження внаслідок влучання двома крилатими ракетами «повітря-земля», а потім по будівлі і прилеглий території неодноразово були нанесені удари системами залпового вогню «Град» під час бойових дій у лютому-березні 2022 р. Наслідком влучання ракет стала масштабна пожежа, яка тривала декілька днів, через неможливість її гасіння під час ведення бойових дій на відстані до 10 кілометрів від будівлі. Наслідком потрапляння в будівлю боєприпасів і пожежі стало руйнування несучих залізобетонних конструкцій каркасу будівлі, втрата стійкості і руйнування елементів будівлі.

В статті стисло описуються характеристики будівлі (конструктивна схема, види конструкцій) і наводяться різні типи руйнувань несучих залізобетонних конструкцій каркасу будівлі, в залежності від основних чинників, які на них впливали (механічний вплив, динамічні навантаження і довготривалий вплив на конструкції високої температури при пожежі). Наведені та проілюстровані фотографіями різні види руйнування як попередньо напружених згинальних елементів, так і нена-



Микола ДОБРОХЛОП

доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
Заслужений будівельник України,
к.т.н. доцент



Єгор ДОБРОХЛОП

Інженер-проектувальник
1 категорії, провідний інженер
технічного нагляду

пружених залізобетонних колон, що зазнали динамічного навантаження та температурного впливу від пожежі.

Також наведено схема розташування зон пошкодження конструкцій в будівлі, і проведена попередня оцінка впливу різних чинників на руйнування несучих залізобетонних конструкцій каркасу будівлі, вплив їх на стійкість і несучу здатність конструкцій.

Ключові слова: залізобетонні конструкції, руйнування, пожежа, обстріл, пошкодження.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Перед виконавцями обстеження була поставлене завдання обстежити пошкоджені обстрілом і пожежею об'єкт, і визначити можливість його подальшого використання.

Об'єкт розташований за адресою Київська область, Броварський район, село. Квітневе, вул. Гоголівська 1-А.

Має загальні габаритні розміри в осях 354x173,5 м., складався з одноповерхового холодильника з приміщеннями експедиції, двох триповерхових вбудовано-прибудованих адміністративно-побутових блоків і двоповерхового вбудовано-прибудованого технічного блоку (компресорні, ТП).

Будівля блоку холодильних камер виконана за каркасною безкісцевою схемою із збірних залізобетонних колон, залізобетонних двосхилих балок прольотом 24 м. та залізобетонних таврових балок прольотом 12 м. В будівлі блоку холодильних камер крок крайніх колон вздовж цифрових та літерних осей складає 12 м. Крок середніх колон вздовж цифрових осей складає 24 м., вздовж літерних осей 12 м. Будівля блоку холодильних камер складається із 4 блоків, що розділені деформаційними швами. 3 блоки мають розміри 72 x 120 м. і 1 блок має розміри 96x120 м. Фундаменти залізобетонні пальові, кущові зі збірними ростверками. Палі вдавлюванні, перерізом 500 x 500 мм. Глибина підшви паль 5,8 м нижче поверхні землі.

По кушам паль виконані монолітні ростверки, на яких змонтовані залізобетонні ста-кани 2400x1800x1200 мм під збірні залізобетонні колони. Каркас виконаний зі збірних залізобетонних колон довжиною 14,4 м. В зоні адміністративних блоків використані залізобетонні колони висотою 4,8 та 3,6 м, залізобетонні ригелі і круглопустотні панелі довжиною 6,3 м.

По залізобетонному каркасу була виконана підсистема з металевих прокатних елементів для кріплення сандвіч-панелей стін і покрівлі.

Будівля одного з адміністративно-побутових блоків (в осях 1-4) була відділена від

будівлі холодильника брандмауерною стіною з цегли, товщиною 250 мм.

Загальний вигляд об'єкту до обстрілу наведено на Рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд об'єкту до обстрілу
Fig. 1. General view of the object before the shelling

Слід зазначити, що після проведення обстеження і оцінки стану пошкоджених конструкцій, всі будівельні конструкції надземної частини блока холодильника з приміщеннями експедиції і одного з двох адміністративно-побутових блоків (в осях 34-38) були демонтовані і вивезені.

Після детального обстеження із застосуванням неруйнівних методів було прийнято рішення про можливість використання при відбудові існуючих ростверків пальових фундаментів.

