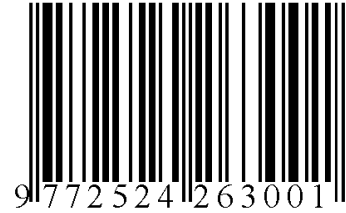


ISSN 2524-2636



**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ
З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**



**Збірник наукових праць
Черкаського інституту пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля
Національного університету
цивільного захисту України**

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

Том 7 № 1 (2023)

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1>

***Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової
інформації, Серія КВ № 22700-12600ПР,
видане 04.05.2017 Міністерством юстиції України***

*Рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет
Вченою радою Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
(протокол № 9 від 27.06.2023.)*

*Дозволяється публікація матеріалів збірника у відкритому доступі комісією
Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України
з питань роботи із службовою інформацією
(протокол № 8 від 27.07.2023.)*

**УДК 614.8
Н 17**

Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація» : – Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. – Том 7 № 1. – 203 с.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР – *Гвоздь Віктор Михайлович*, канд. техн. наук, проф., Заслужений працівник цивільного захисту України (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА – *Тищенко Олександр Михайлович*, д-р. техн. наук, проф., Заслужений працівник освіти України (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР – *Удовенко Максим Юрійович*, (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР – *Рябоконе Вікторія Вікторівна*, канд. пед. наук (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
РЕДАКТОР ТЕХНІЧНИХ ТЕКСТІВ ЗІ ЗНАННЯМ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ – *Хряпак Сергій Олександрович*, канд. філол. наук (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Абрамов Юрій Олексійович, д-р техн. наук, проф. Заслужений винахідник України (Національний університет цивільного захисту України (м. Харків));
Бєлік Анатолій Серафимович, д-р техн. наук, проф. (ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (м. Дніпро));
Ватуля Гліб Леонідович, д-р техн. наук, доц. (Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків));
Ващенко Вячеслав Андрійович, д-р техн. наук, проф. (Черкаський державний технологічний університет);
Волянн Єжи, д-р техн. наук, проф. (Головна школа пожежної служби (м. Варшава, Республіка Польща));
Дия Хенрік, д-р техн. наук, проф. (Ченстоховський політехнічний університет (Республіка Польща));
Дівізінюк Михайло Михайлович, д-р фіз.-мат. наук, проф. (Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України (м. Київ));
Землянський Олег Миколайович, д-р техн. наук, доц. (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Кириченко Оксана Вячеславівна, д-р техн. наук, проф. (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Ковалишин Василь Васильович, д-р техн. наук, проф. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності);
Козак Андрій Анатолійович, канд. техн. наук, доц. (Київський Національний університет будівництва і архітектури);
Костенко Тетяна Вікторівна, д-р техн. наук, проф. (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Кнапінський Марцін, д-р техн. наук (Ченстоховський політехнічний університет (Республіка Польща));
Мазур Валерій Леонідович, д-р техн. наук, проф. (Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України (м. Київ));
Мирошник Олег Миколайович, д-р техн. наук, проф. (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Мізерський Анжей, д-р техн. наук, проф. (Головна школа пожежної служби (м. Варшава, Республіка Польща));
Мосов Сергій Петрович, д-р військ. наук, проф. (Національна академія державного управління при Президентові України (м. Київ));
Некора Ольга Валеріївна, канд. техн. наук, с. н. с. (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Ніжнік Вадим Васильович, д-р техн. наук, с. н. с. (Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (м. Київ));
Нуязін Олександр Михайлович, канд. техн. наук, доц. (ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Перевізник Вячеслав Миколайович, канд. наук з держ. упр., доц. (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Поздєєв Сергій Валерійович, д-р техн. наук, проф. (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Радомяк Хенрік, д-р техн. наук (Ченстоховський політехнічний університет (Республіка Польща));
Россіхін Василь Васильович, д-р юрид. наук, проф. Заслужений працівник освіти України (Харківський національний університету радіоелектроніки);
Рудницький Володимир Миколайович, д-р техн. наук, проф. (Черкаський державний технологічний університет);
Семерак Михайло Михайлович, д-р техн. наук, проф. (Національний університет «Львівська політехніка»);
Сідней Станіслав Олександрович, канд. техн. наук (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Тищенко Євген Олександрович, д-р техн. наук, проф. (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);
Тарасенко Олександр Андрійович, д-р техн. наук, с. н. с. (Національний університет цивільного захисту України (м. Харків));
Ясколовський Вальдемар, канд. техн. наук (Головна школа пожежної служби (м. Варшава, Республіка Польща)).

