

Ю.А. Отрош<sup>1</sup>, А.І. Ковальов<sup>1</sup>, Н.В. Рашкевич<sup>1</sup>, І.С. Тараненко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Україна

<sup>2</sup>Головне управління ДСНС України у м. Києві, Україна

## ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЛІ ІЗ ВОГНЕЗАХИЩЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Розроблено комп'ютерну модель теплового та напружено-деформованого стану будівлі триповерхового паркінгу для автомобілів. Запропоновано заходи з підвищення меж вогнестійкості конструкцій будівлі паркінгу. Обґрунтовано товщину пасивного вогнезахисного покриття, коефіцієнт теплопровідності, питому теплосмість, які потрібно забезпечити при оцінюванні вогнестійкості вогнезахисної залізобетонної колони та підвищення меж вогнестійкості до 180 хвилин.

**Ключові слова:** вогнестійкість, вогнезахиснені залізобетонні конструкції, вогнезахисне покриття, теплофізичні характеристики.

### Постановка проблеми

Вирішення актуальної проблеми у сфері пожежної безпеки, що полягає у подоланні недосконалості методів оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій шляхом розробки розрахунково-експериментального методу оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій з обґрунтованими параметрами та умовами експлуатації вогнезахисних покриттів. Відповідно до класифікації в європейських стандартах запропонований метод відноситься до уточнених методів з використанням сертифікованого програмного забезпечення.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Забезпечення нормованого значення меж вогнестійкості несучих елементів залізобетонних будівельних конструкцій є важливою і досить складною проблемою. Розв'язання проблеми дозволить на стадії проектування, будівництва та експлуатації будівель і споруд застосовувати конструкції, які здатні забезпечити стійкість об'єкту при високотемпературному впливі.

В [1] розглянуто підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій з поліпропіленового мікроволоконна. Показано, що поліпропіленове мікроволокно може повністю запобігти вибуховому руйнуванню бетону. Проте, поза увагою дослідників залишилися питання підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій з використанням вогнезахисних покриттів та розрахунок вогнестійкості будівлі в цілому з використанням сучасних програмних комплексів.

В [2] послідовно проведений аналіз теплового напруження конструкцій із залізобетону за допомогою програмного забезпечення ABAQUS. Авторами здійснено порівняння результатів термічного аналізу з акцентом на вплив граничних умов. Однак, залишилися невирішеними питання оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних конструкцій в складі будівлі, а також вплив параметрів вогнезахисних покриттів на вогнестійкість конструкцій.

В [3] наданий огляд питань вогнестійкості залізобетонної колони, яка традиційно визначається експериментальним методом. На сьогоднішній день впроваджено новий підхід, який враховує ряд основних характеристик колони під час пожежі, розроблено ряд рівнянь для прогнозування вогнестійкості колони. Однак, невирішеними залишилися питання оцінювання вогнестійкості вогнезахисних залізобетонних конструкцій з обґрунтованими параметрами вогнезахисних покриттів з застосуванням сучасних програмних комплексів.

В [4] представлений імовірнісний термомеханічний аналіз за допомогою методу кінцевих елементів. Представлена методологія дозволяє досліджувати вплив зміни теплових властивостей бетону на пожежну безпеку конструкцій. В роботі враховані невизначеності, які пов'язані з тепловими та механічними властивостями бетону, температурами, описаною стандартною температурною кривою пожежі. Однак, залишилися не розглянуті в достатній мірі питання щодо розрахунків вогнезахисних залізобетонних конструкцій.

В [5] розглянуто перспективи розвитку завдань з забезпечення вогнестійкості залізобетонних та

попередньо напружених бетонних конструкцій – забезпечення безпеки, технології ремонту після пожежі. Однак, в роботі залишилися нерозкритими питання щодо побудови комп'ютерних моделей вогнезахищених залізобетонних конструкцій.

В [6] наведено результати моделювання випробувань на вогнестійкість бетонних та залізобетонних конструкцій. Авторами наведено сучасний експериментальний підхід з вивчення вогнестійкості різних компонентів конструкції, використовуючи чисельне моделювання полів температури та теплового потоку. Проте, не визначено, як даний підхід можна застосовувати для вогнезахищених залізобетонних конструкцій та будівель із конструкцій з урахуванням їх напружено-деформованого стану.