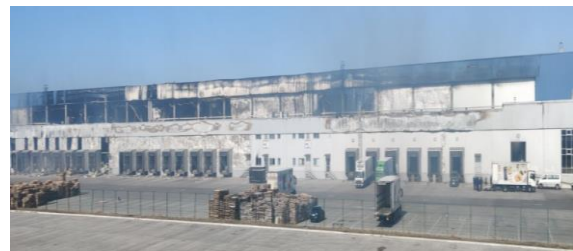


Рис. 2. Загальний вигляд пошкодженого об'єкту (вигляд з південної сторони).
Автор фото Доброхлоп М.І.

Fig. 2. Overall view of the damaged object (direction – north).

Photo by Dobrokhlop M.

За наданою інформацією, перший удар був нанесений 12.03.2022 р. двома крилатими ракетами «повітря-земля», а потім неодноразово були нанесені удари системами залпового вогню «Град», про що свідчать отвори у стінових панелях, та вражаючі елементи, що були знайдені на території об'єкту під час обстеження.



Рис. 3. Загальний вигляд пошкодженого об'єкту (вигляд з північної сторони). Автор фото Доброхлор М.І.

Fig. 3. Overall view of the damaged object (direction – south). Photo by Dobrokhlop M.

Перша з ракет, вочевидь, потрапила в центральну частину будівлі холодильника, де викликала об'ємну пожежу. При потрапленні ракети зруйновано було частину конструкцій в центральній частині холодильника

Інша влучила в праву триповерхову адміністративну частину будівлі, де на 1-му поверсі був розташований склад з комп'ютерною технікою. При пожежі в цьому приміщенні, внаслідок наявності великої кількості літій-іонних акумуляторів, була зафіксована дуже висока температура горіння. Вигляд фасаду після пожежі в адміністративній частині можна побачити на Рис. 4.



Рис. 4. Загальний вигляд пошкодженого об'єкту (вигляд з боку пошкодженого адміністративного корпусу). Автор фото Доброхлор М.І.

Fig. 4. Overall view of the damaged object (view from the side of the damaged administrative building). Photo by Dobrokhlop M.

На супутниковому фото [24], (Рис.6), що зроблено у перші дні після обстрілу, можливо розрізнити два локальні епіцентри руйнувань.



Рис. 5. Загальний вигляд пошкодженого об'єкту (вигляд зі південно-західної сторони). Автор фото Доброхлор М.

Fig. 5. Overall view of the damaged object (direction – northeast). Photo by Dobrokhlop M.

Перший знаходиться в центральній частині (в холодильному корпусі, площею біля 300 м²), інший у верхньому (правому) куті будівлі. (в адміністративному корпусі, площею біля 400 м²).



Рис. 6. Супутникова зйомка пошкодженого об'єкту [24].

Fig.6. Satellite imagery of the object [24]

Пожежа, що сталася після влучання, продовжувалася та збільшувалася за рахунок подальших обстрілів реактивними системами залпового вогню та артилерії росіян у період з 12.03 по 15.03.2022 р. Це зробило неможливим термінове гасіння пожежі, викликало численні випадки руйнування колон внаслідок динамічних навантажень. Вигляд фасаду після пожежі в блоку холодильника можна побачити на Рис. 2, Рис.3 та Рис.5.

На схемі руйнувань, Рис. 7, показано руйнування після майже 2-х тижневої пожежі два епіцентри максимальних руйнувань. Перший епіцентр руйнувань знаходиться між літерними осями(12-27) і цифровими(Д-Л), (місце потраплення 1-ї ракети). Він має площу суцільного руйнування конструкцій вже близько 15000 м².



Рис. 7. Схема руйнувань
Fig.7. Map of the damaged areas

Другий епіцентр руйнувань – в зоні адміністративно-побутового блоку між осями (34-38) та (Д-Л). Він має площу критичного пошкодження конструкцій вже близько 3000 м².

Необхідно зазначити, що будівельні конструкції об'єкту були під комбінованим впливом як динамічних навантажень внаслідок обстрілу, так і температурних внаслідок пожежі (Рис. 8.).



Рис. 8. Пошкодження стінки двотаврової балки від потрапляння боєприпасів. Автор фото Доброхлоп Є.
Fig. 8. Damage to the wall of an I-beam from ammunition impact.
Photo by Dobrokhlop Ye.

