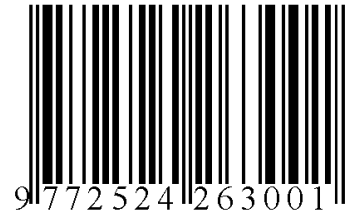


ISSN 2524-2636



**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 5 № 1 (2021)

DOI: [https:// doi.org/10.31731/2524-2636.2021.5.1.](https://doi.org/10.31731/2524-2636.2021.5.1)

***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 № 11 від 10.06.2021)*

*Дозволяється публікація матеріалів збірника у відкритому доступі комісією
Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України
з питань роботи із службовою інформацією
(протокол № 7 від 14.06.2021)*

**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, 2021. – Том 5 № 1. – 134 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*, канд. техн. наук, проф. Заслужений працівник освіти України (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР – *Ножко Ігор Олегович*, канд. пед. наук (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР – *Рябоконт 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);

Беліков 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);

Волянін 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));

Лівізінюк Михайло Михайлович, д-р фіз.-мат. наук, проф. (Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України (м. Київ));

Землянський Олег Миколайович, канд. 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);

Костенко Тетяна Вікторівна, д-р техн. наук, доц. (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, доц. (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

Мізерський Анжсей, д-р техн. наук, проф. (Головна школа пожежної служби (м. Варшава, Республіка Польща));

Мосов Сергій Петрович, д-р війс. 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);

Ніжник 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 (ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

Осипенко Василь Іванович, д-р техн. наук, проф. (Черкаський державний технологічний університет);

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, доц. (Навчально- методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Черкаської області);

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 / CONTENTS

<i>О. Азаренко, Ю. Гончаренко, М. Дівізінюк, О. Тищенко, О. Мирошник, О. Землянський, Д. Лесечко</i> ПРОТИРІЧЧЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ОБ'ЄКТА КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	5
<i>E. Azarenko, Yu. Honcharenko, M. Divizinyuk, O. Tyschenko, O. Miroshnyk, O. Zemlianskyi, D. Lesechko</i> DISTRIBUTING TO THE PROCESS OF MANAGING THE SECURITY OF A CRITICAL INFRASTRUCTURE	
<i>О. Бас, Д. Лагно, І. Ножко, М. Пелипенко</i> ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ ДЛЯ ОРІЄНТУВАННЯ У ЗАДИМЛЕНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	15
<i>O. Bas, D. Lahno, I. Nozhko, M. Pelypenko</i> USE OF ULTRASOUND FOR ORIENTATION IN A SMOKE ENVIRONMENT	
<i>Н. Вовк, Ю. Панімаш</i> ПРОБЛЕМА УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ В ОРГАНАХ І ПІДРОЗДІЛАХ ДСНС УКРАЇНИ.....	27
<i>N. Vovk, Yu. Panimash</i> HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT IN BODIES AND DIVISIONS OF THE SES OF UKRAINE	
<i>В. Гвоздь, О. Некора, С. Сідней, І. Неділько, С. Федченко, Є. Тищенко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КАРКАСІВ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ З ВРАХУВАННЯМ РІВНЯ МЕХАНІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	40
<i>V. Hvozd, O. Nekora, S. Sidnei, I. Nedilko, S. Fedchenko, Eu. Tishchenko</i> RESEARCH OF FIRE RESISTANCE OF ELEMENTS OF STEEL FRAMES OF INDUSTRIAL BUILDINGS	
<i>Ю. Горбаченко, Ю. Панімаш, С. Тарасов</i> ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ.....	50
<i>Yu. Horbachenko, Iu. Panimash, S. Tarasov</i> PRIORITY DIRECTIONS OF CIVIL PROTECTION PROCESS MANAGEMENT OPTIMIZATION	
<i>В. Костенко, О. Зав'ялова, Т. Костенко, М. Кралюк, Я. Крупка</i> ТАКТИКА ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОГО ЗАРАЖЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	57
<i>V. Kostenko, O. Zavialova, T. Kostenko, M. Kraliuk, Ya. Krupka</i> TACTICS OF ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF CHEMICAL INFECTION OF MINING PRODUCTS OF COAL MINES	
<i>М. Куценко, Г. Єлагін, А. Алексєєв, В. Наконечний, О. Алексєєва</i> ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ РОЗЛИТИХ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН ЗАСОБАМИ НА ОСНОВІ ПОРИСТИХ НОСІВ З ІММОБІЛІЗОВАНИМИ ВОГНЕГАСНИМИ РЕЧОВИНАМИ.....	67
<i>M. Kutsenko, H. Yelagin, A. Alekseev, V. Nakonechny, O. Alekseeva</i> JUSTIFICATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC EXPENDITURE OF FIRE EXTINGUISHING OF SPILLED COMBUSTIBLE SUBSTANCES BY MEANS BASED ON POROUS CARRIERS FROM ІММОБУМОГІЛ	