ЗМІСТ

Олена ВАСИЛЬЄВА, Олександр КОВАЛЬ, Ярослав КОЗАК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА ЗА ДОПОМОГОЮ ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ	7
Olena VASYLIEVA, Oleksandr KOVAL, Yaroslav KOZAK EXPERIMENTAL STUDIES OF THE FIRE DETECTOR'S TIME PARAMETERS DETERMINING PROCESS USING THE PULSE METHOD	
Вікторія ДАГІЛЬ, Лариса ХАТКОВА, Ілля ДАГІЛЬ РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ІМОВІРНОСТЕЙ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ	15
Victoria DAGIL, Larisa KHATKOVA, Ilya DAGIL DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF THE ROZAHUNK INDICATORS IN THE RELIABILITY OF WAKE-UP WITH VICTORIES OF THEORIES AND MOVIERES AND MATHEMATICAL STATISTICS	
Олександр ДОБРОСТАН, Тарас САМЧЕНКО, Микола ГРИГОР'ЯН, Роман ЧЕРНИШ НАУКОВЕ ПІДґРУНТЯ СТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ПОКРИВЕЛЬ НА СТІЙКІСТЬ ДО ЗОВНІШНЬОГО ВОГНЕВОГО ВПЛИВУ	23
Oleksandr DOBROSTAN, Taras SAMCHENKO, Mykola HRYNHORYAN, Roman CHERNYSH SCIENTIFIC BASIS OF THE CREATION AND APPLICATION OF EQUIPMENT FOR TESTING ROOFS FOR RESISTANCE TO EXTERNAL FIRE INFLUENCE	
Назарій КОЗЯР ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЗОВНІШНІХ ТЕРМОУДАРНИХ ВПЛИВІВ НАДЗВУКОВОГО ПОТОКУ ПОВІТРЯ НА ПОВЕРХНЮ ЦИЛІНДРИЧНИХ МЕТАЛЕВИХ ОБОЛОНОК ЗАРЯДІВ ПРОТЕХНІЧНИХ НІТРАТНО-МЕТАЛЕВИХ СУМІШЕЙ В УМОВАХ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ	33
Nazarii KOZIAR DETERMINATION OF THE CRITICAL VALUES OF THE PARAMETERS OF THE EXTERNAL THERMOSHOCK EFFECTS OF A SUPERSONIC AIR FLOW ON THE SURFACE OF CYLINDRICAL METAL SHELLS OF CHARGES OF PYROTECHNIC NITRATE AND METAL MIXTURES UNDER THE CONDITIONS OF THEIR APPLICATION	
Василь ЛУШ, Олександр ЛАЗАРЕНКО ГІДРАВЛІЧНА ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА АНТИВЕНТИЛЯЦІЯ НА ПОЖЕЖІ	45
Vasyl LUSHCH, Oleksandr LAZARENKO HYDRAULIC VENTILATION AND ANTI-VENTILATION DURING FIRE SUPPRESSION	

Іван НЕСЕН

ОБҐРУНТУВАННЯ ТАБЛИЧНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ДЛЯ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СХОДОВИХ МАРШІВ 56

Ivan NESEN

JUSTIFICATION OF THE TABULAR METHOD OF ASSESSING FIRE RESISTANCE
FOR REINFORCED CONCRETE STAIRCASE

Вадим НІЖНИК, Олеся САВЧЕНКО, Валерія НЕКОРА

ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ
СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ НА РІВЕНЬ ІНДИВІДУАЛЬНОГО
ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ 67

Vadim NIZHNYK, Olesia SAVCHENKO, Valeria NEKORA

THEORETICAL APPROACHES FOR STUDYING THE REGULARITY OF THE
INFLUENCE OF FIRE PROTECTION SYSTEMS ON THE LEVEL OF INDIVIDUAL
FIRE RISK

Сергій ПАНЧЕНКО, Вадим НІЖНИК, Артем БИЧЕНКО

АЛГОРИТМИ ВИКОРИСТАННЯ ПОЖЕЖНОЇ АВІАЦІЇ
ДЛЯ ГАСІННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ 77

Serhii PANCHENKO, Vadim NIZHNYK, Artem BYCHENKO

ALGORITHMS OF USING FIRE AVIATION TO EXTINGUISH FOREST FIRES

Аліна ПЕРЕГІН

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ МЕЖИ
ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕСУЧОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ СТІНИ НА ОСНОВІ
РЕЗУЛЬТАТІВ ВОГНЕВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ 89

Alina PEREHIN

IMPROVEMENT OF THE CALCULATION ASSESSMENT OF THE LIMIT OF FIRE
RESISTANCE OF A LOAD-BEARING REINFORCED CONCRETE WALL BASED ON
THE RESULTS OF FIRE EXPERIMENTS

**Сергій ПОЗДЄЄВ, Андрій БЕРЕЗОВСЬКИЙ, Ірина РУДЕШКО, Тетяна КОСТЕНКО,
Станіслав СІДНЕЙ**

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІЄРАРХІЧНОГО ПІДХОДУ
ЩОДО РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗА ЄВРОКОДОМ 2 99