Найбільш характерним проявом впливу температури на будівельні конструкції є повне руйнування в зоні пожежі захисного

шару бетону, до робочої арматури.(Рис. 9.-10).



Рис. 9. Руйнування захисного шару балки. Автор фото Доброхлоп Є.
Fig. 9. Destruction of the protective layer of the beam.
Photo by Dobrokhlop Ye



Рис. 10. Руйнування захисного шару балки. Автор фото Доброхлоп Є.
Fig. 10. Destruction of the protective layer of the beam.
Photo by Dobrokhlop Ye.

В зоні адміністративного корпусу (другий центр максимальних руйнувань) під впливом температури відшарувався захисний шар бетону на колонах і балках. Круглопустотні плити перекриття були зруйновані внаслідок зниження модуля пружності сталі при нагріванні і втрати зчеплення арматури з бетоном, (Рис. 11). Це може свідчити, що температура в зоні пошкодження конструкцій тривалий час перевищувала 700°C.

Наведені та проілюстровані фотографіями різні види руйнування попередньо напружених згинальних елементів, що зазнали динамічного навантаження та температурного впливу від пожежі, так і ненапружених залізобетонних колон.



Рис. 11. Пошкодження круглопустотних плит перекриття і балок в зоні високотемпературного горіння.

Автор фото Доброхлоп Є.

Fig. 11. Damage to round hollow slabs and beams in the high-temperature combustion zone. Photo by Dobrokhlop Ye.

Треба зазначити, що за результатами обстеження несучі конструкції холодильника і вбудовано-прибудованого адміністративно-побутового блоку в осях 34-38 були визначені як повністю зруйновані і непридатні до подальшого використання. На цей час уламки будівлі демонтовані і виконуються монтажні роботи по відновленню холодильника.

ВИСНОВКИ

За результатами обстеження можна зробити наступні висновки:

- 1) Потрапляння боєприпасів, навіть таких потужних як крилаті ракети в будівлю з каркасною безкісцевою схемою із збірних залізобетонних колон і залі-

зобетонних двосхилих балок не викликала моментального переходу конструкцій будівлі в аварійний стан. Динамічні навантаження від боєприпасів могли зруйнувати декілька окремих елементів каркасу, проте суцільне руйнування будівлі відразу не відбулося.

- 2) Основною причиною руйнування конструкцій в центральній частині холодильника був довготривалий (протягом декількох днів) вплив високої температури, який викликав руйнування захисного шару бетону попередньо напружених згинальних елементів (балок) і стиснутих елементів (колон), деформацію (температурне відпускання) попередньо напруженої арматури. Це викликало порушення стійкості і подальше обвалення елементів каркасу.
- 3) В зоні трьохповерхового адміністративного блоку через високу температуру і інтенсивність пожежі на 1-му поверсі будівлі, сталося відшарування захисного шару бетону на колонах і балках. Руйнування, чи порушення стійкості колон і балок не сталося, насамперед через низькі, як для габаритів конструкцій навантаження, великі резерви по міцності конструкцій і досить швидке закінчення пожежі в цих приміщеннях після вигорання горючих матеріалів.
- 4) Попередньо напружені круглопустотні плити перекриття були зруйновані внаслідок зниження модуля пружності сталі при нагріванні і втрати зчеплення арматури з бетоном. Після втрати зчеплення відбулося руйнування нижньої зони плит перекриття, з виходом назовні деформованої арматури. Виключно через низькі навантаження на плити (в приміщеннях на 2 поверсі були розміщені тільки адміністративні приміщення) не відбулося обвалення плит перекриття, незважаючи на їх зібкість.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 9273:2024. «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість» [На заміну ДСТУ-Н