<i>М. Луценко</i>	
ВИБІР ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ЧЕРВ'ЯЧНИХ РЕДУКТОРІВ В УМОВАХ РЕМОНТНОЇ БАЗИ. ПРОТИПОЖЕЖНОЇ ТЕХНІКИ.....	78
<i>М. Lutsenko</i>	
CHOICE OF TOOL FOR CUTTING THE GEARS OF WORM REDUCERS IN CONDITIONS OF REPAIR BASE. FIRE-FIGHTING EQUIPMENT	
<i>С. Мосов, Т. Чубіна, В. Хижняк</i>	
ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНОЇ АВІАЦІЇ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ: СВІТОВИЙ ДОСВІД.....	85
<i>S. Mosov, T. Chubina, V. Khizhnyak</i>	
APPLICATION OF PILOTLESS AIRCRAFT FOR PREVENTION AND DETECTION OF EMERGENCIES: WORLD EXPERIENCE	
<i>О. Нуянзін, В. Гвоздь, С. Поздєєв, О. Некора, О. Борсук</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЧАСУ ВІДШАРУВАННЯ ВОГНЕЗАХИСНОГО МІНЕРАЛОВАТНОГО ОБЛИЦЮВАННЯ СТАЛЕВОЇ БАЛКИ ВІД КОЕФІЦІЄНТУ ПЕРЕРІЗУ ТА КОЕФІЦІЄНТУ НАВАНТАЖЕННЯ.....	96
<i>O. Nuianzin, V. Hvozdz, S. Pozdieiev, O. Nekora, O. Borsuk</i>	
STUDY OF THE TIME OF DEPENDENCE OF EXFOLIATION OF FIRE-PROTECTIVE MINERALOWOLL COVERING OF STEEL BEAM ON THE CROSS SECTION COEFFICIENT AND LOAD FACTOR	
<i>С. Панченко, В. Ніжнік, А. Биченко</i>	
ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ.....	104
<i>S. Panchenko, V. Nizhnyk, A. Bychenko</i>	
TRENDS OF APPLICATION AN AVIATION FOR EXTINGUISHING FIRES	
<i>М. Семерак, М. Михайлишин, І. Несен</i>	
АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ АКТУАЛЬНИХ ЗАДАЧ ТЕПЛООБМІНУ	115
<i>M. Semerak, M. Mykhailyshyn, I. Nesen</i>	
ANALYTICAL METHOD OF SOLVING CURRENT HEAT EXCHANGE PROBLEMS	
<i>І. Черномаз, Д. Федоренко</i>	
ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ ЗРАЗКІВ РЯТУВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ У ЗАМКНУТИХ ПРОСТОРАХ.....	123
<i>I. Chornomaz, D. Fedorenko</i>	
INTRODUCTION OF THE LATEST SAMPLES OF RESCUE MEANS DURING EMERGENCY RESCUE WORKS IN ENCLOSED SPACES	
<i>С. Поздєєв, Я. Змага, М. Змага, І. Неділько, С. Федченко</i>	
PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF FIRE-PROTECTIVE PLYWOOD UNDER HIGH TEMPERATURES	129
<i>S. Pozdieiev, Ya. Zmaha, M. Zmaha, I. Nedilko, S. Fedchenko</i>	
ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ФАНЕРИ ПРИ ДІЇ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР	

УДК 624.012

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2021.5.1.-40-49>.

Віктор Гвоздь¹, канд. техн. наук, професор (ORCID: 0000-0003-0818-7810),

Ольга Некора¹, канд. техн. наук, с. н. с. (ORCID: 0000-0002-5202-3285),

Станіслав Сідней¹, канд. техн. наук (ORCID: 0000-0002-7664-6620),

Інна Неділько¹, (ORCID: 0000-0002-2457-9235),

Світлана Федченко¹, (ORCID: 0000-0003-3294-2214),

Євген Тищенко², д-р техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0003-3911-3291)

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України,

²Навчально-методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Черкаської області

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КАРКАСІВ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ З ВРАХУВАННЯМ РІВНЯ МЕХАНІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

У статті розглянуто та проаналізовано методи, за допомогою яких можна проводити дослідження з визначення вогнестійкості елементів сталевих каркасів промислових будівель.

Визначено, що доцільно використовувати засоби з використанням засобів обчислювальної термогазодинаміки, які не мають обмежень через високу вартість, складність, екологічність та складність порівняно з реальними експериментами.

Для проведення найнадійніших обчислювальних експериментів були створені математичні моделі температури та механічної реакції на тепловий ефект пожежі з урахуванням рівнянь теплопровідності, систем диференціальних рівнянь напружено-деформованого стану твердих речовин при їх чисельному виконанні на основі методу скінченних елементів. Вирішення математичних моделей проводилось із використанням засобів обчислювальної термогазодинаміки, які описують процес тепло- і масообміну в випробувальних пожежних печах під час визначення вогнестійкості сталевих конструкцій. За результатами обчислювальних експериментів показано, що граничний стан втрати несучої здатності вертикальних і горизонтальних конструкцій виникає внаслідок утворення зони пластичних деформацій з урахуванням асоціативної теорії пластичності. За результатами обчислювальних експериментів виявлено залежність межі вогнестійкості від рівня прикладеного навантаження до конструкцій, близького до лінійного. На основі отриманих залежностей та відповідних графіків розроблена методика, заснована на використанні максимальних деформацій елементів з відповідною фіксацією граничного стану на втрату вогнестійкості з точки зору несучої здатності шляхом вигину цієї кривої.

Ключові слова: вогнестійкість, «стандартна пожежа», сталеві конструкції, механічне навантаження.

Постановка проблеми. У сучасному будівництві використання сталевих конструкцій зустрічається все частіше. Найбільш поширено використання сталевих конструкцій при возведенні торгівельних, офісних, а також промислових будівель. Даний матеріал є одним з найбільш небезпечних при пожежах, так як здатен плавитись під дією високих температур. Часто пожежі на об'єктах, що збудовані зі сталевих елементів каркасів, супроводжуються руйнуванням будівельних конструкцій, що призводить до соціально-економічних втрат суттєвого обсягу, отже забезпечення необхідного рівня стійкості будівель при пожежі є важливим показником пожежної безпеки на будь-якому об'єкті.

Традиційно стійкість будівель під час пожежі пов'язують із вогнестійкістю будівельних конструкцій, що є об'єктом жорсткого нормування. При визначенні фактичних меж вогнестійкості вважається найбільш надійнішим і достовірним метод натурних вогневих

випробувань [1-4, 7, 8, 12, 13, 14, 15]. Метод вогневих випробувань полягає в нагріві натурального зразка, який повністю або частково відповідає реальному елементу конструкції в спеціальній вогневій печі при температурному режимі, який визначений в нормативах [1-4, 7, 8, 12, 13, 14, 15] і називається стандартною температурною кривою пожеж, з прикладенням відповідного механічного навантаження. Випробування сталевих конструкцій на вогнестійкість відбувається у відповідності до чинних стандартів України [2 – 4].