В [7] розглянуто вплив сценарію пожежі на вогнестійкість залізобетонної каркасної конструкції. За об'єкт експериментального та аналітичного дослідження взята 11-поверхова будівля із залізобетонних конструкцій після серйозних початкових пошкоджень. Початкові пошкодження були спричинені одночасним вибухом (видаленням) чотирьох сусідніх колон першого поверху та двох балок по периметру другого поверху. Для перевірки точності побудованої моделі використовувався тільки обчислювальний експеримент при оцінюванні вогнестійкості конструкцій, що розглядаються, але без систем вогнезахисту.

В [8] приведений розрахунок вогнестійкості колон із залізобетону. Вогнестійкість залізобетонних колон визначалася розрахунком у залежності від розміру, ексцентриситету навантаження, довжини вигину, відсотка армування, а також коефіцієнта безпеки покриття та конструкції. Проте, залишились не розглянуті достатньою мірою питання щодо розрахунків вогнезахищених залізобетонних колон з науково обґрунтованими параметрами вогнезахисних покриттів та їх порівняння з експериментальним визначенням вогнестійкості (розрахунково-експериментальний метод).

З проведеного аналізу літературних джерел встановлено, що основна частина досліджень присвячена вивченню питань вогнестійкості залізобетонних конструкцій. Однак, питання щодо визначення вогнестійкості вогнезахищених залізобетонних конструкцій, з яких складається будівля і які можна представити у зручній формі, досліджувались значно рідше або взагалі не розглядались [9].

Таким чином, невіршеною частиною проблеми є відсутність можливості оцінити вогнестійкість вогнезахищених залізобетонних будівельних конструкцій за допомогою адекватних комп'ютерних моделей, які дозволять моделювати

нестационарний прогрів вогнезахищених залізобетонних конструкцій та їх напружено-деформований стан за умов впливу різних чинників: температурних режимів пожежі, параметрів вогнезахисних покриттів, механічних та теплофізичних характеристик матеріалів конструкції, залежних від температури.

А також не розглядаються програмні комплекси, які сертифіковані в Україні, наприклад, ПК ЛПА-САПР.

### Формулювання мети статті

Метою роботи є розкриття особливостей сумісної роботи конструкцій та сумісного впливу високих температур та механічного навантаження на стійкість будівлі паркінгу із залізобетонних конструкцій в програмному комплексі ЛПА-САПР (Україна). Це дає можливість здійснити аналіз теплового та напружено-деформованого стану незахищених будівельних конструкцій паркінгу та розробити пропозиції з підвищення меж вогнестійкості конструкцій за допомогою вогнезахисних покриттів з обґрунтованими параметрами.

Для досягнення поставленої мети поставлені такі завдання:

- побудувати скінчено-елементну модель напружено-деформованого стану будівлі паркінгу для автомобілів із залізобетонних конструкцій та скінчено-елементної моделі елемента конструкції (колони) для визначення теплового навантаження;
- оцінити вогнестійкість вогнезахищених будівельних конструкцій за допомогою розробленої моделі;
- запропонувати заходи з підвищення меж вогнестійкості конструкцій за допомогою вогнезахисних покриттів з науково обґрунтованими параметрами.

### Виклад основного матеріалу

Результати розрахунків теплового та напружено-деформованого станів вогнезахищених залізобетонних (перекрыттів, колон) будівельних конструкцій [10–12] використано при оцінюванні вогнестійкості залізобетонних конструкцій на прикладі паркінгу із вогнезахищених конструкцій. Для цього було обрано 3-х поверховий паркінг, що являє собою монолітно-каркасну будівлю, виконану із монолітного залізобетону. Загальна місткість паркінгу 124 паркомісця під легкові автомобілі (з них на 1-му поверсі 56).

Для вказаного проекту в програмному комплексі ЛПА-САПР побудована модель паркінгу, зображеного на рис. 1.