- Б. В.1.2-18:2016; Чинні від 2024-10-01]. //ДП «УкрНДНЦ» 2024 р. 73 с.
2. **ДБН В. 2.6-98:2009.** Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення / *Мінрегіонбуд України*. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
 3. **ДБН В.1.2-14:2018.** Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – [На заміну ДБН В.1.2-14:2009; Чинні від 2019-01-01]. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 30 с.
 4. **ДСТУ-Н Б EN 1990-1-2:2010.** Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT+ EN 1991-1-2:2002/AC:2013, IDT+ NA:2013) / *Мінрегіон України*. – Мінрегіон України, 2011. – 75 с.
 5. **ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012** Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT)/ *Мінрегіон України*. – Мінрегіон України, 2013. – 129 с.
 6. **Fire Design of Concrete Structures - Materials, Structures and Modelling, Bulletin 38, Fe'de'ration Internationale du Be'ton, p. 97, Lausanne, 2007.**
 7. **Клименко В.З. Белов І.Д.** Випробування конструкцій, обстеження та моніторинг будівель і споруд // *Підручник /Клименко В.З. Белов І.Д. - К. Кондор видавництво – 2015. – 572 с.*
http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2022/Klimenko_2015_572.pdf
 8. **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>
 9. **Гладишев Г., Гладишев Д.** Визначення зони теплового впливу пожежі за результатами обстеження конструкцій перекриття . Будівельні конструкції. Теорія і практика, (10), 32–41.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.32-41>
 10. **Кріпак, В. & Колякова, В. (2021).** Взаємозалежність конструктивних і розрахункових схем будівлі. // *Будівельні конструкції. Теорія і практика, 1(8), 17–24.*
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.17-24>
 11. **Отрош Ю.А.** Розробка підходу до визначення технічного стану будівельних конструкцій при дії силових та високотемпературних впливів // *Вісник ОДАБА „Будівельні конструкції”*. Вип. 71, Одеса, ОДАБА, 2018. – С. 54-60.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodaba_2018_71_10
 12. **Отрош Ю.А.** Методика визначення технічного стану будівельних конструкцій виробничих будівель після пожежі / Ю.А. Отрош // *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. – 2016. – №. 160. – С. 111-119.
<https://doi.org/10.18664/1994-7852.160.2016.70236>
 13. **Пушкаренко А.С.** Оцінка можливості експлуатації залізобетонних конструкцій після пожежі // *Збірник наукових праць „Проблеми пожежної безпеки”*. Вип. 27, Львів, НУЦЗУ, 2010. С. 175-179.
<https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOffFireSafety/vol27/04.pdf>
 14. **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)
 15. **Solodei, I., Ruvin, O., Koliakova, V., & Kulikov, O. (2024).** Постановка задачі взаємодії споруди і ґрунтового пластичного середовища в умовах динамічних еволюційних процесів. *Strength of Materials and Theory of Structures, (112), 83-92.*
<https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.83-92>
 16. **Shyamala G., Mahesh V., Rajesh Kumar K. & Rajasri Reddy I.** Thermal behavior of Concrete subjected to elevated temperature: Case Studies. *OP Conf. Series: Materials Science and Engineering 981 (2020) 032068*
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/3/032068>
 17. **S. Krishna Priya Rao and Tezeswi Tadepalli.** High-Temperature Behaviour of Concrete: A Review. *Conference Paper · January 2024*
https://doi.org/10.1007/978-981-99-7464-1_13
 18. **Pimienta P., Alonso MC, McNamee RJ, Mindeguia** Behaviour of high-performance concrete at high temperatures: some highlights. *JC (2017) RILEM Tech Lett 2:45–52.*
<https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2017.53>
 19. **Шеховцов, В., Фесенко, О., Малахов, В., & Бондаренко, О. (2024).** Відновлення із