**Serhii POZDIEIEV, Andriy BEREZOVSKYI, Iryna RUDESHKO, Tetiana KOSTENKO,
Stanislav SIDNEI**

STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE HIERARCHICAL APPROACH TO
CALCULATED ASSESSMENT OF THE FIRE RESISTANCE OF REINFORCED
CONCRETE BEAMS ACCORDING TO EUROCODE 2

**Сергій ПОЗДЄЄВ, Олег КУЛИЦА, Сергій ТРОШКІН, Павло ПАНЧЕНКО,
Максим САГДІЄВ**

ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНОЇ СИТУАЦІЇ
В МОБІЛЬНІЙ КОТЕЛЬНІ 107

**Serhii POZDIEIEV, Oleh KULITSA, Serhii TROSHKIN, Pavlo PANCHENKO,
Maxim SAGDIEV**

FORECASTING THE EMERGENCY OF AN EMERGENCY
IN A MOBILE BOILER ROOM

<i>Сергій ПОЗДЄЄВ, Ольга НЕКОРА, Микола ЗМАГА, Яна ЗМАГА, Аліна НОВГОРОДЧЕНКО</i>	
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ОБВУГЛЮВАННЯ ФРАГМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК З ОБЛИЦЮВАННЯМ ДВОХ ТИПІВ	119
<i>Serhii POZDIEIEV, Olha NEKORA, Mykola ZMAHA, Yana ZMAHA, Alina NOVHORODCHENKO</i>	
RESULTS OF RESEARCHING THE RATE OF CARBONIZATION OF FRAGMENTS OF WOODEN BEAMS WITH TWO TYPES OF CLADDING	
<i>Максим ПУСТОВИЙ, Ігор МАЛАДИКА, Сергій НОВАК</i>	
ОЦІНЮВАННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОВЩИНИ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЛЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА РІЗНИМИ ТЕМПЕРАТУРНИМИ РЕЖИМАМИ ПОЖЕЖІ	131
<i>Maksym PUSTOVYI, Igor MALADYKA, Serhii NOVAK</i>	
EVALUATION OF THE NECESSARY FIRE PROTECTION THICKNESS FOR STEEL STRUCTURES UNDER DIFFERENT FIRE TEMPERATURE-TIME CURVE	
<i>Світлана ФЕДЧЕНКО</i>	
ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РИГЕЛІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ	149
<i>Svitlana FEDCHENKO</i>	
JUSTIFICATION OF THE METHOD OF IDENTIFYING THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ACCORDING TO THE RESULTS OF FIRE TESTS	
<i>Юрій ФЕЩУК, Вадим НІЖНИК, Світлана ГОЛІКОВА, Олександр ЖИХАРЄВ</i>	
ОБҐРУНТУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ КІЛЬКОСТІ УКОМПЛЕКТОВАНИХ ПОЖЕЖНИХ ЩИТІВ НА ТЕРИТОРІЇ ВРУ 750/330 КВ АЕС.....	158
<i>Yurii FESHCHUK, Vadym NIZHNYK, Andrii TSYHANKOV, Oleksandr ZHYKHARIEV</i>	
JUSTIFICATION OF THE EQUIPMENT OF THE 750/330 KV VRU TERRITORY AES WITH PRIMARY FIRE EXTINGUISHING EQUIPMENT	
<i>Олександр ХЛЕВНОЙ, Юлія КОРДУНОВА, Діана РАЙТА, Андрій ГАВРИСЬ, Віктор КОВАЛЬЧУК</i>	
РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ЕВАКУАЦІЇ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ ЗА СПРОЩЕНОЮ АНАЛІТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ	169
<i>Oleksandr KHLEVNOI, Yuliia KORDUNOVA, Diana RAITA, Andriy HAVRYS, Viktor KOVALCHUK</i>	
DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM FOR CALCULATING EMERGENCY EVACUATION DURATION ACCORDING TO A SIMPLIFIED ANALYTICAL MODEL	
<i>Анна БОРИСОВА, Олександр НУЯНЗІН, Сергій ХРЯПАК</i>	
РАЗОРАХУНОВА ОЦІНКА ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ НА МОЖЛИВІСТЬ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ НА СУСІДНІ БУДІВЛІ	182
<i>Анна БОРИСОВА, Олександр НУЯНЗІН, Сергій ХРЯПАК</i>	
РАЗОРАХУНКОВА ОЦІНКА ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ НА МОЖЛИВІСТЬ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ НА СУСІДНІ БУДІВЛІ	

***Oksana KYRYCHENKO, Oleh ZEMLIANSKYI, Roman MOTRICHUK,
Ievgenii SHKOLIAR, Viktoriia KOVBASA***
THERMODYNAMIC CALCULATIONS FOR DETERMINING
THE TEMPERATURE OF COMBUSTION PRODUCTS OF PYROTECHNIC
PRODUCTS BASED ON ALUMINUM-MAGNESIUM ALLOY POWDER 191