Альтернативною експериментальним методом є застосування розрахункових методів. На даний час теоретична та методична база, щодо такого підходу міститься у серії нормативних документів [5, 6, 7, 8, 12, 13, 15], чинних в Україні. Дані методи є гнучкими, дозволяють врахувати все розмаїття граничних умов, матеріалів, геометричних розмірів та інших параметрів конструкцій, а також вони є набагато менш трудомісткими та вартісними.

Багато цих методів засновані на гіпотезах опору матеріалів і добре працюють тоді, коли є чітке уявлення про поведінку елементу конструкції в умовах пожежі. Відсутність такої інформації накладає обмеження на застосування розрахункових методів, адже її отримання пов'язане з проведенням масштабних експериментів. Для рішення цих задач ефективним є застосування математичного моделювання із залученням важких комп'ютерних інженерних систем, заснованих на методі кінцевих елементів, оскільки дозволяє отримати великий обсяг даних, щодо поведінки сталевих конструкцій під час пожежі. Тому гарантування відповідності вогнестійкості сталевих будівельних конструкцій вимогам норм є необхідною умовою пожежної безпеки об'єктів.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Існує багато робіт присвячених поведінки сталевих конструкцій при високих температурах. Загальна модель, тобто нелінійний комп'ютерний код, широко застосовується для визначення навантаження на вигин осьовонавантажених елементів, враховуючи, що матеріальна модель поводить при підвищених температурах відповідно до гіпотез Єврокоду 3, частина 1.2 [6], а основні результати цього чисельного дослідження зведені в [7, 8, 12, 13, 15].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. У джерелах широко представлені інформація про моделі матеріалів та методи розрахунку, проте інформація про базу критеріїв настання граничного стану з вогнестійкості є обмеженою, а також не представлено чіткої методики ідентифікації часу настання граничного стану за базою даних, що є результатом обчислень. Не дивлячись на добре розроблену методологічну базу, щодо проведення обчислень не має єдиних методик, щодо визначення вогнестійкості сталевих конструкцій на основі проведених розрахунків. Стаття [10] містить деякі попередні ідеї щодо використання моделей виробів як частини концепції пожежної безпеки для будівель у майбутньому.

Основним завданням було розглянути закономірність впливу втрати несучої здатності вертикальних та горизонтальних сталевих конструкцій при стандартному температурному режиму пожежі від рівня прикладеного навантаження на зазначені конструкції.

Постановка задачі та її розв'язання. Дослідити тепловий вплив температурних режимів пожежі на механічні характеристики сталевих конструкцій при застосуванні методу кінцевих елементів. Виявити залежність значень меж вогнестійкості сталевих конструкцій від рівня навантаження при стандартному температурному режиму пожежі. На основі отриманих закономірностей розробити методики визначення значень меж вогнестійкості сталевих горизонтальних та вертикальних елементів каркасів промислових будівель та споруд.

Для вивчення поведінки сталевих конструкцій були розглянуті, основні технічні параметри, які наведені у табл. 1.

Для описання поведінки сталевих конструкцій під час пожежі були проаналізовані підходи до розв'язку подібних задач [5, 6, 7, 8, 12, 13, 15]. Аналіз підходів у даних джерелах дозволив сформулювати основні передумови й допущення, які можна сформулювати в такому загальному вигляді:

1. Математична модель температурної й механічної реакції на тепловий вплив пожежі описується за допомогою рівняння теплопровідності й системи диференціальних рівнянь напружено-деформованого стану (НДС) твердого тіла при їхній чисельній реалізації на базі методу кінцевих елементів (МКЕ).

2. Для розв'язку теплотехнічної задачі використовується нестационарне двовимірне квазілінійне рівняння теплопровідності з ефективними теплофізичними характеристиками (ТФХ) сталі згідно з нормативними документами [5, 6, 7, 8, 12, 13, 15] у допущенні, що НДС на них не впливає.

3. Враховується поведінка сталевих вертикальних та горизонтальних конструкцій, яка має нелінійний характер з урахуванням спадаючої гілки діаграми деформування, параметри якої залежать від температури.

4. Пластична деформація матеріалу визначається асоціативною теорією пластичності.

5. Стан тотального руйнування конструкцій визначається критичними деформаціями, пов'язаними з утворенням зони локального пластичного деформування.

Таблиця 1 – Основні параметри горизонтальних та вертикальних сталевих конструкцій у вигляді зварного двотаврового елемента виготовленого зі сталі Ст3

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Геометричні розміри			
• ширина полиці	b	115	мм
• висота перерізу	h	240	
• довжина прольоту	l	6000	
• висота елемента	h	3000	
Густина сталі	ρ_s	7850	кг/м ³

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Для розв'язку поставленої задачі необхідне завдання комплексу початкових даних, до яких відносяться властивості матеріалу сталевих конструкцій, та параметри граничних умов, що враховують прикладені навантаження, та теплову дію. На рис. 1 наведені теплофізичні характеристики сталі, з якої виготовлені елементи сталевих каркасів, що описані у чинному стандарті України, [5, 6] щодо розрахунку сталевих конструкцій на вогнестійкість. Дані характеристики являють собою температурні залежності ефективних характеристик, які описують матеріал як однорідний та ізотропний, що є допустимим при таких розрахунках [5, 6].