- надбудовою житлових будинків масових серій 1960-х років зі збірної залізобетону. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (14), 67–78.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.14.2024.67-78>
20. **Hager I.**, Behavior of cement concrete at high temperature. *Bulletin of the Polish Academy of sciences technical sciences*, Vol. 61, No. 1, 2013
<https://doi.org/10.2478/bpasts-2013-0013>.
 21. **Qianmin M., Rongxin G., Zhiman Z.** Mechanical properties of concrete at high temperature – review / *Construction and Building Materials*. – № 93. – 2015. – P. 371–383.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.131>
 22. **Khoury G.A.**, Effect of fire on concrete and concrete structures. (2000) *Prog Struct Eng Mater* 2(4):429–447.
<https://doi.org/10.1002/pse.51>
 23. **Khoury G.A.**, Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment; *Magazine of Concrete Research* 44 (161), 291–309 (1992).
<https://doi.org/10.1680/mac.1992.44.161.291>
 24. **Кріпак В., & Дробаха О.** (2017). Реконструкція житлового будинку з надбудовою з використанням зовнішнього металевого каркасу. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 1(1), 158–165.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.1.2017.158-165>
 25. **Zheng Z.**, Experimental study on concrete spalling in prestressed slabs subjected to fire”, *Fire Safety J.* 45, 283–297. (2010).
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2010.06.001>
 26. **Колякова В.М.** (2020). Про вимоги щодо статей, які публікуються у збірнику наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика». *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (6), 114–118.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.114-118>.
- REFERENCES
1. **DSTU 9273:2024.** «Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichniy opir ta stiikist» [Na zaminu DSTU-N B. V.1.2-18:2016; Chynni vid 2024-10-01] / DP «UkrNDNTs» 2024 r. 73 s.
 2. **DBN V. 2.6-98:2009.** Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni i zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia / *Minrehionbud Ukrainy*. – K.: *Minrehionbud Ukrainy*, 2011. – 71 s.
 3. **DBN V.1.2-14:2018.** Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud.: – [Na zaminu DBN V.1.2-14:2009; Chynni vid 2019-01-01]. – K.: *Ukrarkhbudininform*, 2018. – 30 s.
 4. **DSTU-N B EN 1990-1-2:2010.** Eurocode 1. Dii na konstruktsii. Chastyna 1-2. Zahalni dii. Dii na konstruktsii pid chas pozhezhi (EN 1991-1-2:2002, IDT+ EN 1991-1-2:2002/AS:2013, IDT+ NA:2013) / *Minrehionbud Ukrainy*. – *Minrehionbud Ukrainy*, 2011. – 75 s.
 5. **DSTU-N B EN 1992-1-2:2012** Eurocode 2. Proektuvannia zalizobetonnykh konstruktsii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstruktsii na vohnestiikist (EN 1992-1-2:2004, IDT) / *Minrehion Ukrainy*. – *Minrehion Ukrainy*, 2013. – 129 s.
 6. **Fire Design of Concrete Structures - Materials, Structures and Modelling**, Bulletin 38, Fe´de´ration Internationale du Be´ton, p. 97, Lausanne, 2007.
 7. **Klymenko V.Z. Belov I.D.** Vyprobuvannia konstruktsii, obstezhennia ta monitorynh budivel i sporud // *Pidruchnyk /Klymenko V.Z. Belov I.D. - K. Kondor vydavnytstvo – 2015. – 572 s.*
 8. **Nuzhnyi, V.** Pershi doslidzhennia uskodzhen budivel i sporud vnaslidok boiovykh dii. *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*,(11) (2022).,104–114.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.104-114>
 9. **Hladyshev H., Hladyshev D.** Vyznachennia zony teplovoho vplyvu pozhezhi za rezultatamy obstezhennia konstruktsii perekryttia . *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, (10), 32–41.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.32-41>
 10. **Kripak, V. & Koliakova, V.** (2021). Vzaiemoza-lezhnist konstruktyvnykh i rozrakhunkovykh skhem budivli. // *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka*, 1(8), 17–24.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.17-24>
 11. **Otrosh Yu.A.** Rozrobka pidkhopu do vyznachennia tekhnichnoho stanu budivelnnykh konstruktsii pry dii sylovykh ta vysokotemperaturnykh vplyviv // *Visnyk ODABA „Budivelni konstruktsii”*. Vyp. 71, Odesa, ODABA, 2018. – S. 54-60.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodaba_2018_71_10

