

УДК 624.012

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.2.94-101>

*Ірина Рудешко,
Наталья Заїка (ORCID: 0000-0002-8757-5709),
Олег Куліца, кандидат технічних наук, доцент (ORCID: 0000-0003-2589-6520),
Станіслав Сідней, кандидат технічних наук (ORCID: 0000-0002-7664-6620),
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України*

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕБРИСТОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПАНЕЛІ ПОКРИТТЯ ЗА УМОВАМИ СТАНДАРТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЖЕЖІ

У роботі проведений аналіз останніх досліджень і публікацій стосовно проведення розрахунків з оцінки вогнестійкості залізобетонних ребристих панелей покриттів. Висвітлена проблематика щодо визначення розподілу температури по даним конструкціям за умовами впливу високих температур від пожежі.

За допомогою програмного комплексу створена геометрична модель залізобетонної ребристої панелі покриття. Побудована кінцево-елементна сітка з використанням кінцевих елементів, що дозволяє розв'язувати нелінійну задачу поширення температури при впливі стандартного температурного режиму пожежі. Змодельовані теплові математичні моделі для визначення розподілу температури у залізобетонній ребристій панелі покриття при впливі пожежі не враховуючи напружено-деформований стан конструкцій. За результатами проведених обчислювальних експериментів побудовані температурні криві щодо визначення розподілу температури по ребристій залізобетонній панелі покриття за умови впливу стандартного температурного режиму пожежі протягом 30 хв, 45 хв, 60 хв.

***Ключові слова:** ребриста залізобетонна панель покриття, кінцево-елемента модель, розподіл температури, вогнестійкість, стандартний температурний режим пожежі.*

Постановка проблеми. Панелі покриттів призначені для сприйняття навантаження від покрівлі, снігу, вентиляційних та інших пристроїв і передають її на несучі конструкції покриттів або стіни. Широкий типовий асортимент виробів дозволяє підібрати ідеальний варіант для кожного випадку. Завдяки можливості витримувати навантаження при застосуванні на великій ширині прольотів залізобетонні панелі покриття з ребрами є досить популярними при монтуванні перекриття у одноповерхових промислових та складських будівлях. Наявність поздовжніх і поперечних ребер жорсткості в даних панелях дозволяє витримати навантаження без деформацій і руйнувань.

Ребристі панелі покриттів виготовляються з важких або легких бетонів зі сталевим каркасом всередині [1]. Сталева арматура збільшує стійкість до вигину і стоншує готовий виріб, що дозволяє заощадити на бетоні. Для зручності застосування вказаний тип перекриттів виготовляється в збірному або консольному вигляді, що надає можливість використовувати ребристі панелі покриттів на різних об'єктах, що будуються.

Під час проведення проектування будь-яких будівель та споруд необхідно застосовувати будівельні конструкції, які спроможні необхідний час чинити опір підвищеним температурам від пожежі не переходячи у будь-який граничний стан з вогнестійкості. Подібні задачі розв'язуються завдяки проведенням оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій [2].

Найбільш точні показники вогнестійкості можливо отримати при проведенні спеціальних натурних вогневих випробувань у спеціальних організаціях [3, 4]. Але використання даного способу є суттєво трудомістким та вартісним. Існує інший варіант щодо проведення оцінки вогнестійкості – експериментальний метод [5, 6]. Цей метод також має певні обмеження, у тому числі і при відтворенні роботи конструкції у складі будівлі. У

відповідності до [2, 7] передбачається застосування ще одного методу – розрахункового. Цей метод полягає у проведенні певних розрахунків, що надає можливість врахувати всі умови роботи конструкцій, варіативність застосування будь-якого матеріалу, геометричних конфігурацій та параметрів, при цьому цей метод значно менш затратний та трудомісткий порівняно з попередніми методами [8].