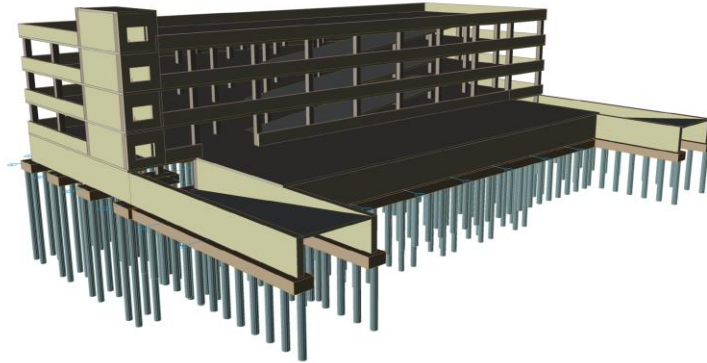


Рис. 1. Модель триповерхового паркінгу, побудованого в програмному комплексі ЛІРА-САПР.

На рис. 1 показано створену в програмному комплексі ЛІРА-САПР модель триповерхового паркінгу, задані навантаження на конструкції паркінгу. Модель складається з 49105 елементів та 40070 вузлів. Навантаження на плиту прийняті: постійне –  $0,55 \text{ т/м}^2$ , тимчасове –  $0,96 \text{ т/м}^2$ , із них довготривале –  $0,6 \text{ т/м}^2$ , короткочасне  $0,36 \text{ т/м}^2$ .

Змодельованим елементам скінчено-елементної моделі було призначено типи жорсткості.

На рис. 2 показано створену в програмному комплексі ЛІРА-САПР скінчено-елементну модель триповерхового паркінгу, задані навантаження на конструкції паркінгу.

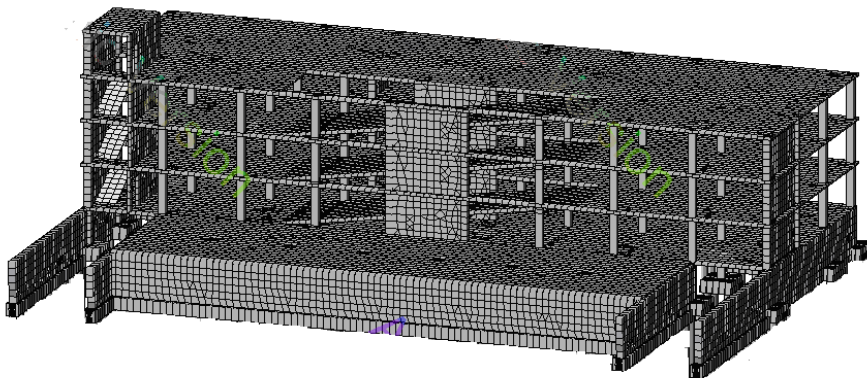


Рис. 2. Скінчено-елементна 3D модель триповерхового паркінгу.

В результаті чисельного моделювання було встановлено місце виникнення пожежі, наслідки від якої призведуть до найбільших значень зусиль та навантажень в конструкціях. Відповідно це призведе

до втрати несучої здатності конструкцій, і, як наслідок, до втрати загальної стійкості будівлі паркінгу (рис. 3).

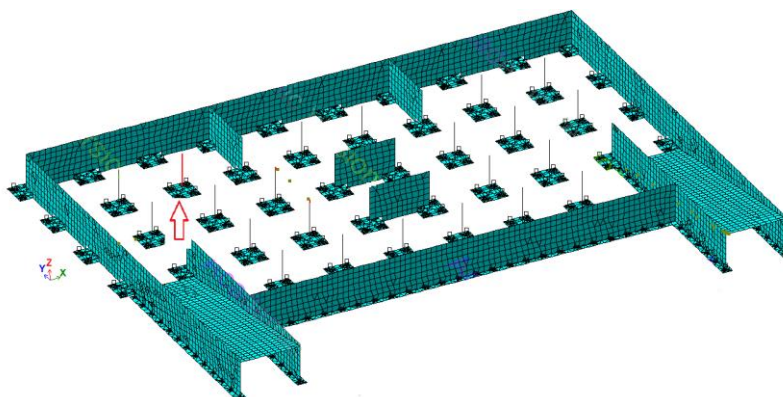


Рис. 3. Місце виникнення пожежі, наслідки від якої призведуть до найбільших значень зусиль та навантажень в конструкціях.