12. **Otrosh Yu.A.** Metodyka vyznachennia tekhnichnoho stanu budivelnykh konstruksii vyrobnychych budivel pislia pozhezhi / Yu.A. Otrosh // *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu.* – 2016. – №. 160. – S. 111-119. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.160.2016.70236>
13. **Pushkarenko A.S.** Otsinka mozhlivosti ekspluatatsii zalizobetonnykh konstruksii pislia pozhezhi // *Zbirnyk naukovykh prats „Problemy pozheznoi bezpeky”.* Vyp. 27, Lviv, NUTsZU, 2010. S. 175-179. UDK 614-84 <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol27/04.pdf>
14. **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)
15. **Solodei, I., Ruvin, O., Koliakova, V., & Kulikov, O.** (2024). Postanovka zadachi vzaïmodii sporudy i hruntovoho plastychnoho seredovyshcha v umovakh dynamichnykh evoliutsii-nykh protsesiv. *Strength of Materials and Theory of Structures*, (112), 83-92. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.83-92>
16. **Shyamala G., Mahesh V., Rajesh K. Kumar & Rajasri Reddy.** Thermal behavior of Concrete subjected to elevated temperature: *Case Studies. OP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 981 (2020) 032068 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/3/032068>
17. **S. Krishna Priya Rao and Tezeswi Tadepalli.** High-Temperature Behavior of Concrete: A Review. *Conference Paper · January 2024* https://doi.org/10.1007/978-981-99-7464-1_13
18. **P. Pimienta, Alonso MC, McNamee RJ, Mindeguia** Behavior of high-performance concrete at high temperatures: some highlights. *JC (2017) RILEM Tech Lett* 2:45–52. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2017.53>
19. **Shekhovtsov, V., Fesenko, O., Malakhov, V., & Bondarenko, O.** (2024). Vidnovlennia iz nadbudovoïu zhytlovykh budynkiv masovykh serii 1960-kh rokiv zi zbirnoho zalizobetonu. *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka*, (14), 67–78. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.14.2024.67-78>
20. **I. Hager,** Behavior of cement concrete at high temperature. *Bulletin of the Polish Academy of sciences technical sciences*, Vol. 61, No. 1, 2013 <https://doi.org/10.2478/bpasts-2013-0013>.
21. **M. Qianmin, G. Rongxin, Z. Zhiman** Mechanical properties of concrete at high temperature – review / *Construction and Building Materials.* - No. 93. - 2015. - P. 371–383. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.131>
22. **Khoury G.A.,** Effect of fire on concrete and concrete structures. (2000) *Prog Struct Eng Mater* 2(4):429–447. <https://doi.org/10.1002/pse.51>
23. **Khoury G.A.,** Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment; *Magazine of Concrete Research* 44 (161), 291–309 309 (1992). <https://doi.org/10.1680/macr.1992.44.161.291>
24. **Kripak, V., & Drobakha, O.** (2017). Rekonstruktsiia zhytlovoho budynku z nadbudovoïu z vykorystanniam zovnishnoho metalovoho karkasu. *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka*, 1(1), 158–165. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.1.2017.158-165>
25. **Zheng Z.,** “Experimental study on concrete spalling in prestressed slabs subjected to fire”, *Fire Safety J.* 45, 283–297. (2010). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2010.06.001>
26. **Koliakova, V.** (2020). Pro vymohy shodo statey, yaki pyblykyutsya y zbirnyky naykovykh prac “Budivelny konstruksii. Teoriya I praktyka” *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka*, (6), 114–118. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.114-118>

**RESULTS OF THE TECHNICAL
INVESTIGATION OF THE LOGISTICS
CENTER IN BROVARY AFTER THE
ROCKET AND ARTILLERY FIRE
IN MARCH 2022**

*Mykola DOBROKHLOP,
Yehor DOBROKHLOP*

Summary. The article presents the results of the survey and details of the destruction of the reinforced concrete structures of the refrigerator building with built-in and attached administrative and household premises. The building was damaged as a result of being hit by two air-to-ground cruise missiles, and then the building and the surrounding area were repeatedly hit by Grad multiple launch rocket systems during hostilities in February-March 2022. The result of the missile strike was a large-scale fire that lasted several days, due to the impossibility of extinguishing it during hostilities at a distance of up to 10 kilometers from the building. The result of ammunition entering the building and the fire was the destruction of the supporting reinforced concrete

structures of the building frame, loss of stability and destruction of building elements.

The article briefly describes the characteristics of the building (structural scheme, types of structures) and gives different types of destruction of the supporting reinforced concrete structures of the building frame, depending on the main factors that affected them (mechanical impact, dynamic loads and long-term impact on the structures of high temperature during a fire).

Various types of destruction of both prestressed bending elements and unstressed reinforced concrete columns that were subjected to dynamic loading and temperature effects from a fire are presented and illustrated with photographs. A diagram of the location of the damage zones of the structures in the building is also provided, and a preliminary assessment of the influence of various factors on the destruction of the supporting reinforced concrete structures of the building frame, their impact on the stability and bearing capacity of the structures is carried out.

Keywords: reinforced concrete structures; de-struction; fire; shelling; damage.

Стаття надійшла до редакції 28.10. 2024