Для реалізації розрахункового методу з проведення оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій на першому етапі, необхідно розв'язати теплову задачу, що пов'язана із визначенням поширення температури у конструкції при впливі пожежі.

Отже визначення розподілу температури у перерізі конструкції є один з головних параметрів при оцінюванні вогнестійкості конструкції, необхідність проведення дослідження по даному напрямку у перерізах залізобетонних ребристих панелей покриття є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує кілька видів розрахункових методів перевірки класів вогнестійкості: табличний, спрощений і уточнений [7, 9]. Однак отримані дані за табличним методом мають значний запас і не дають можливості визначити більш достовірніше показники вогнестійкості на відміну від зонного методу. При чому табличний метод можливий для застосування у разі товщини плити не менше 80 мм. Зонний метод можливо застосовувати для залізобетонних ребристих панелей покриття із висотою перерізу лише 200 мм, що унеможливує його використання для даних типів конструкцій у зв'язку із складністю перерізу та різними параметрами подібних конструкцій. Уточнений метод заснований на гіпотезах опору матеріалів і добре працює тоді, коли є чітке уявлення про поведінку будівельної конструкції в умовах пожежі. Відсутність такої інформації накладає обмеження на застосування даного методу, крім того розв'язання подібних задач потребує використання математичного моделювання із залученням складних комп'ютерних інженерних систем, заснованих на методі кінцевих елементів, оскільки дозволяє отримати великий обсяг даних, щодо поведінки будівельних конструкцій під час пожежі.

Даній тематиці присвячені декілька праць [10, 11], однак стосовно досліджень, щодо визначення розподілу температури у залізобетонних ребристих панелей покриття є недостатньою. Враховуючи, що без показників температури у перерізі будь-якої будівельної конструкції провести оцінку вогнестійкості за допомогою розрахункового методу неможливо, розв'язання теплової задачі при впливі пожежі на залізобетонну ребристу плиту є актуальною.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення розподілу температури у ребристій залізобетонній панелі покриття серії 1.165 – 1 при пожежі, використовуючи уточнений розрахунковий метод. Для досягнення мети поставлено для розв'язання наступні завдання:

1. Створити геометричну модель залізобетонної ребристої панелі покриття у повному розмірі у відповідності до серії 1.165 – 1 із врахуванням розташування каркасів та стрижнів арматури відповідного діаметру та класу.

2. Побудувати кінцево-елементу сітку з використанням кінцевих елементів, що дозволяють розв'язати нелінійну задачу розподілу температури у залізобетонній ребристої панелі покриття при впливі стандартного температурного режиму пожежі протягом 30 хв., 45 хв., 60 хв.

3. Змоделювати теплові математичні моделі для визначення розподілу температури у залізобетонній ребристої панелі покриття при впливі стандартного температурного режиму пожежі за умови завдання граничних умов III роду.

4. Провести дослідження визначення розподілу температури по ребристій залізобетонній панелі покриття серії 1.165–1 за умовою впливу стандартного температурного режиму пожежі терміном 30 хв., 45 хв., 60 хв.

5. Побудувати температурні криві розподілу температури у перерізі ребристій залізобетонній панелі покриття серії 1.165–1 за умовою впливу стандартного температурного режиму пожежі терміном 30 хв., 45 хв., 60 хв.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. На першому етапі була побудована геометрична модель залізобетонної ребристої панелі покриття із врахуванням розміщеного каркасу та стрижнів арматури в

середині конструкції (рис. 1). Для отримання найбільш достовірних результатів геометричні параметри змодельованої панелі ідентичні існуючій конструкції довжиною прольоту 6 м.