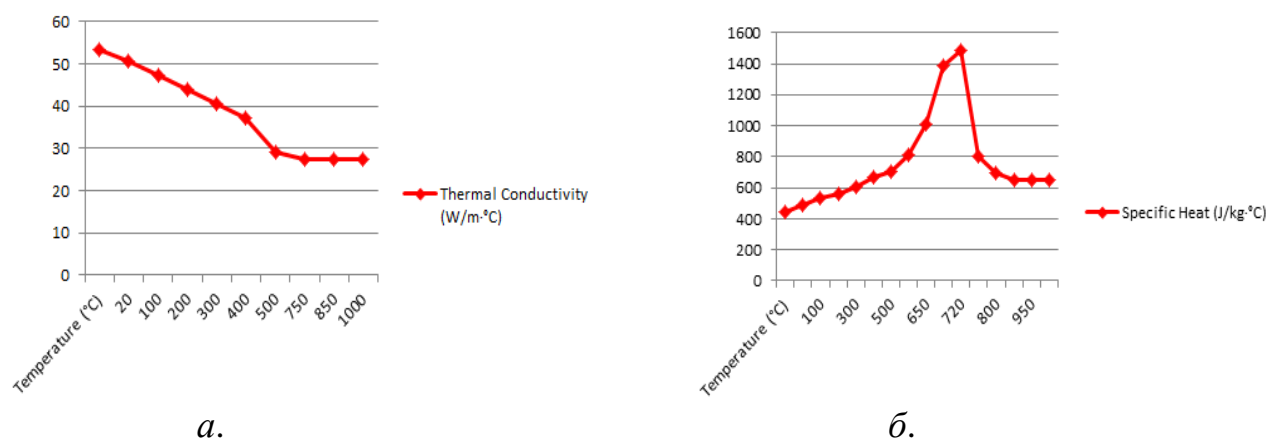


Рисунок 1 – Теплофізичні характеристики сталі, що використовувалась у виготовленні елементів каркасів промислових будівель: Теплопровідність (а), Теплоємність (б).

На рис.2 подані термомеханічні властивості сталі, що були використані для розрахунку.

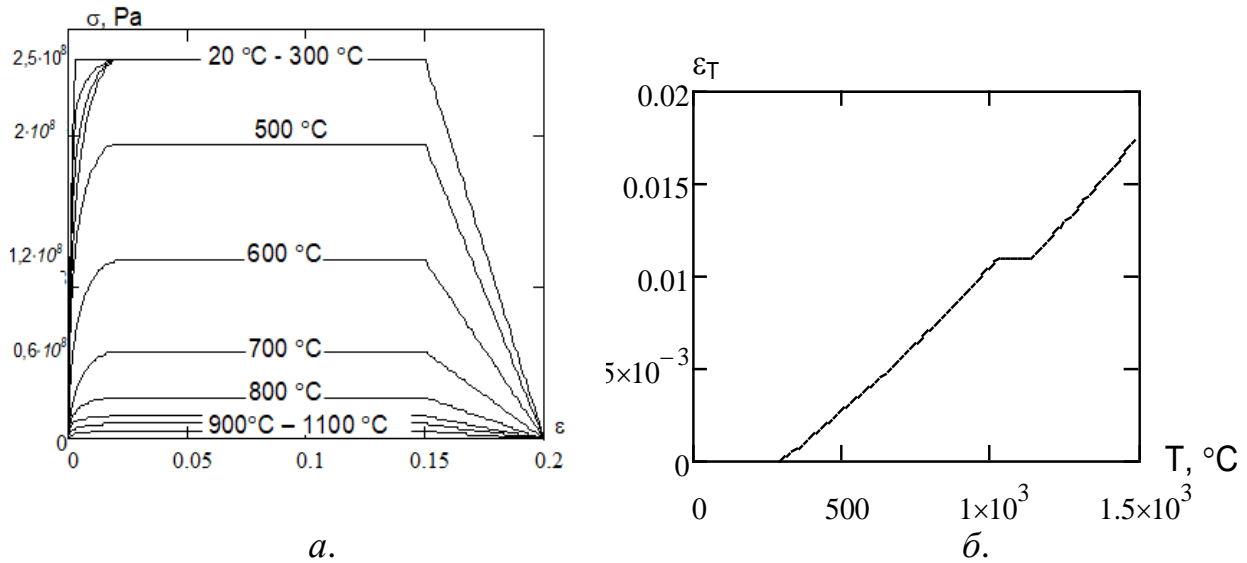


Рисунок 2 – Термомеханічні характеристики сталі: Білінійне ізотропне зміцнення (а), коефіцієнт теплового розширення (б).

Для проведення розрахунку були використані математичні моделі, параметри яких подані у табл. 2.

Таблиця 2 - Основні математичні моделі для розрахунків сталевих елементів каркасу на вогнестійкість

Особливість поведінки матеріалу	Використана математична модель (метод)	Джерело
Теплотехнічна задача		
Теплопровідність	Рівняння нестационарної теплопровідності разом з МКЕ	[6,11]
Граничні умови	III роду	
Фізична нелінійність	Ітеративний метод Ньютона-Рафсона	[11]
Статична задача		
НДС	МКЕ	[11]
Пластичне деформування	Асоціативна теорія пластичного деформування Бесселінга	[11]
Нелінійність	Ітеративний метод Ньютона-Рафсона	[11]

При проведенні теплових розрахунків сталевих елементів каркасу було враховано вплив підвищених температур від пожежі з трьох боків для горизонтальних та з чотирьох боків для вертикальних конструкцій.