***Оксана КИРИЧЕНКО, Олег ЗЕМЛЯНСЬКИЙ, Роман МОТРИЧУК,
Євгеній ШКОЛЯР, Вікторія КОВБАСА***
ТЕРМОДИНАМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ
ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПИРОТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ПОРОШКІВ
АЛЮМІНІЄВО-МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ

УДК 624.012

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.99.106>

Сергій ПОЗДЄЄВ, доктор технічних наук, професор (ORCID: 0000-0002-9085-0513),

Андрій БЕРЕЗОВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент
(ORCID: 0000-0002-4043-1206),

Ірина РУДЕШКО (ORCID: 0000-0003-3294-2214),

Тетяна КОСТЕНКО, доктор технічних наук, професор (ORCID: 0000-0001-9426-8320),

Станіслав СІДНЕЙ, кандидат технічних наук (ORCID: 0000-0002-7664-6620),

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІЄРАРХІЧНОГО ПІДХОДУ ЩОДО РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗА ЄВРОКОДОМ 2

У роботі представлені основні розрахункові методики щодо оцінки вогнестійкості за табличним, зонним та уточненим методами залізобетонних балок з прямокутним перерізом, із одиночним дворядним армуванням, що рекомендовано у Єврокодi 2. За результатами проведених обчислювальних експериментів проведений порівняльний аналіз показників вогнестійкості цих конструкцій. Рівень навантаження на залізобетонну балку було прийнято 50 % від несучої здатності.

При проведенні уточненого розрахунку оцінки вогнестійкості використовувався метод кінцевих елементів. За результатами уточненого методу межа вогнестійкості досліджуваної конструкції склала 139,15 хв.

Ключові слова: залізобетонна балка перекриття, розрахункові методи оцінки вогнестійкості, кінцево-елементна модель, стандартний температурний режим пожежі.

Постановка проблеми. Визначення межі вогнестійкості окремих конструкцій і конструктивних систем є дуже важливим етапом проектування будівлі і гарантії її безпечної експлуатації [1]. 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].

Сьогодні єдиним методом визначення вогнестійкості будівельних конструкцій, що нормативно затверджено, є натурні випробування [3]. Вони проводяться за стандартною методикою за режимом стандартної або реальної пожежі [3, 4]. Розрізняють стандартні вогневі випробування, що проводяться на окремих конструкціях, і повномасштабні, що проводяться на будівлях або окремих її блоках у реальних розмірах [3, 4]. Всі ці випробування мають проводитися у спеціальних лабораторіях на спеціальному обладнанні із використанням спеціального устаткування і тому потребують значних фінансових і трудових затрат [5]. У зв'язку із цим стає раціональним використовувати розрахункові методи визначення вогнестійкості будівельних конструкцій, які відображають реальну роботу конструкцій. Розрахункові методи за [6] базуються на введенні під час розрахунку понижуючих коефіцієнтів на характеристики матеріалів.

За рекомендаціями [6, 7] передбачено використання 3-х розрахункових методів, які враховують повзучість, усадку, фізичну і геометричну нелінійність, діаграми розтягу і стиску бетону і арматури за умови дії температури. З'являється

необхідність порівняння цих методів, оскільки інформації про точність розрахунків вогнестійкості за цими методами недостатньо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує декілька видів розрахункових методів оцінки вогнестійкості. У [6, 7] рекомендується використання наступних методів оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій: табличний, зонний та уточнений метод.

Вибір методу розрахунку конструкції приймається у відповідності до табл. 1 на основі аналізу її реальної роботи у складі всієї конструктивної системи. При розрахунку вогнестійкості конструкцій пропонується використання трьох груп розрахункових методик.

Таблиця 1. Методи перевірки вогнестійкості будівельних конструкцій [2]

Вид розрахунку	Метод розрахунку		
	Табличні дані	Спрощені методи розрахунку	Уточнені методи розрахунку
Аналіз окремої Конструкції. Кожна конструкція розглядається окремо. Непрямі вогневі впливи не враховуються, за винятком тих, які є результатом перепаду температур	Так - дані наведено тільки для стандартного температурного режиму; - дані можуть бути перероблені для інших температурних режимів пожежі	Так - стандартний та параметричний температурні режими; - температурні криві наведено тільки для стандартного температурного режиму; - моделі, що враховують зміну властивостей матеріалів, застосовуються тільки для температурних режимів, аналогічних стандартному.	Так наведено тільки основні положення
Аналіз частини конструктивної системи Враховуються непрямі вогневі впливи у вузлі, але не залежної від часу взаємодії з іншими частинами конструктивної системи.	Ні	Так - стандартний та параметричний температурні режими; - температурні криві наведено тільки для стандартного температурного режиму; - моделі, що враховують зміну властивостей матеріалів, застосовуються тільки для температурних режимів, аналогічних стандартному.	Так наведено тільки основні положення
Загальний аналіз конструктивної системи. Аналіз всієї конструктивної системи. Розглядаються непрямі вогневі впливи на всю конструктивну систему.	Ні	Ні	Так наведено тільки основні положення

Експериментальний метод передбачає стандартні вогневі випробування і повномасштабні випробування натурних зразків конструкцій. Згідно табличного методу вогнестійкість конструкції забезпечується її конструктивним рішенням відповідно табличних даних, що засновані на раніше проведених теоретичних та експериментальних дослідженнях [6, 7].