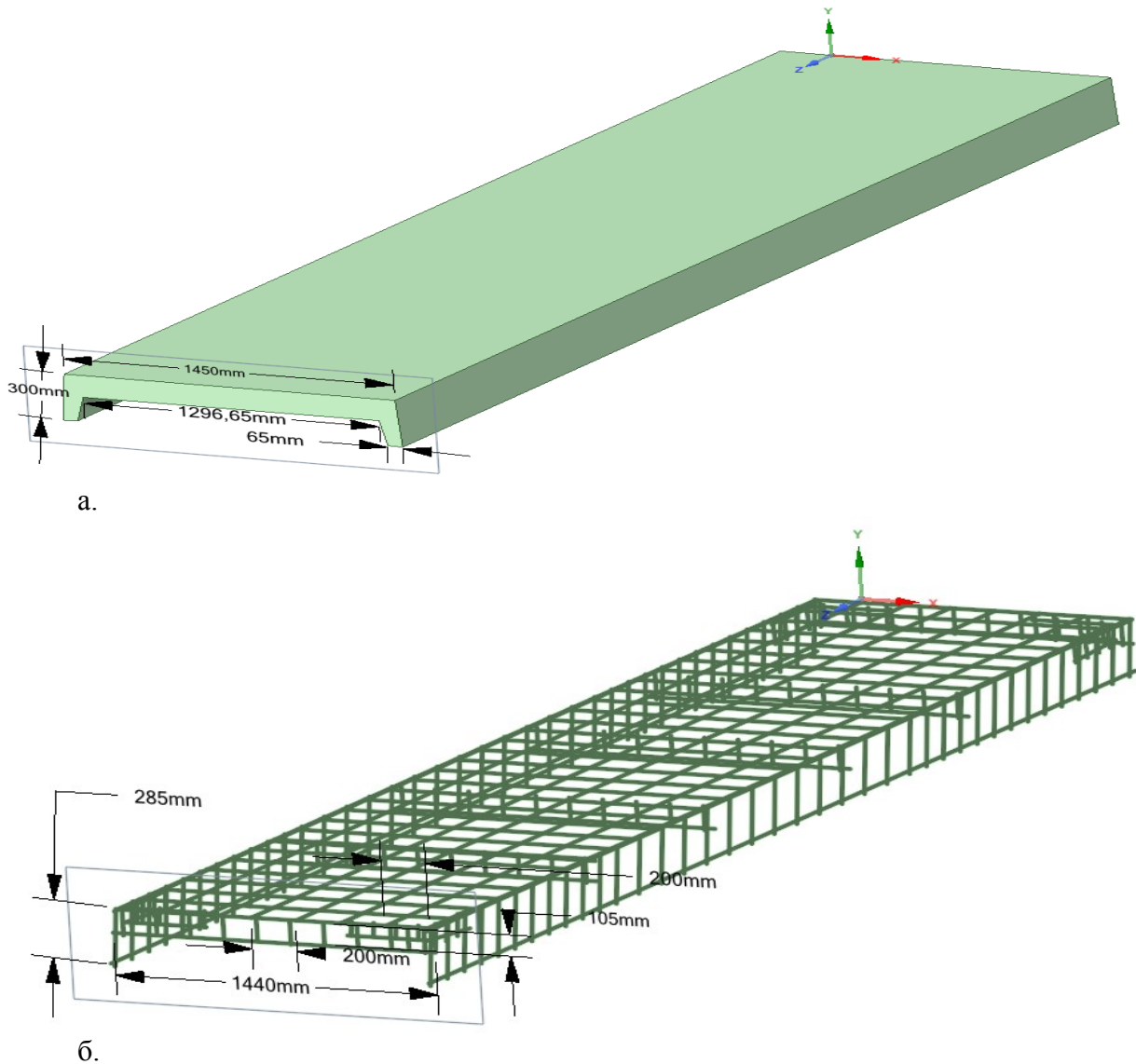


Рисунок 1 – Геометрична модель плити із врахуванням розміщеного каркасу та стрижнів арматури в середині конструкції (а – геометрична модель залізобетонної ребристої панелі покриття, б – сталевий каркас арматури, що змонтований у середині досліджуваної конструкції).