Для розрахунків нерівномірних розподілів температури в поперечному перерізі вогнезахисної залізобетонної колони застосовували математичну модель нестационарної теплопровідності, математичний апарат якої використано в програмі ЛПА-САПР. Модель містить диференційне рівняння теплопровідності, враховує радіаційно-конвективний теплообмін від газового середовища до обігрівних поверхонь колони (обігрів з 4-ох сторін) (граничні умови III-го роду), теплообмін теплопровідністю в колоні. Для розв'язання рівняння теплопровідності використовувався метод скінчених елементів, реалізований в програмі ЛПА-САПР.

Задані параметри бетону та сталі розв'язанням обернених задач теплопровідності.

Теплофізичні і механічні характеристики бетону задані залежними від температури. Коефіцієнти тепловіддачі і теплового випромінювання задані константами. Початкова температура конструкції 6 °С.

Питома вага покриття  $R_0=500 \text{ кг/м}^3=4903,325 \text{ Н/м}^3$  (дані виробника).

Питома вага сталі,  $R_0=7850 \text{ кг/м}^3=76982,2 \text{ Н/м}^3$ .

Питома вага бетону  $R_0=2300 \text{ кг/м}^3=22555,3 \text{ Н/м}^3$ .

$\sigma$  – стала Стефана Больцмана,  $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C}^4)$ .

$\square_0$ – початкова температура,  $\square_0=6 \text{ °C}$ .

коефіцієнт Пуассона сталі  $\nu=0,3$ , початковий модуль пружності сталі  $E_s=2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ .

Початковий модуль пружності бетону  $29 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ .

В програмі ЛПА-САПР реалізовані підходи, засновані на тому, що якщо необхідно підвищити межу вогнестійкості залізобетонної колони до нормованих значень, то це досягається проектуванням додаткової арматури. У випадку якщо необхідно підвищити межу вогнестійкості колони з 150 до 180 хвилин площа армування збільшується в 10 разів. Так при забезпеченні межі вогнестійкості 150 хв. залізобетонної колони квадратного перерізу, розмірами  $0,5 \times 0,5 \times 3 \text{ м}$  максимальна площа армування складає  $5,55 \text{ см}^2$ . При забезпеченні межі вогнестійкості 180 хв. така сама колона потребує збільшення максимальної площі армування до  $58,7 \text{ см}^2$ . Такі підходи мають місце при проектуванні будівель та споруд, проте взагалі не прийнятні при експлуатації вже побудованих будівель та при необхідності підвищення меж вогнестійкості залізобетонних конструкцій до нормованих значень.

Це можливо досягнути використанням вогнезахисних покриттів з науково обґрунтованими параметрами: товщиною, видом покриття (реактивне, пасивне), теплофізичними характеристиками (коефіцієнт теплопровідності, теплоємність).

На рис. 4 а показано результати чисельного моделювання залізобетонної колони квадратного перерізу, розмірами  $0,5 \times 0,5 \times 3 \text{ м}$  та температура в арматурних стрижнях (рис. 4 б) в умовах впливу стандартного температурного режиму пожежі.