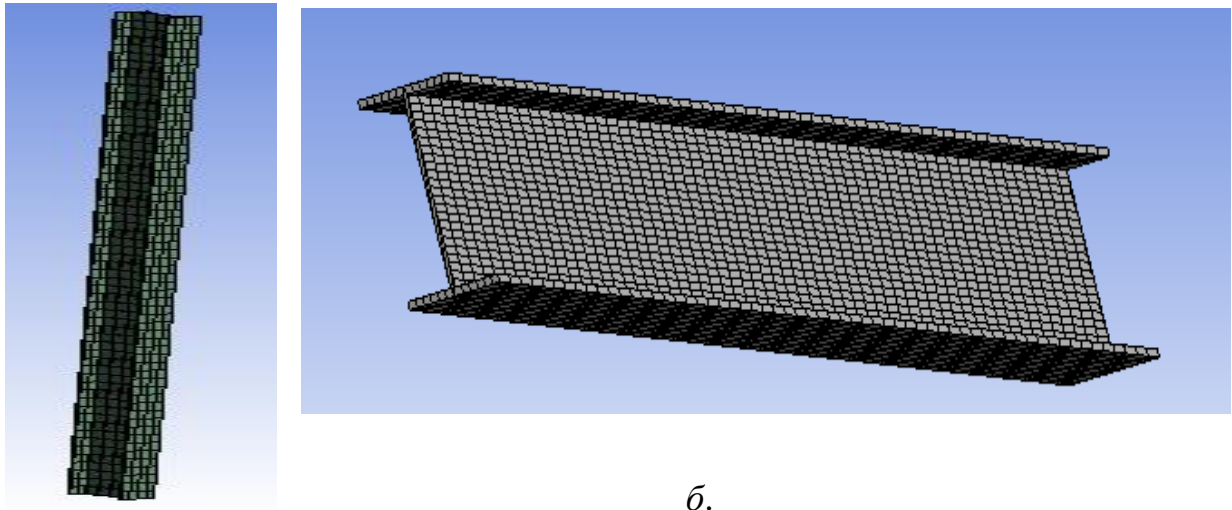
Використані характеристики матеріалів відповідають вимогам стандартів України [5, 6]. Міцнісні характеристики являють собою набір діаграм «напруження-деформація» із спадними гілками для певних значень температури нагріву сталі.

Для завдання граничних умов були використані параметри, спираючись на чинні стандарти України, щодо розрахунку будівельних конструкцій на вогнестійкість. Величини вибраних параметрів наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Параметри граничних умов

Характеристика	Одиниці виміру	Величина	Джерело
Параметри граничних умов теплотехнічної задачі			
Номінальний тепловий вплив	Стандартний температурний режим пожежі		
Коефіцієнт конвекційного теплообміну на поверхні, що обігривається	Вт/(м ² ·К)	25	[5]
Коефіцієнт конвекційного теплообмін на поверхні, що не обігривається	Вт/(м ² ·К)	9	[5]
Ступінь чорноти	-	0.7	[5]
Постійна Стефана-Больцмана	Вт/(м ² ·К ⁴)	5.67·10 ⁻⁸	[5]
Параметри граничних умов статичної задачі			
Коефіцієнт Пуассона	-	0,3	[5]

Для проведення розрахунку були побудовані сіткові моделі конструкцій, вигляд яких поданий на рис. 3.



а.

б.

Рисунок 3 – Сіткові моделі: до теплотехнічної та статичної задач (а - для вертикальних конструкцій); (б - для горизонтальних конструкцій).

Навантаження та закріплення сталевих елементів каркасу відбувалось за схемою наведеною на рис. 4.

З метою отримання найбільш достовірної візуалізації поведінки сталевих конструкцій під час впливу стандартного температурного режиму від пожежі при умові дії навантаження конструкції розглядаються у повних розмірах.

Для вирішення статичної задачі були розглянуті різні рівні механічного навантаження. Розрахунковим шляхом було визначена величина руйнуючого тиску на конструкції, що складає 36960 т/м² для вертикальних конструкцій та 15 т/м² для горизонтальних конструкцій. Для вивчення впливу величини навантаження були прикладені значення навантаження з ряду 0,3·р_{max}, 0,5·р_{max}, 0,7·р_{max}, 0,9·р_{max}.

Після вирішення статичної задачі були отримані графіки вертикальних переміщень верхнього краю вертикальних конструкцій, а також відповідно прогин горизонтальних конструкцій. Отримані графіки наведені на рис. 5.

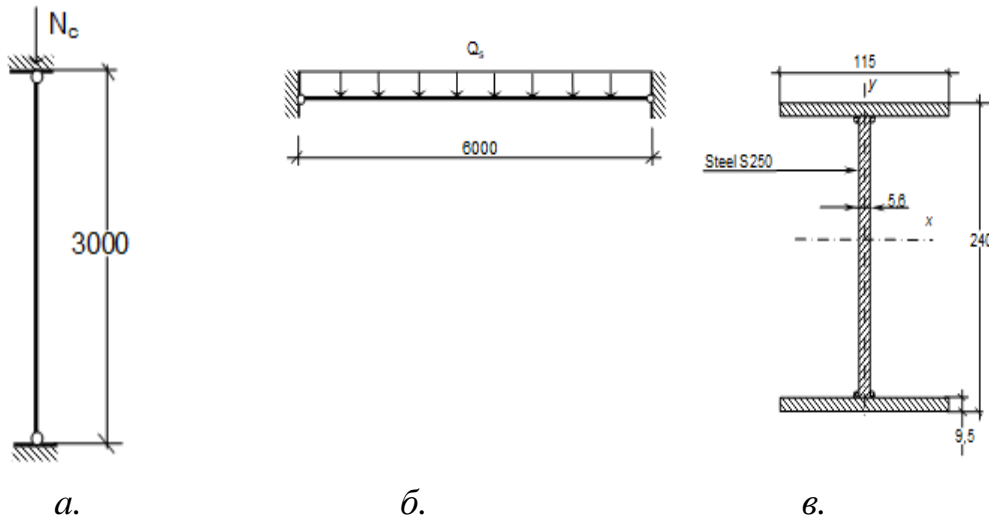


Рисунок 4 – Схеми навантажень, закріплень сталевих елементів каркасу (а - для вертикальних конструкцій; б - для горизонтальних конструкцій); схема перерізу вертикальних та горизонтальних конструкцій - в.