За результатами створеної геометрії побудована кінцево-елементна модель. З метою отримання найбільш точних результатів застосовано понад 1.200.000 кінцевих елементів у вигляді тетраєдерів (рис. 2).



Рисунок 2 – Кінцево-елементна модель залізобетонної ребристої панелі покриття.

Вплив високих температур від пожежі на досліджувану залізобетонну ребристу панель покриття здійснювався у відповідності до стандартного температурного режиму, який визначається залежністю [5]:

$$\Theta_s = \dot{t} \quad (1)$$

де t – час, що відраховується від початку випробування, хв;

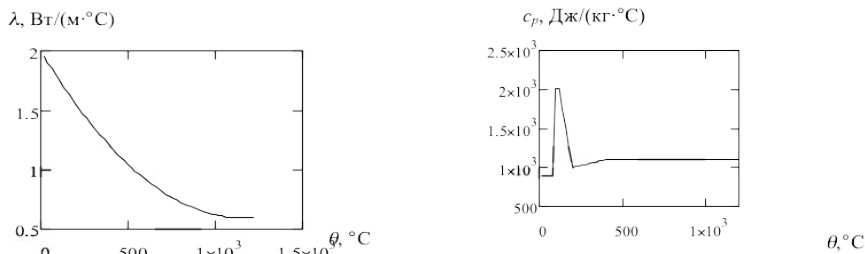
Θ_s – температура, яка відповідає часу t , °C.

Для розв’язання теплової задачі використовується нестационарне двовимірне квазілінійне рівняння теплопровідності, допускаючи, що напружено-деформований стан на не впливає на розподіл температури. Задані граничні умови III-го роду представлені у табл. 1. [7, 9].

Таблиця 1 – Параметри граничних умов

Параметри граничних умов теплотехнічної задачі	Одиниці виміру	Величина
Коефіцієнт конвекційного теплообміну на поверхні, що обігрівається	Вт/(м ² ·К)	25
Коефіцієнт конвекційного теплообміну на поверхні, що не обігрівається	Вт/(м ² ·К)	9
Ступінь чорноти	-	0.7
Стала Стефана-Больцмана	Вт/(м ² ·К ⁴)	5.67·10 ⁻⁸

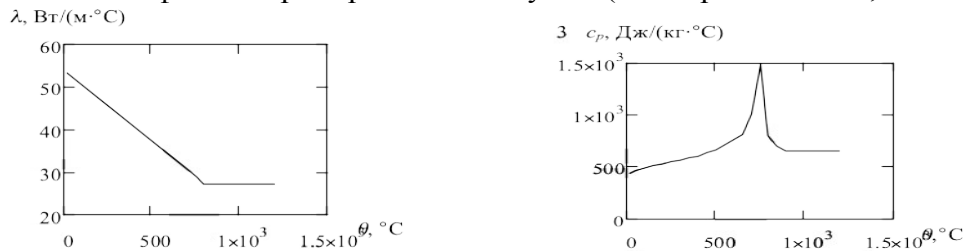
При проведенні обчислювальних експериментів використовувались теплофізичні характеристики бетону та сталі, залежні від температури [7]. Температурні залежності даних показників представлені на рис. 3, 4. Клас бетону змодельованої панелі покриття С30/35. Клас арматури, що застосований у каркасах досліджуваної конструкції А240, верхній каркас та допоміжна арматура та А500 робочі арматурні стрижні.



а.

б.

Рисунок 3 – Теплофізичні характеристики бетону С35 (теплопровідність – а, теплоємність – б).



а.

б.

Рисунок 4 – Теплофізичні характеристики сталі С240 (теплопровідність – а, теплоємність – б).

За результатами отриманих показників розподілу температури встановлено, що максимальна температура у досліджуваній ребристій залізобетонній панелі покриття складає 942,29 °C при 60 хв., 896,55 °C – при 45 хв. та 830,22 °C – при 30 хв. впливу стандартного температурного режиму пожежі (рис. 5).