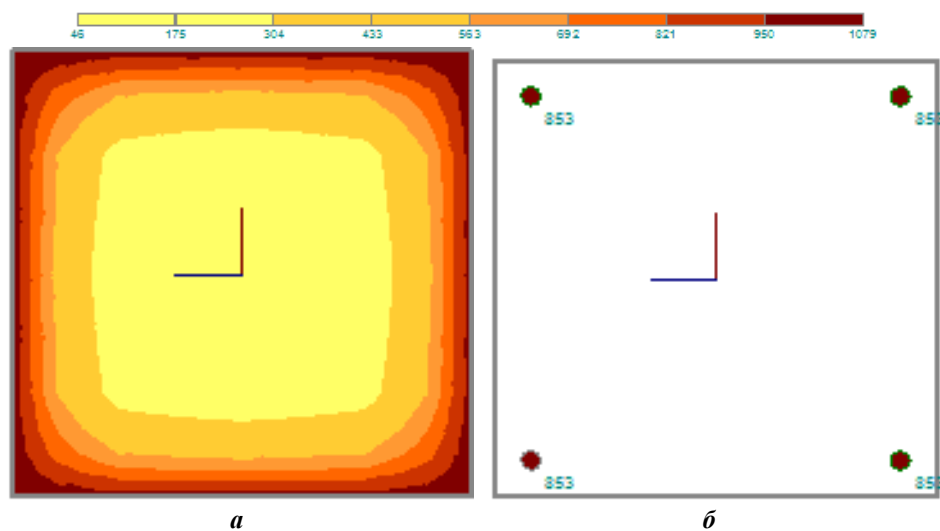


Рис. 4. Розподіл температур у залізобетонній колоні (а) та арматурних стрижнях (б) на 150 хвилині випробування.

Як видно із рис. 4 температура на арматурних стрижнях досягає 853 °С, що є достатнім для забезпечення вогнестійкості R150 при даних розрахункових зусиллях в колоні.

В разі підвищення межі вогнестійкості колони до 180 хвилин розподіл температур в перерізі та на арматурних стрижнях буде становити, як показано на рис. 5.

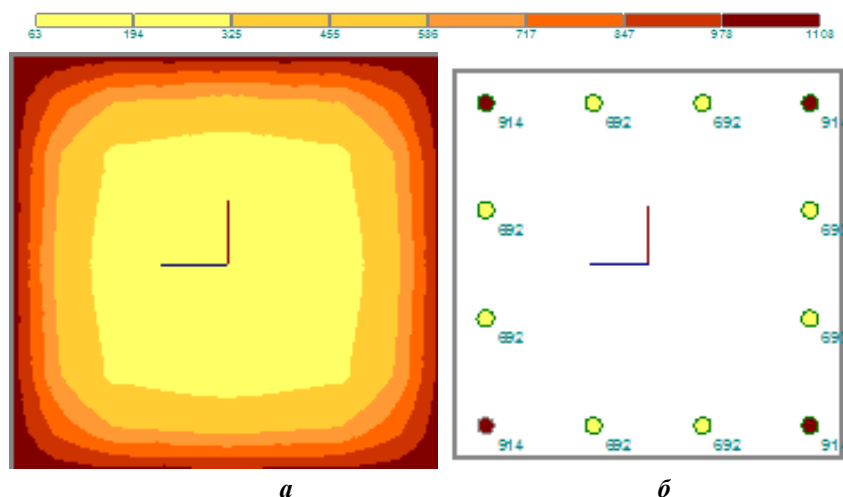


Рис. 5. Розподіл температур у залізобетонній колоні (а) та арматурних стрижнях (б) на 180 хвилині випробування.

Як видно із рис. 5 температура на кутових арматурних стрижнях досягає 914 °С, та з'являється додаткова арматура. Це вказує на те, що існуючої арматури не достатньо для забезпечення вогнестійкості R180 при даних розрахункових зусиллях в колоні. Тому наступним кроком було підвищення вогнестійкості залізобетонної колоні до нормованих значень межі вогнестійкості 180 хвилин за допомогою використання вогнезахисних покриттів.

Для підвищення межі вогнестійкості залізобетонної колоні до 180 хв. розмірами 0,5×0,5×3 м можливо застосування вогнезахисних покриттів з науково обґрунтованими параметрами. До таких параметрів слід віднести: вид, товщину вогнезахисного покриття, місця нанесення та умови експлуатації. Для підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій найбільш ефективні та переважно використовуються пасивні вогнезахисні покриття. Було обрано таке пасивне вогнезахисне покриття, коефіцієнт теплопровідності якого

знайдено в роботах [10–11]. Питома об'ємна теплоємність покриття була знайдена розв'язанням обернених задач теплопровідності і склала  $C_v=10^6$  Дж/м<sup>3</sup>·°С.

Використовуючи теплофізичні характеристики покриття, проведено моделювання вогнезахисту залізобетонної колоні. В результаті проведених досліджень встановлено, що для підвищення межі вогнестійкості залізобетонної колоні розмірами 500×500 мм до 180 хвилин необхідно запроєктувати вогнезахист у вигляді вогнезахисного покриття з заданими параметрами арматури і бетону. При цьому, товщина вогнезахисного покриття повинна складати 11 мм на основі розв'язання прямих задач теплопровідності у програмному комплексі FRIEND.