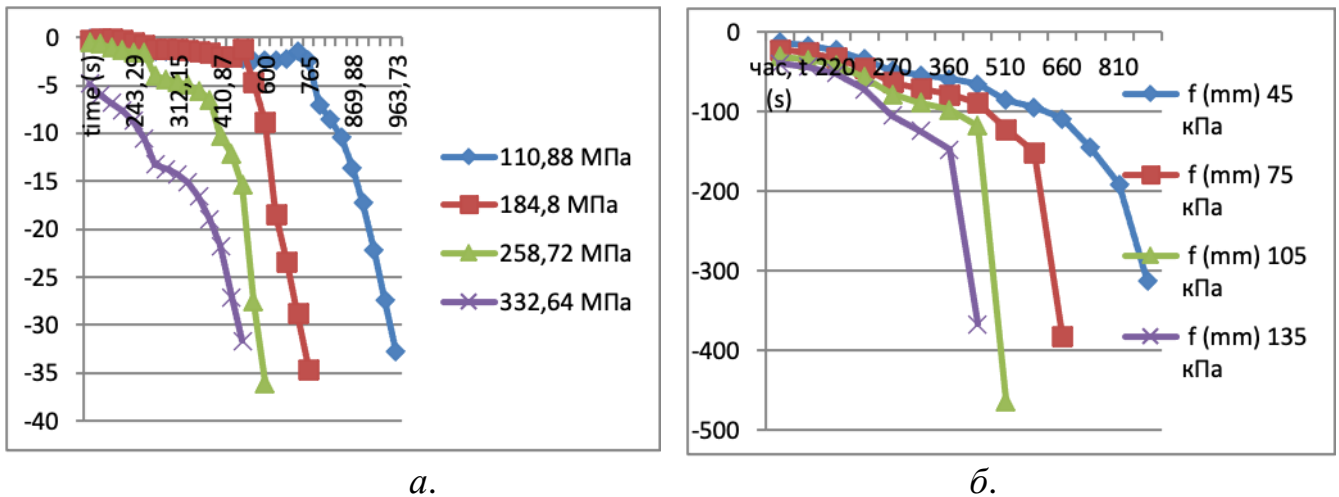


Рисунок 5 – Результати вирішення сумісних статичних та теплових задач: вертикальні переміщення верхнього краю вертикальних конструкцій (а), прогин горизонтальних конструкцій (б).

Згідно з отриманими графіками видно, що при навантаженні з величиною $0,3 \cdot p_{max}$, $0,5 \cdot p_{max}$ верхній край вертикальних конструкцій спочатку рухається вгору і на певному етапі переміщення стають позитивними, тобто маємо збільшення висоти сталевих елементів. При настанні граничного стану з вогнестійкості конструкції її висота знову зменшується при наростанні прогину у бік. При більших навантаженнях збільшення висоти поздовжньонавантажених вертикальних елементів не спостерігається. Така картина пояснюється тим, що спочатку від вогневої дії пожежі конструкція розширюється у тому числі у верхньому напрямку за рахунок низького рівня поздовжнього навантаження на конструкцію, шари сталевих елементів розширюються і за рахунок цього відбувається згин конструкції і відповідно поздовжнє переміщення її верхнього краю. Результатом такої картини відбувається втрата стійкості вертикального сталевих елементів.

Отримані графіки дозволяють отримати дані про настання граничного стану втрати несучої здатності шляхом порівняння поточних значень переміщень і швидкостей з гранично допустимими, що визначаються за формулами [2, 3]:

$$C = 0.01h, \quad (1)$$

$$dC/dt = 3h/1000, \quad (2)$$

де h – початкова висота зразка.

Поведінка горизонтальних конструкцій, пояснюється зменшенням межі текучості та модуля пружності по мірі нагрівання сталевих конструкцій, рис. 2 (а), [6]. Температурне розширення елементів відбувається у залежності від впливу температури, залежність наведена на рисунку 2 (б), [6, 8]. Відповідно внаслідок діючого навантаження несуча здатність в умовах пожежі горизонтальних сталевих елементів (M_{Rd}, f_i) зменшується. Найшвидше настання граничного стану з вогнестійкості, щодо втрати несучої здатності спостерігається при навантаженні конструкції $0,9 \cdot p_{max}$ ($13,5 \text{ т/м}^2$), що спостерігається на графіку рисунка 5 (б).

Порівняння поточних значень переміщень і швидкостей з гранично допустимими, що визначаються за формулами визначення граничних деформацій (3) та граничне значення швидкості наростання деформації (4) [2, 4]:

$$D = L^2/(400b) \quad (3)$$

$$dt = L^2/(9000b), \quad (4)$$

де L – прогін, мм,

b – розрахункова висота перерізу конструкції, мм

Аналіз отриманих графіків показує, що за критеріями (1,3) граничний стан втрати несучої здатності не настає. Але вигляд графіків на рис. 5 показує, що на кінцевій їх ділянці відбувається різке нарощування деформацій, що вказує на утворення локальної зони пластичних деформацій, що є свідченням настання граничного стану втрати несучої здатності. Для визначення межі вогнестійкості був використаний спосіб дотичних, описаний в [6, 7, 8, 12, 13, 15]. За дотичними на ділянках кривих вертикальних переміщень, показаних на рис. 5 визначаємо межі вогнестійкості конструкцій, підданих механічними навантаженнями із різними значеннями.

В результаті дослідження вогнестійкості сталевих елементів каркасу балок та колон виявлено закономірності, що встановлює залежність між межею вогнестійкості та рівнем прикладеного навантаження. На рис. 6 наведені зазначені залежності.