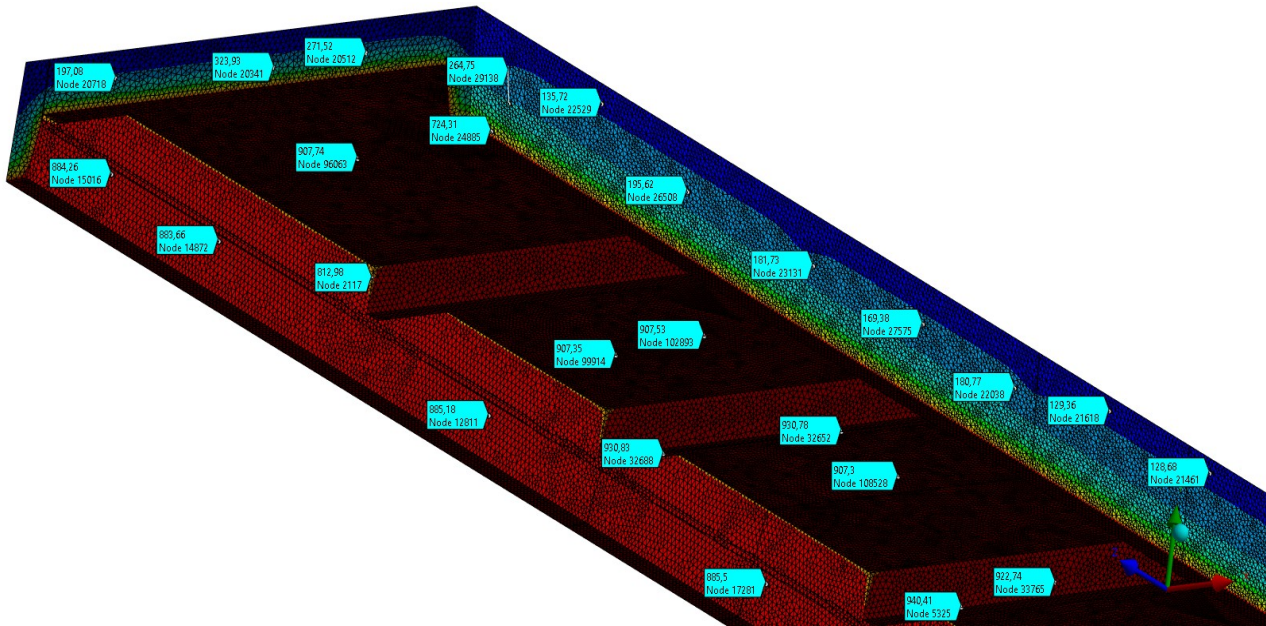


Рисунок 5 – Показники розподілу температури по ребристій залізобетонній панелі покриття при впливі стандартного температурного режиму пожежі протягом 60 хв.

Враховуючи складність та різну висоту перерізу залізобетонної ребристій панелі покриття, у тому числі відсутність товщини у будь-якому місці 200 мм, провести порівняльний тепловий аналіз за номограмами по залізобетонних плитах за рекомендаціями [7] не передбачається можливим.

Провести аналіз щодо розподілу температури за стандартним температурним режимом пожежі по частині досліджуваної конструкції, а саме одного з поперечних ребер плити висотою перерізу 140 мм у вигляді балки, також не передбачається можливим. У зв'язку з тим, що температурні криві по балках, що рекомендовані [7, 12] з максимально наближеним перерізом 150 мм x 80 мм представлені лише за умови впливу пожежі лише терміном 30 хв. Геометричні параметри поперечного ребра залізобетонної ребристій панелі покриття представлені на (рис. 6).