В результаті чисельного моделювання були отримані розподіли температур у вогнезахисненій залізобетонній колоні на 180 хв. вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі при обігріві колоні з чотирьох сторін (рис. 6).

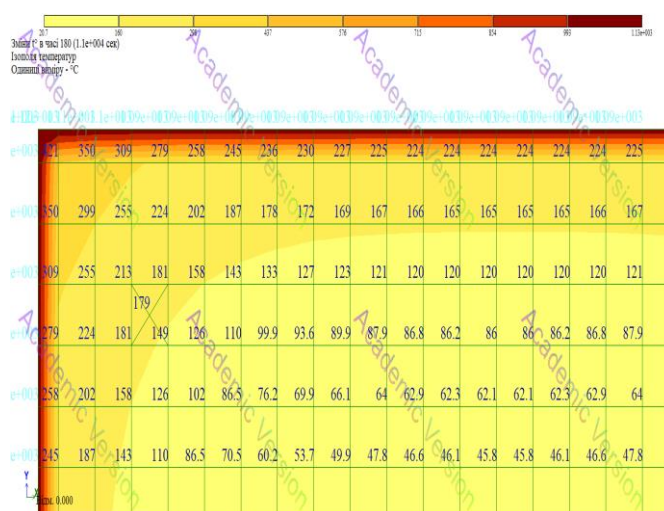


Рис. 6. Розподіл температур в вогнезахисненій залізобетонній колоні на 180 хвилині випробування.



обґрунтованими параметрами. При чисельних розрахунках нестационарного прогріву вогнезахищеної залізобетонної колони паркінгу (товщина покриття 11 мм) за умов впливу стандартної пожежі протягом 180 хвилин встановлено, що температура на арматурних стрижнях досягла 213 °С, що в 4 рази менше від прогріву незахищеної колони.

### Література

1. Xu, Q., Han, C., Wang, Y.C., Li, X., Chen, L., Liu, Q. (2015). Experimental and numerical investigations of fire resistance of continuous high strength steel reinforced concrete T-beams. *Fire Safety Journal*, 78, 142–154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.09.001>
2. Rafika, Saudagar Ashpak, Hashmi, A.K. (2021). Review on Fire Resistance of Reinforced Concrete Column. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 8 (4), 1881–1887.
3. R. C. S. de Souza, M. Andreini, S. La Mendola, J. Zehfuß, C. Knaust. (2019). Probabilistic thermo-mechanical finite element analysis for the fire resistance of reinforced concrete structures. *Fire Safety Journal*, 104, 22–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.12.005>
4. Zheng, W., Hou, X., Wang, Y. (2016). Progress and prospect of fire resistance of reinforced concrete and prestressed concrete structures. *J. Harbin Inst. Technol*, 48, 1–18. doi : [10.11918/j.issn.0367-6234.2016.12.001](https://doi.org/10.11918/j.issn.0367-6234.2016.12.001)
5. Ibrahimbegovic, A., Boulkertous, A., Davenne, L., Muhasilovic, M., Pokrklic, A. (2010). On modeling of fire resistance tests on concrete and reinforced-concrete structures. *Computers and concrete*, 7(4), 285–301. doi : <https://doi.org/10.12989/cac.2010.7.4.285>
6. Tamrazyan, A.G., Mineev, M.S., Urasheva, A. (2020). Fire Resistance of Reinforced Concrete Corrosion-Damaged Columns of the "Standard" Fire. In *Key Engineering Materials*, 828, 163–169. doi : [10.4028/www.scientific.net/KEM.828.163](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.828.163)
7. Sasani, M. (2014). Progressive collapse resistance of reinforced concrete structures. In *Blast Mitigation: Experimental and Numerical Studies*, 331–350. doi : [10.1007/978-1-4614-7267-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7267-4_11)
8. Zheng, Y., Zhuang, J. (2011). Analysis on fire resistance of reinforced concrete Wall In *Advanced Materials Research*, 243, 797–800. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.797>
9. Sadkovyi, V., Andronov, V., Semkiv, O., Kovalov, A., Rybka, E., Otrosh, Yu. et. al. (2021). Fire resistance of reinforced concrete and steel structures. *PC Technology center*, 180 p. doi: <http://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>
10. Kovalov, A., Purdenko, R., Otrosh, Y., Tomenko, V., Rashkevich, N., Shcholokov, E., Pidhornyy, M., Zolotova, N., Suprun, O. (2022). Assessment of fire resistance of fireproof reinforced concrete structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (119)), 53–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266219>
11. Отрош, Ю.А. Дослідження вогнестійкості вогнезахищених залізобетонних конструкцій для підвищення рівня пожежної безпеки [Текст] / Ю.А. Отрош, А.І. Ковальов, Р.Р. Пурденко, Н.В. Рашкевич, Р.І. Майборода // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2022. – № 2(36). – С.102–122. doi: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-36-9>
12. Моделирование нестационарного прогріву вогнезахищених залізобетонних колон [Текст] / А.І. Ковальов, Р.Р. Пурденко, Ю.А. Отрош, В.І. Томенко,