Метод спрощених розрахунків дає змогу швидко і приблизно оцінити вогнестійкість будівельних конструкцій. Спрощені методи розрахунку застосовуються на основі використання приведенного перерізу та коефіцієнтів зниження несучої здатності бетону та арматури внаслідок дії температури від стандартного температурного режиму пожежі. Уточнені методи розрахунку мають базуватися на фундаментальних фізичних передумовах, що ведуть до одержання найбільш достовірних даних про очікувану роботу будівельної конструкції під час пожежі [8, 9].

Метод уточнених розрахунків ґрунтується на розгляді математичних моделей [10]. Математична модель складається з основних рівнянь процесів тепломасообміну і напружено-деформованого стану та рівнянь, що визначають початкові та граничні умови, а також коефіцієнтів, що входять до рівнянь. Реалізація цих методів можлива за допомогою програмних комплексів на основі методу кінцевих елементів.

Постановка завдання. Метою роботи є проведення порівняльного аналізу досліджень з оцінки вогнестійкості залізобетонних балок використовуючи табличний, зонний та уточнений розрахункові методи. Для досягнення мети поставлено для розв'язання наступні завдання:

1. Використовуючи таблиці вільноопертих залізобетонних балок за рекомендаціями [6, 7] перевірити відповідність до класу вогнестійкості R120 за геометричними параметрами по ширині перерізу та відстані до вісі арматури.

2. Визначити несучу здатність досліджуваної залізобетонної балки в умовах впливу пожежі через 120 хв застосовуючи спрощену методику зонного методу із навантаженням 50% від несучої здатності конструкції [6, 7].

3. Створити геометричну модель залізобетонної балки з прямокутним перерізом, із одиночним дворядним армуванням за геометричними параметрами, що відповідає досліджуваної конструкції.

4. Побудувати кінцево-елементу сітку, для розв'язання тепломеханічної задачі щодо визначення межі вогнестійкості залізобетонної балки з прямокутним перерізом, із одиночним дворядним армуванням.

Виклад основного матеріалу із обґрунтуванням отриманих результатів. Дослідження з оцінки вогнестійкості, проводилось по залізобетонній балці розмірами перерізу 300x600 мм, прямокутного перерізу, із одиночним дворядним армуванням: 4Ø22A400C. Балку виготовлено із бетону класу C30/35, відстань до осі нижнього рівня арматури 50мм, до осі верхнього рівня арматури 120мм, рівень діючого навантаження складає 0,50 від руйнівного. Умови обігріву було прийнято з трьох сторін. За табличним та зонним методом було перевірено відповідність класу вогнестійкості досліджуваної конструкції R120.

Використовуючи таблиці з мінімальними розмірами та відстані до осі арматури вільно опертих балок, із ненапруженого та попередньо напруженого залізобетону [6, 7] встановлено, що при ширині залізобетонної балки 300 мм мінімальна відстань до осі арматури повинна бути не менше ніж 55 мм (табл. 1). Таким чином недостатність відстані до вісі арматури першого ряду не надає можливість відповідати досліджуваної конструкції класу вогнестійкості R120.

Таблиця 2

Нормована вогнестійкість	Мінімальні розміри, мм						
	Можливі сполучення a та b_{min} , де a – середня відстань до осі арматури, а b_{min} – ширина балки				Товщина стінки балки, b_w		
					Клас WA	Клас WB	Клас WC
R30	$b_{min}=80$ $a=25$	120 20	160 15*	200 15*	80	80	80
R60	$b_{min}=120$ $a=40$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R90	$b_{min}=150$ $a=50$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R120	$b_{min}=200$ $a=65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R180	$b_{min}=240$ $a=80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R240	$b_{min}=280$ $a=90$	350 80	500 75	700 70	170	170	160

При проведенні розрахунку за зонним методом сценарій впливу пожежі прийнятий з трьох сторін [6, 7].

За результатами визначення необхідних показників температури у бетоні та арматурі проведений механічний розрахунок, що враховує зменшений переріз досліджуваної залізобетонної балки та знижені механічні властивості арматури при умові впливу стандартного температурного режиму пожежі. Несуча здатність досліджуваної конструкції при пожежі терміном 120 хв ($M_{Rd,fi}=96,6$ кНм) більша за діюче навантаження при пожежі ($M_{Ed,fi}=91,5$ кНм). Умова міцності при пожежі виконується, тобто за зонним методом встановлено, що залізобетонна балка відповідає класу вогнестійкості R 120, однак межа відповідності несучої спроможності конструкції наближаються до рівня діючого навантаження, при тому дана залізобетонна балка навантажена на 50% від руйнівного показника.