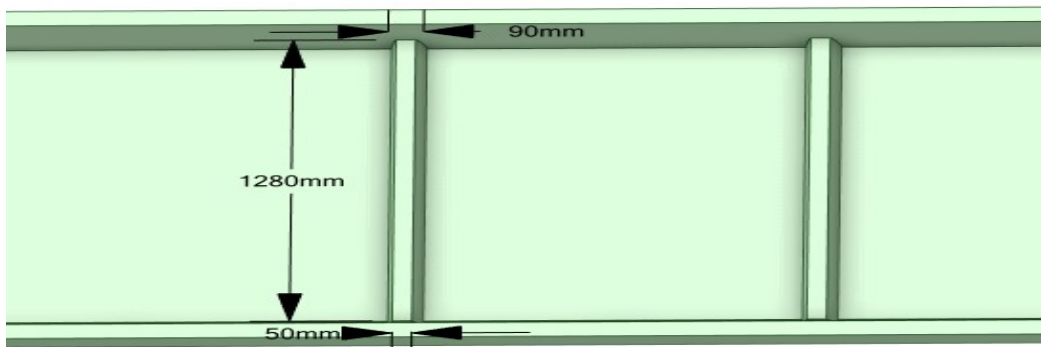


Рисунок 6 – Геометричні параметри поперечного ребра залізобетонної ребристій панелі покриття.

Передбачається використання температурних кривих по залізобетонних балках протягом часу впливу стандартного температурного режиму пожежі 30 хв., 60 хв., 90 хв. [7,

12], але переріз цих конструкцій 300 мм x 160 мм, що суттєво відрізняється від геометричних параметрів поперечного ребра досліджуваної конструкції.

За результатами проведених досліджень побудовані три типи температурних кривих, щодо розподілу температури у перерізі залізобетонної ребристої панелі покриття за результатами впливу стандартного температурного режиму терміном 30 хв., 45 хв., 60 хв. (рис. 7).

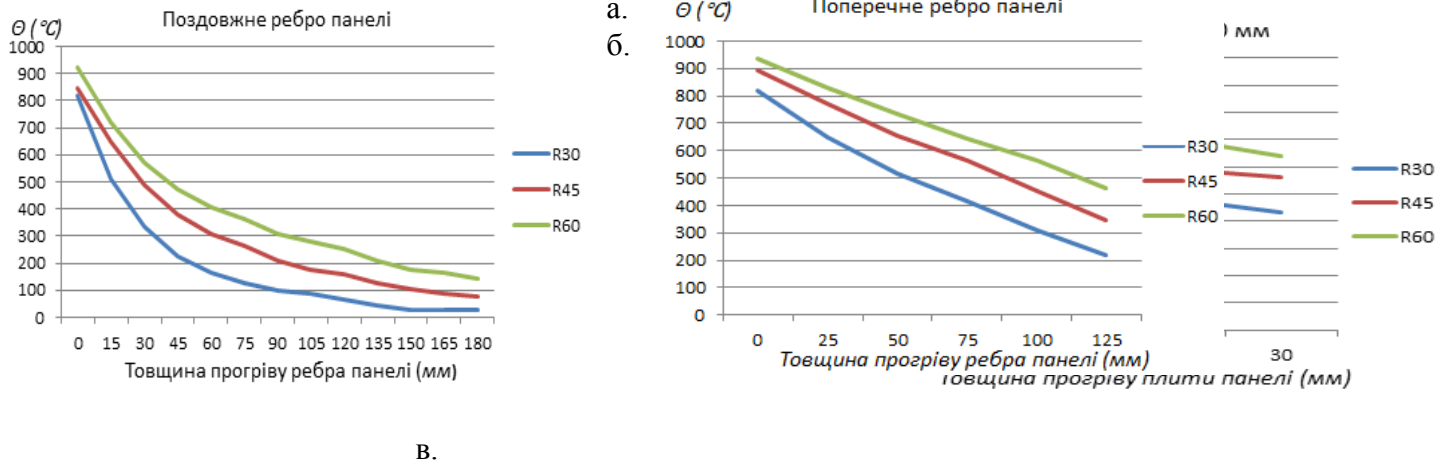


Рисунок 7 – Температурні криві, одержані в результаті досліджень протягом 30 хв., 45 хв., 60 хв. (а – розподіл температури у поздовжніх ребрах, б – розподіл температури у поперечних ребрах, в – розподіл температури у плиті панелі).