Н.В. Рашкевич, С.П. Юрченко // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – Київ: ІДУМАНДЦЗ, 2022. – № 2(14). – С.87–98. doi: [https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2\(14\).87-98](https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2(14).87-98)

### References

1. Xu, Q., Han, C., Wang, Y.C., Li, X., Chen, L., Liu, Q. (2015). Experimental and numerical investigations of fire resistance of continuous high strength steel reinforced concrete T-beams. *Fire Safety Journal*, 78, 142–154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.09.001>
2. Rafika, Saudagar Ashpak, Hashmi, A.K. (2021). Review on Fire Resistance of Reinforced Concrete Column. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 8 (4), 1881–1887.
3. R. C. S. de Souza, M. Andreini, S. La Mendola, J. Zehfuß, C. Knaust. (2019). Probabilistic thermo-mechanical finite element analysis for the fire resistance of reinforced concrete structures. *Fire Safety Journal*, 104, 22–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.12.005>
4. Zheng, W., Hou, X., Wang, Y. (2016). Progress and prospect of fire resistance of reinforced concrete and prestressed concrete structures. *J. Harbin Inst. Technol*, 48, 1–18. doi : [10.11918/j.issn.0367-6234.2016.12.001](https://doi.org/10.11918/j.issn.0367-6234.2016.12.001)
5. Ibrahimbegovic, A., Boulkertous, A., Davenne, L., Muhasilovic, M., Pokrklic, A. (2010). On modeling of fire resistance tests on concrete and reinforced-concrete structures. *Computers and concrete*, 7(4), 285–301. doi : <https://doi.org/10.12989/cac.2010.7.4.285>
6. Tamrazyan, A.G., Mineev, M.S., Urasheva, A. (2020). Fire Resistance of Reinforced Concrete Corrosion-Damaged Columns of the "Standard" Fire. In *Key Engineering Materials*, 828, 163–169. doi : [10.4028/www.scientific.net/KEM.828.163](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.828.163)
7. Sasani, M. (2014). Progressive collapse resistance of reinforced concrete structures. In *Blast Mitigation: Experimental and Numerical Studies*, 331–350. doi : [10.1007/978-1-4614-7267-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7267-4_11)
8. Zheng, Y., Zhuang, J. (2011). Analysis on fire resistance of reinforced concrete Wall In *Advanced Materials Research*, 243, 797–800. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.797>
9. Sadkovyi, V., Andronov, V., Semkiv, O., Kovalov, A., Rybka, E., Otrosh, Yu. et. al. (2021). Fire resistance of reinforced concrete and steel structures. *PC Technology center*, 180 p. doi: <http://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>
10. Kovalov, A., Purdenko, R., Otrosh, Y., Tomenko, V., Rashkevich, N., Shcholokov, E., Pidhornyy, M., Zolotova, N., Suprun, O. (2022). Assessment of fire resistance of fireproof reinforced concrete structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (119)), 53–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266219>
11. Otrosh, Yu., Kovalov, A., Purdenko, R., Tomenko, V., Rashkevich, N., Maiboroda, R. (2022). Fire resistance of fireproof reinforced concrete structures to increase the fire safety level of facilities. *Problems of Emergency Situations*, 2(36), 102–122. doi: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-36-9>
12. Kovalov, A., Purdenko, R., Otrosh, Yu., Tomenko, V., Rashkevich, N., Yurchenko, S. (2022). Simulation of unstationary heating of fireproof reinforced concrete columns. *Scientific bulletin: Civil protection and fire safety*, 2(14), 87–98. doi: [https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2\(14\).87-98](https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2(14).87-98)