Уточнений метод розрахунку оцінки вогнестійкості досліджуваної залізобетонної балки виконувався за допомогою обчислювальних експериментів при використанні методу кінцевих елементів [10].

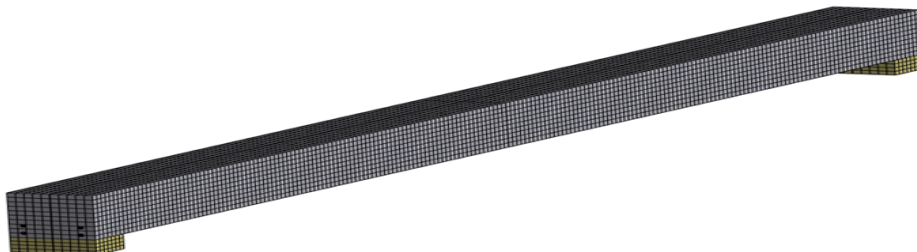


Рисунок 1. Кінцево-елементна модель залізобетонної балки з прямокутним перерізом, із одиночним дворядним армуванням перерізом 300мм x 600 мм

З метою вирішення тепломеханічної задачі з оцінки вогнестійкості залізобетонної балки з прямокутним перерізом, із одиночним дворядним армуванням,

тепловий вплив від пожежі прийняти у відповідності до стандартного температурного режиму, який визначається залежністю [1]:

$$\theta_s = \quad (1)$$

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 у допущенні, що напружено-деформований стан на не впливає на розподіл температури. Задані граничні умови III-го роду представлені у табл. 1. [7, 9].

Таблиця 3 – Параметри граничних умов

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

При проведенні обчислювальних експериментів використовувались теплофізичні характеристики бетону та сталі залежні від температури [6, 7]. Температурні залежності даних показників представлені на рис. 2, 4.

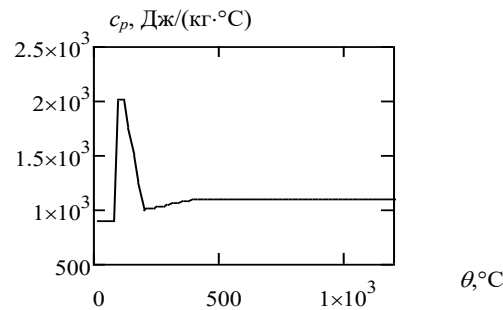


Рисунок 2 – Теплофізичні характеристики бетону С35

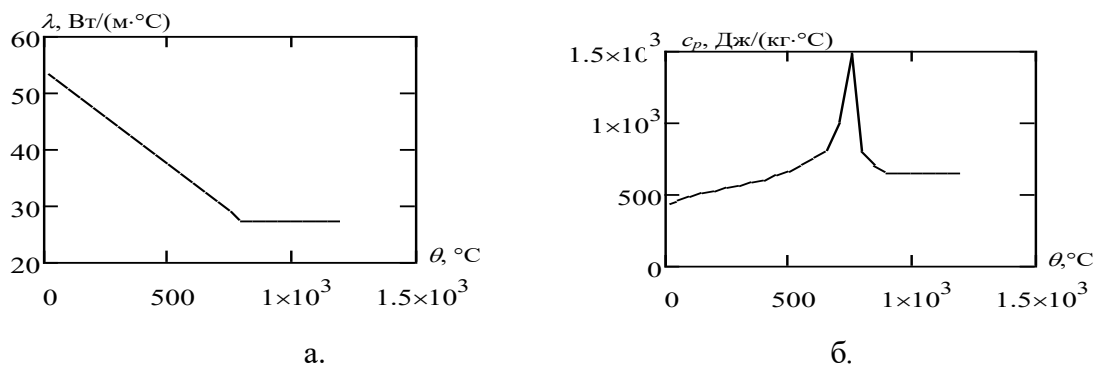


Рисунок 3 – Теплофізичні характеристики сталі С400 (теплопровідність – а, теплоємність – б)

За результатами обчислювального експерименту встановлено, що критичний прогин залізобетонної балки складає – 261,74 мм та виникає на 139,15 хв обчислювального експерименту, що є ознаками настання граничного стану з вогнестійкості за втратою несучої здатності [4].