Дані температурні криві (рис. 7) надають можливість визначити розподіл температури у перерізі залізобетонної ребристої панелі покриття за результатами впливу стандартного температурного режиму терміном 30 хв., 45 хв., 60 хв., враховуючи поперечні та поздовжні ребра, а також безпосередньо плиту.

Таким чином, розв'язавши теплову задачу використовуючи температурні криві (рис. 7) у подібних конструкціях передбачається вирішення механічної задачі, що є передумовою для проведення оцінки вогнестійкості подібних конструкцій.

Висновки. З метою проведення обчислювальних експериментів створена геометрична модель залізобетонної ребристої панелі покриття. Побудована кінцево-елементна сітка з використанням кінцевих елементів, що спроможні розв'язувати нелінійну задачу поширення температури у досліджуваній конструкції при впливі стандартного температурного режиму пожежі терміном 30 хв, 45 хв, 60 хв. Змодельовані теплові математичні моделі для визначення розподілу температури у залізобетонній ребристої панелі покриття при впливі стандартного температурного режиму пожежі. За результатами проведених обчислювальних експериментів представлені температурні криві розподілу температури за складовими ребристої залізобетонної панелі покриття, а саме: поздовжні та поперечні ребра та безпосередньо плита за умовою впливу стандартного температурного режиму пожежі протягом 30 хв., 45 хв. та 60 хв. Використовуючи побудовані температурні криві, передбачається можливим визначати розподіл температури у подібних конструкціях, що є передумовою для розв'язання задачі, пов'язаної з оцінкою вогнестійкості ребристих залізобетонних панелей покриття.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ Б В.2.6-66:2008 Конструкції будинків і споруд. Плити перекриттів залізобетонні для житлових і промислових будівель. Технічні умови. [Чинний від 2010-01-01.] – К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2009. – 46 с – (Національний стандарт України).

2. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги ДБН В.1.1-7-2016 Міністерство регіонального розвитку та будівництва – 2017. – 35 с.

3. Захист від пожежі. Споруди та фрагменти будівель. Метод натурних вогневих випробувань. Загальні вимоги. ДСТУ Б В.1.1-18:2007 [Чинний від 2008-04-01.] –

Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки (УкрНДІПБ) МНС України – 2007. – 10 с – (Державний Стандарт України).

4. R. P. Johnson, Y. C. Wang, Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns and Frames for Buildings (2019).

5. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. (ISO 834: 1975) ДСТУ Б В.1.1-4-98*. [Чинний від 1998-10-28.] – К.: Укрархбудінформ, 2005. – 20 с – (Національний стандарт України).

6. EN 13501 Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests.

7. EN 1992-1-2 (2004) Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].

8. T. Shnal, S. Pozdieiev, R. Yakovchuk, O. Nekora, Development of a Mathematical Model of Fire Spreading in a Three-Storey Building Under Full-Scale Fire-Response Tests (Lecture Notes in Civil Engineering, 2021), 100 LNCE, pp. 419–428.

9. EN 1992-1-1 : Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].

10. T. Shnal, S. Pozdieiev, O. Nuianzin, S. Sidnei, Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions (Materials Science Forum, 2020), 1006, pp. 107 – 116.

11. Determination of features of composite steel and concrete slab behavior under fire condition. Valeriia Nekora, Stanislav Sidnei, Taras Shnal, Olga Nekora, Iryna Dankevych, Serhii Pozdieiev" S. Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis, 6/7 (114) 2021 p. 59.