**Рецензент:** д.т.н., професор А.В. Кондратьєв, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

**Автор:** ОТРОШІЮРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ  
 доктор технічних наук, професор, начальник  
 кафедри пожежної профілактики в населених  
 пунктах  
 Національний університет цивільного захисту  
 України  
 E-mail – yuriyotrosh@gmail.com  
 ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0698-2888>

**Автор:** РАШКЕВИЧ НІНА ВЛАДИСЛАВНА  
 PhD, викладач кафедри пожежної профілактики в  
 населених пунктах  
 Національний університет цивільного захисту  
 України  
 E-mail – nine291085@gmail.com  
 ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5124-6068>

**Автор:** КОВАЛЬОВ АНДРІЙ ІВАНОВИЧ  
 кандидат технічних наук, старший науковий  
 співробітник, докторант  
 Національний університет цивільного захисту  
 України  
 E-mail – kovalev27051980@gmail.com  
 ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6525-7558>

**Автор:** ТАРАНЕНКО ІВАН СТАНІСЛАВОВИЧ  
 начальник караулу 19 ДПРЧ  
 Головне управління ДСНС України у м. Києві  
 E-mail – vanya.taranenko1999@gmail.com  
 ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1702-0820>

### ASSESSMENT OF THE FIRE RESISTANCE OF BUILDINGS FROM FIREPROOF REINFORCED CONCRETE BUILDING STRUCTURES

Yu. Otrosh<sup>1</sup>, A. Kovalov<sup>1</sup>, N. Rashkevich<sup>1</sup>, I. Taranenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

<sup>2</sup>Head Office of the State Emergency Service of Ukraine in Kyiv, Ukraine

The paper developed a computer model of the thermal and stress-strain state of a three-story car parking building, which consists of fire-resistant structures, taking into account: thermophysical characteristics of fire-resistant coatings, thermophysical and mechanical properties of the materials that make up the structure, nonlinear laws of deformation of the model materials, mechanical properties of materials at high temperature and force. Modeling of non-stationary heating of a reinforced concrete parking column with a square cross-section, dimensions 0.5×0.5×3 m under the conditions of exposure to a standard fire for 150 minutes was carried out. At the same time, it was found that the temperature on the reinforcing rods reaches 853 °C, which is sufficient to ensure the fire resistance of R150 at the given calculated forces in the column, and the mosaic of movements along the Z axis was not significant and amounted to 1.1 mm. The maximum reinforcement area was 5.55 cm<sup>2</sup>. When ensuring R180 fire resistance at the given calculated forces in the column, the temperature at the corner reinforcing bars reached 914 °C and the program calculated additional reinforcement. This indicates that the existing reinforcement is not enough to ensure the fire resistance of R180 at the given design forces in the column, so the maximum area of the reinforcement as a result of the calculation by the program increased to 58.7 cm<sup>2</sup> (10 times more than the initial one). Measures to increase the fire resistance limits of structures, consisting in the use of fire-resistant coatings with scientifically based parameters, are proposed. The thickness of the passive fire-resistant coating, the coefficient of thermal conductivity, the specific heat capacity, which must be ensured when evaluating the fire resistance of a fire-resistant reinforced concrete column and increasing the limits of fire resistance to 180 minutes, are substantiated.

Numerical calculations of non-stationary heating of a fire-protected reinforced concrete column of a parking lot (coating thickness 11 mm) under the conditions of exposure to a standard fire for 180 minutes revealed that the temperature on the reinforcing rods reached 213 °C, which is 4 times less than the heating of an unprotected column.

**Keywords:** fire resistance, fire-resistant reinforced concrete structures, fire-resistant coating, thermophysical characteristics.