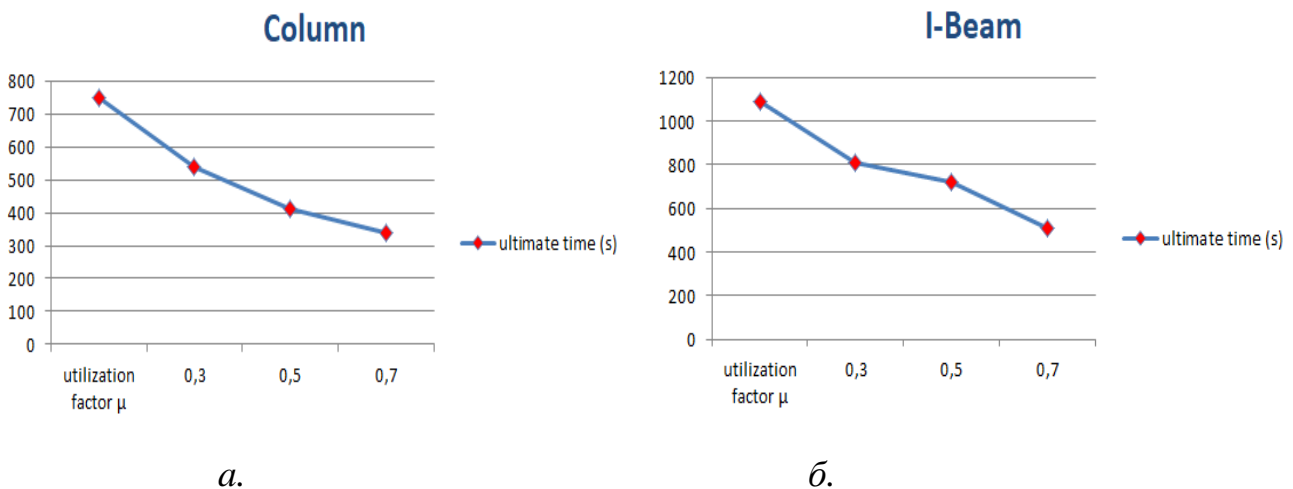


Рисунок 6 – Залежність між межею вогнестійкості та рівнем прикладеного навантаження. Вертикальних конструкцій (а), горизонтальних конструкцій (б).

Висновки. З огляду на проведені дослідження можна зробити такі висновки:

1. З метою проведення найбільш достовірних обчислювальних експериментів створені математичні моделі температурної й механічної реакції на тепловий вплив пожежі з врахуванням рівнянь теплопровідності, системи диференціальних рівнянь НДС твердого тіла при їхній чисельній реалізації на базі МКЕ.

2. Розв'язання математичних моделей проводилось з використанням засобів обчислювальної термогазодинаміки, які описують процес тепломасообміну у випробувальних вогневих печах під час визначення вогнестійкості сталевих конструкцій.

3. За результатами обчислювальних експериментів показано, що граничний стан втрати несучої здатності вертикальних та горизонтальних конструкцій відбувається з причини утворення зони пластичних деформацій із врахуванням асоціативної теорії пластичності.

4. За результатами обчислювальних експериментів виявлена залежність межі вогнестійкості від рівня прикладеного навантаження до конструкцій, яка є наближеною до лінійної.

5. На основі отриманих залежностей та відповідних графіків розроблена методика, що базується на використанні максимальних деформацій елементів із відповідною фіксацією настання граничного стану з втрати вогнестійкості за несучою здатністю за загином цієї кривої.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги ДБН В.1.1-7-2016 [Чинний від 2017-06-01.]. – Міністерство регіонального розвитку та будівництва – 2017. – 35 с – (Національний стандарт України).

2. 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).

3. Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість ДСТУ Б В.1.1-14:2007. (EN 1365-4:1999, NEQ). [Чинний від 2008-01-01.]– Міністерство регіонального розвитку та будівництва, 2008. – 9 с – (Національний стандарт України).

4. Захист від пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість ДСТУ Б В.1.1-13:2007. (EN 1365-3:1999, NEQ). [Чинний від 2008-01-01.]– Міністерство регіонального розвитку та будівництва, 2008. – 7 с – (Національний стандарт України).

5. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005/A1:2014, IDT). [Чинний від 2013-07-01.]– Міністерство регіонального розвитку та будівництва, 2013. – 150 с – (Національний стандарт України).

6. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT). [Чинний від 2014-01-01.]– Міністерство регіонального розвитку та будівництва, 2013. – 98 с – (Національний стандарт України).

7. Research of integrity of fire insulation cladding with mineral wool of steel beam under fire impact // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1021(1), 012024 / Pozdieiev S., Nuianzin O., Borsuk O., Nedilko I.

8. Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions // Materials Science Forum / Taras Shnal, Serhii Pozdieiev, Oleksandr Nuianzin, Stanislav Sidnei / 2020 Volume 1006 – pp. 107 – 116.

9. Шналь Т. М. Вогнестійкість та вогнезахист металевих конструкцій // Навчальний посібник «Львівська політехніка». – Львів: НТУ «Львівська політехніка». - 2010. – С. 176.

10. Heinisuo M., Laasonen M. Product modeling, part of the fire safety concept in the future for metal structures // Advanced Research Workshop, Fire Computer Modeling, Santander. (2007). – pp. 18-20.

11. Поздєєв С.В. Розробка уточненого розрахункового методу для визначення межі вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій. / Поздєєв С.В., Левченко А.Д. // Науковий вісник національного технічного університету «Львівська політехніка». – Львів: НТУ «Львівська політехніка». - 2011. – С. 264 – 269.

12. Improvement of the estimation method of the possibility of progressive destruction of buildings caused by fire // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 708(1), 012067 / Pozdieiev S., Nekora O., Kryshtal T., Sidnei S., Shvydenko A.

13. Method of the calculated estimation of the possibility of progressive destruction of buildings in result of fire // MATEC Web of Conferences, 2018, 230, 02026 / Pozdieiev S., Nekora O., Kryshtal T., Zazhoma V., Sidnei S.