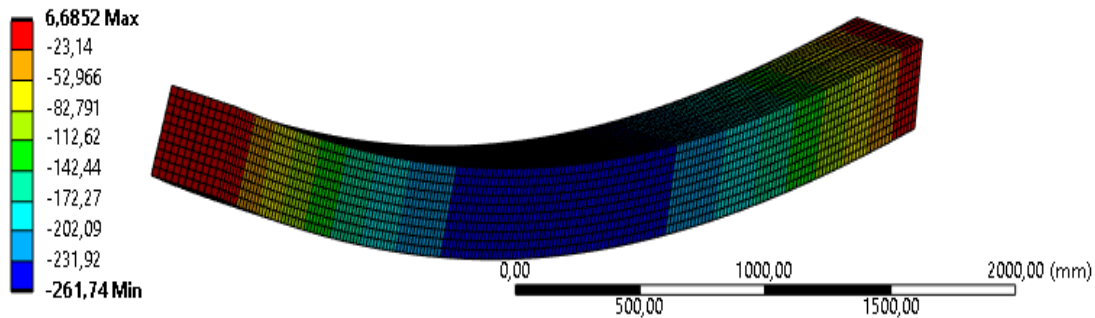


Рисунок 4 – Прогин (мм) залізобетонної балки перерізом 300мм x 600 мм на 139,15 хвилині вогневого впливу

Крім того, було досліджено зміни напружень у бетоні досліджуваної залізобетонної балки за умови дії теплового впливу пожежі за стандартним температурним режимом пожежі із врахуванням діючого механічного навантаження, що дозволило відтворити реальні умови роботи конструкції при пожежі.

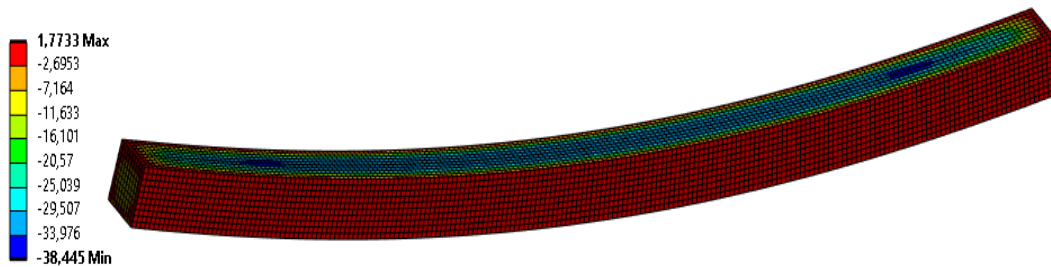


Рисунок 5 – Максимальні напруження у бетоні залізобетонної балки на 139,15 хвилині впливу пожежі

Розподіл температури по досліджуваній залізобетонній балці на момент втрати несучої здатності приведений на рис. 6.

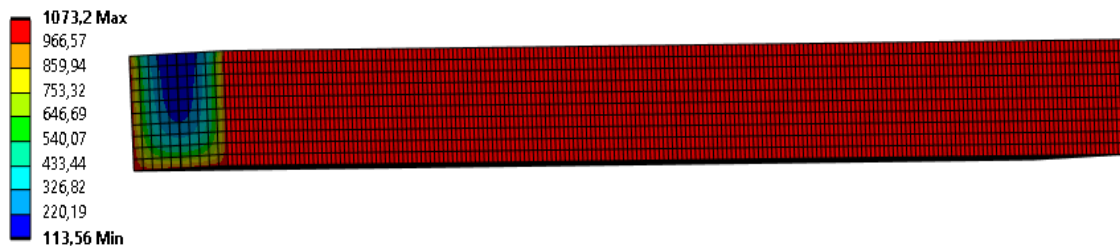


Рисунок 6. Розподіл температури на 139,15 хвилині вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі по перерізу залізобетонної балки

За результатами розрахунку уточненого методу оцінки вогнестійкості залізобетонної балки із одиночним двоярдним армуванням встановлено, що межа вогнестійкості складає 139,15 хв, максимальна температура на момент настання граничного стану з вогнестійкості з втрати несучої здатності складає 1073,2 °С, максимальні напруження спостерігаються в стиснутій зоні бетону і складають 38,445 МПа.

Висновки:

1. За результатами перевірки відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки за допомогою табличного методу встановлено, що недостатність відстані до вісі арматури першого ряду 5 мм не надає можливість відповідати досліджуваній конструкції класу вогнестійкості R120.

2. Несуча здатність досліджуваної конструкції при пожежі терміном 120 хв ($M_{Rd,fi}=96,6$ кНм) більша за діюче навантаження при пожежі ($M_{Ed,fi}=91,5$ кНм). Умова міцності при пожежі виконується, тобто за зонним методом встановлено, що залізобетонна балка відповідає класу вогнестійкості R 120, однак межа відповідності несучої спроможності конструкції наближаються до рівня діючого навантаження, при тому дана залізобетонна балка навантажена на 50% від руйнівного показника.

3. У графічному модулі для проведення обчислювального експерименту за допомогою методу кінцевих елементів побудована геометрична модель залізобетонної балки з прямокутним перерізом, із одиночним дворядним армуванням за геометричними параметрами, що відповідає досліджуваній конструкції.

4. З метою реалізації уточненого розрахунку з оцінку вогнестійкості створена кінцево-елемента сітка, для розв'язання тепломеханічної задачі щодо визначення межі вогнестійкості залізобетонної балки з прямокутним перерізом, із одиночним дворядним армуванням.