12. ДСТУ-Н Б В.2.6-196:2014 Настанова з проектування залізобетонних балок. Розрахунок на вогнестійкість. [Чинний від 2015-07-01.] – К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2014. – 45 с – (Національний стандарт України).

REFERENCE

1. DSTU B V.2.6-66:2008 Structures of buildings and structures. Reinforced concrete floor slabs for residential and industrial buildings. Specifications. [Effective from 2010-01-01.] – К.: SE "State Research Institute of Building Structures", 2009. – 46 p. – (National Standard of Ukraine).

2. Fire safety of construction objects. General requirements of DBN V.1.1-7-2016 Ministry of Regional Development and Construction – 2017. – 35 p.

3. Fire protection. Buildings and fragments of buildings. The method of natural fire tests. General requirements. DSTU B V.1.1-18:2007 [Effective from 2008-04-01.] – Ukrainian Research Institute of Fire Safety of the Ministry of Emergencies of Ukraine – 2007. – 10 p. – (National Standard of Ukraine).

4. R. P. Johnson, Y. C. Wang, Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns and Frames for Buildings (2019).

5. Building structures. Fire resistance test methods. General requirements. Fire Security. (ISO 834: 1975) DSTU B V.1.1-4-98*. [Effective from 10-28-1998.] – К.: Ukrakhbudinform, 2005. – 20 p. – (National Standard of Ukraine).

6. EN 13501 Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests.

7. EN 1992-1-2 (2004) Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].

8. T. Shnal, S. Pozdieiev, R. Yakovchuk, O. Nekora, Development of a Mathematical Model of Fire Spreading in a Three-Storey Building Under Full-Scale Fire-Response Tests (Lecture Notes in Civil Engineering, 2021), 100 LNCE, pp. 419–428.

9. EN 1992-1-1 : Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].

10. T. Shnal, S. Pozdieiev, O. Nuianzin, S. Sidnei, Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions (Materials Science Forum, 2020),1006, pp. 107 – 116.

11. Determination of features of composite steel and concrete slab behavior under fire condition. Valeriia Nekora, Stanislav Sidnei, Taras Shnal, Olga Nekora, Iryna Dankevych, Serhii Pozdieiev" S. Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis, 6/7 (114) 2021 p. 59.

12. DSTU-N B V.2.6-196:2014 Guidelines for the design of reinforced concrete beams. Calculation of fire resistance. [Effective from 2015-07-01.] – K.: SE "State Research Institute of Building Structures" (NDIBK), 2014. – 45 p. – (National Standard of Ukraine).

Iryna Rudeshko,

Nataliya Zayika,

Oleh Kulitsa, Candidate of technical sciences, docent,

Stanislav Sidnei, Candidate of technical sciences,

*Cherkassy Institute of Fire Safety Named after Chernobyl Heroes
of National University of Civil Defense in Ukraine*

RESEARCH OF A RIBBED REINFORCED CONCRETE COATING PANEL UNDER THE CONDITIONS OF THE STANDARD FIRE TEMPERATURE REGIME

The work includes an analysis of the latest research and publications related to the calculation of the fire resistance assessment of reinforced concrete ribbed panels. The issue of determining the temperature distribution of these structures under the conditions of exposure to high temperatures from a fire is highlighted.

With the help of the software complex, a geometric model of a reinforced concrete ribbed covering panel was created. A finite-element mesh was constructed using finite elements, which allows solving the nonlinear problem of temperature distribution under the influence of the standard fire temperature regime. Simulated thermal mathematical models for determining the temperature distribution in the reinforced concrete ribbed panel of the coating under the influence of fire, not taking into account the stress-deformed state of the structures. According to the results of the computational experiments, temperature curves were constructed to determine the temperature distribution on the ribbed reinforced concrete panel under the condition of exposure to the standard fire temperature regime for 30 min, 45 min, 60 min.

Key words: *ribbed reinforced concrete covering panel, finite element model, temperature distribution, fire resistance, standard fire temperature regime*