14. Research of the behavioral of the wooden beams with fire protection lining under fire loading // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1021(1), 012031 / Zmaha M.I., Pozdieiev S.V., Zmaha Y.V., Nekora O.V., Sidnei S.O.

15. Temperature effect on the thermal-physical properties of fire-protective mineral wool cladding of steel structures under the conditions of fire resistance tests // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 4(12-106), p. 39–45 / Pozdieiev S., Nuianzin O., Binetska O., Shvydenko A., Alimov B.

REFERENCES

1. Fire safety of construction objects. General requirements of State Construction norms B.1.1-7-2016 [Effective from 2017-06-01.]. – The Ministry of Regional Development and Construction - 2017. 35 p. (The National Standard of Ukraine).

2. Building structures. Test method for fire resistance. General requirements. Fire safety. (ISO 834: 1975) DSTU B B.1.1-4-98 *. [Effective from 1998-10-28.] - Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2005. 20 p. (The National Standard of Ukraine).

3. Fire protection. Columns. Test method for fire resistance DSTU B B.1.1-14: 2007. (EN 1365-4: 1999, NEQ). [Effective from 2008-01-01.] – The Ministry of Regional Development and Construction, 2008. 9 p. (The National Standard of Ukraine).

4. Fire protection. Beams. Test method for fire resistance DSTU B B.1.1-13: 2007. (EN 1365-3: 1999, NEQ). [Effective from 2008-01-01.] – The Ministry of Regional Development and Construction, 2008. 7 p. (The National Standard of Ukraine).

5. DSTU-N B EN 1993-1-1: 2010 Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings (EN 1993-1-1: 2005 / A1: 2014, IDT). [Effective from 2013-07-01.] – The Ministry of Regional Development and Construction, 2013. 150 p. (The National Standard of Ukraine).

6. DSTU-N B EN 1993-1-2: 2010 Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-2. General terms. Calculation of structures for fire resistance (EN 1993-1-2: 2005, IDT). [Effective from 2014-01-01.] – The Ministry of Regional Development and Construction, 2013. 98 p. (The National Standard of Ukraine).

7. Research of integrity of fire insulation cladding with mineral wool of steel beam under fire impact // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1021(1), 012024 / Pozdieiev S., Nuianzin O., Borsuk O., Nedilko I.

8. Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions // Materials Science Forum / Taras Shnal, Serhii Pozdieiev, Oleksandr Nuianzin, Stanislav Sidnei / 2020 Volume 1006 – pp. 107 – 116.

9. Shnal T.M. Fire resistance and fire protection of metal structures // Textbook "Lviv Polytechnic". Lviv: NTU "Lviv Polytechnic". 2010. p. 176.

10. Heinisuo M., Laasonen M. Product modeling, part of the fire safety concept in the future for metal structures //Advanced Research Workshop, Fire Computer Modeling, Santander. (2007). – pp. 18-20.

11. Pozdieiev S.V. Development of a qualified 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. pp. 264 - 269.12. Improvement of the estimation method of the possibility of progressive destruction of buildings caused by fire // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 708(1), 012067 / Pozdieiev S., Nekora O., Kryshtal T., Sidnei S., Shvydenko A.

13. Method of the calculated estimation of the possibility of progressive destruction of buildings in result of fire // MATEC Web of Conferences, 2018, 230, 02026 / Pozdieiev S., Nekora O., Kryshtal T., Zazhoma V., Sidnei S.

14. Research of the behavioral of the wooden beams with fire protection lining under fire loading // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1021(1), 012031 / Zmaha M.I., Pozdieiev S.V., Zmaha Y.V., Nekora O.V., Sidnei S.O.

15. Temperature effect on the thermal-physical properties of fire-protective mineral wool cladding of steel structures under the conditions of fire resistance tests // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 4(12-106), p. 39–45 / Pozdieiev S., Nuianzin O., Binetska O., Shvydenko A., Alimov B.

Viktor Hvozd¹, PhD in technical sciences, professor,

Olga Nekora¹, PhD in technical sciences, Senior Research Officer,

Stanislav Sidnei¹, PhD in technical sciences,

Inna Nedilko¹, Svitlana Fedchenko¹,

Eugene Tishchenko², Doctor of Technical Science, docent,

*¹Cherkassy Institute of Fire Safety Named after Chernobyl Heroes
of National University of Civil Defense in Ukraine,*

*²Educational and Methodological Center for Civil Protection and Life Safety
of the Cherkasy Region*

RESEARCH OF FIRE RESISTANCE OF ELEMENTS OF STEEL FRAMES OF INDUSTRIAL BUILDINGS

The article considers and analyses the methods by which it is possible to carry out research to determine the fire resistance of elements of steel frames of industrial buildings. It is determined that it is expedient to use the means of computational fluid dynamics, which has no limitations due to the high cost, complexity, environmental friendliness and complexity in comparison with real experiments. In order to conduct the most reliable computational experiments, mathematical models of temperature and mechanical reaction to the thermal effect of fire were created, taking into account the equations of thermal conductivity, systems of differential equations of stress-strain state of solids in their numerical implementation based on the finite element method. The solution of mathematical models was carried out using computational fluid dynamics, which describes the process of heat and mass transfer in test fire furnaces during the determination of fire resistance of steel structures. According to the results of computational experiments it is shown that the limiting state of loss of bearing capacity of vertical and horizontal structures occurs due to the formation of a zone of plastic deformations taking into account the associative theory of plasticity. According to the results of computational experiments, the dependence of the limit of fire resistance on the level of applied load to structures, which is close to linear, was revealed. Based on the obtained dependences and the corresponding graphs, a technique is developed based on the use of maximum deformations of the elements with the corresponding fixation of the limit state on the loss of fire resistance in terms of bearing capacity by bending this curve.

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», Том 5 № 1 (2021)

Key words: fire resistance, "standard fire", steel structures, mechanical load.