5. За допомогою методу кінцевих елементів проведений уточнений розрахунок з оцінки вогнестійкості залізобетонної балки з прямокутним перерізом, із одиночним дворядним армуванням, за результатами отриманих результатів встановлено, що межа вогнестійкості складає 139,15 хв, при тому максимальні напруження спостерігаються в стиснутій зоні бетону і складають 38,445 МПа.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 8828:2019 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА Загальні положення.
2. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Держбуд України, 2016. – 87с.;
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. ДСТУ Б.В.1.1-4-98*. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. – К.: Держбуд України, 1999. – 45с.;
5. Поздеев С. В. Дослідження ефективності математичних моделей напружено-деформованого стану при визначенні вогнестійкості залізобетонних балок. / Поздеев С. В. // Пожежна безпека : [зб. наук. праць]. – Л.: ЛДУБЖД. – № 17. – 2010. – С. 115–122.
6. 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);
7. 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).
8. Фомін С. Л. Вогнестійкість та залишкова міцність залізобетонних конструкцій / Фомін С. Л. // Матеріали першої всеукраїнської науково-технічної конференції «Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону». – К.: 1996. – С. 183-185.
9. Павліков А. М. Залізобетонні конструкції в умовах складного деформування та їх розрахунок: навчальний посібник / А. М. Павліков, О. В. Гарькава. – Полтава : ПолтНТУ, 2018. – 130 с.
10. Поздеев С.В. Розробка уточненого розрахункового методу для визначення межі вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій. / Поздеев С.В., Левченко А.Д. // Науковий вісник національного технічного університету «Львівська політехніка». – Львів: НТУ «Львівська політехніка». – 2011. – С. 264 – 269.

REFERENCE

1. DSTU 8828:2019 FIRE SAFETY General provisions.
2. DBN V.1.1-7:2016. Fire safety of construction sites. – K.: Derzhbud of Ukraine, 2016. – 87 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 (UkrNDIPB) of the Ministry of Emergencies of Ukraine – 2007. – 10 p. – (State Standard of Ukraine).
4. DSTU B.V.1.1-4-98*. Building structures. Fire resistance test methods. – K.: Derzhbud of Ukraine, 1999. – 45 p.;
5. Pozdeev S.V. Study of the effectiveness of mathematical models of the stress-strain state in determining the fire resistance of reinforced concrete beams. / S.V. Pozdeev // Fire safety: [Coll. of science works]. – L.: LDUBZHD. – No. 17. – 2010. – P. 115–122.
6. DSTU-NB EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1-2. Terms. Calculation of structures for fire resistance (EN 1992-1-2:2004, IDT);
7. 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).
8. Fomin S. L. Fire resistance and residual strength of reinforced concrete structures / Fomin S. L. // Materials of the first All-Ukrainian scientific and technical conference "Scientific and practical problems of modern reinforced concrete". – K.: 1996. – P. 183-185.
9. Pavlikov A.M. Reinforced concrete structures in conditions of complex deformation and their calculation: study guide / A.M. Pavlikov, O.V. Harkava – Poltava: PoltNTU, 2018. – 130 p.
10. Pozdieiev S.V. Development of a refined calculation method for determining the limit of fire resistance of load-bearing reinforced concrete structures. / Pozdeev S.V., Levchenko A.D. // Scientific Bulletin of the National Technical University "Lviv Polytechnic". – Lviv: NTU "Lviv Polytechnic". – 2011. – P. 264 – 269.

Serhii POZDIEIEV, Doctor of Technical Sciences, Professor (ORCID: 0000-0002-9085-0513),

Andriy BEREZOVSKYI, PhD in technical sciences, Associate Professor

(ORCID: 0000-0002-4043-1206),

Iryna RUDESHKO (ORCID: 0000-0003-3294-2214),

Tetiana KOSTENKO, Doctor of Technical Sciences, Professor (ORCID: 0000-0001-9426-8320),

Stanislav SIDNEI, PhD in technical sciences (ORCID: 0000-0002-7664-6620)

*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Protection of Ukraine*

STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE HIERARCHICAL APPROACH TO CALCULATED ASSESSMENT OF THE FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ACCORDING TO EUROCODE 2

Abstract. *The paper presents the main calculation methods for assessing the fire resistance according to tabular, zone and refined methods of reinforced concrete beams with a rectangular cross-section, with single double-row reinforcement, which is recommended in Eurocode 2. Based on the results of the computational experiments, a comparative analysis of the fire resistance indicators of these structures was carried out. The level of load on the reinforced concrete beam was taken to be 50% of the bearing capacity.*

The finite element method was used for the refined calculation of the fire resistance assessment. According to the results of the refined method, the limit of fire resistance of the studied structure was 139.15 minutes.

Keywords: *reinforced concrete floor beam, calculation methods of fire resistance assessment, finite element model, standard fire temperature regime.*