

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

На правах рукопису

Борис Олександр Павлович

УДК 614.841.343

**ВОГНЕЗАХИСНА ЗДАТНІСТЬ ПОКРИТТІВ
ІЗ ПІНОБЕТОННИХ ТА ГАЗОБЕТОННИХ ПЛИТОК**

21.06.02 - Пожежна безпека

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидат технічних наук

Науковий керівник – Половко А.П.
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

Львів-2015

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВОГНЕЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	12
1.1. Аналіз статистики та наслідків пожеж у будівлях та спорудах.	12
1.2. Загальна характеристика активних та пасивних способів вогнезахисту	15
1.3. Переваги та недоліки застосування вогнезахисних покриттів	21
1.4. Аналіз існуючих методів та методик визначення вогнестійкості будівельних конструкцій та вогнезахисної здатності покриттів	26
1.5. Висновки, мета і задачі дослідження	40
РОЗДІЛ 2. ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ І ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
2.1. Обґрунтування параметрів та характеристик зразків для випробувань	42
2.2. Методика експериментальних досліджень вогнезахисної здатності	50
2.3. Методи та моделі розрахунку теплофізичних характеристик	61
2.4. Висновки за розділом	67
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	69
3.1. Загальні основи та результати експериментальних досліджень	69
3.1.1. Фрагменти вогнезахисного покриття типу Г-1	70
3.1.2. Фрагменти вогнезахисного покриття типу Г-2	75
3.1.3. Фрагменти вогнезахисного покриття типу П-1	79
3.1.4. Фрагменти вогнезахисного покриття типу П-2	83
3.1.5. Фрагменти вогнезахисного покриття типу П-3	87
3.1.6. Фрагменти вогнезахисного покриття типу П-4	91
3.1.7. Фрагменти вогнезахисного покриття типу К	94
3.1.8. Випробування металевої пластини типу М	97
3.2. Висновки за розділом	97
РОЗДІЛ 4. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОКРИТТЯ	100
4.1. Перевірка отриманих експериментальних даних з прогріву сталевих пластин з вогнезахисним покриттям з газобетону та пінобетону теоретичними методами	100
4.2. Ідентифікація теплофізичних характеристик газобетону і пінобетону за експериментальними даними по прогріву сталевих пластин з вогнезахисним покриттям	110
4.3. Розрахунок вогнезахисної здатності газобетону і пінобетону для забезпечення вогнестійкості будівельних конструкцій	113
4.3.1. Розрахунок вогнезахисної здатності газобетону	113
4.3.2. Розрахунок вогнезахисної здатності пінобетону	116
4.4. Висновки за розділом	120
РОЗДІЛ 5. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	121
5.1. Результати теоретично - експериментальних досліджень	121
5.2. Рекомендації щодо застосування вогнезахисного покриття	123

	3
5.3. Впровадження результатів дослідження	128
5.4. Висновки за розділом	129
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	130
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	132
ДОДАТКИ	145
ДОДАТОК А	146
ДОДАТОК Б	159
ДОДАТОК В	171
ДОДАТОК Г	178

ВСТУП

Актуальність теми: За даними, Державної служби України з надзвичайних ситуацій упродовж 2014 року в Україні зареєстровано 68 тис. 879 пожеж.

Матеріальні втрати від пожеж склали 7 млрд. 731 млн. 081 тис. грн. (з них прямі матеріальні збитки становлять 1 млрд. 489 млн. 741 тис. грн., а побічні – 6 млрд. 241 млн. 340 тис. грн.).

Упродовж 2014 року в Україні в середньому щоденно виникало 188 пожеж, унаслідок яких гинуло 6 і отримувало травми 4 людини, вогнем знищувалося або пошкоджувалося 74 будівель та 12 одиниць техніки. Щоденні матеріальні втрати від пожеж становили суму 21,2 млн. грн. [86].

У середньому по Україні в наслідок кожної третьої пожежі знищено або пошкоджено будівлю чи споруду.

За умови дії високих температур при пожежі, подібні конструкції досить швидко досягають критичних температур прогріву, що призводить до втрати несучої спроможності та часткового або повного руйнування споруд. Забезпечення живучості несучих конструкцій будівель в умовах пожежі є важливим елементом протипожежного захисту.

Темпи зростання будівельної галузі в Україні сприяють використанню економічно вигідних та легких у застосуванні будівельних конструкцій, що в свою чергу вимагає розробки нових обґрунтованих рішень забезпечення їх вогнезахисту, запровадження надійних розрахункових методів, які базуються на ґрунтовному вивченні поведінки вогнезахищених будівельних конструктивних систем та їх окремих елементів в умовах температурного впливу пожежі.

Результати наукових праць викладених у роботах Ройтмана М.Я., Яковлева А.І., Некрасова А.Ф., Семерака М.М., Демчини Б.Г., Ковалишина В.В., Поздєєва С.В., Круковського П.Г., Цвіркуна С.В., Хежева Т.А., Цян Лі, Абдулли Кейвані є теоретично обґрунтованим, математично розрахованим та

експериментально підтвердженим науковим базисом, що розкриває закономірності поведінки вогнезахисних матеріалів та вогнезахисних конструкцій при впливі високих температур під час пожежі.

Економічні та соціальні умови, що склалися в Україні, спонукають до застосування новітніх технологій та удосконалення існуючих науково-технічних напрацювань у галузі пожежної безпеки об'єктів будівництва. Імплементация Україною європейських стандартів створює умови щодо впровадження принципово нових підходів до забезпечення вимог пожежної безпеки при експлуатації існуючих будівельних матеріалів, конструкцій, а також застосування інноваційних технологій будівництва. При цьому повинні враховуватися особливості національного ринку будівельних матеріалів.

На сьогодні у будівництві найбільш розповсюдженим способом захисту конструкцій від вогневого впливу пожежі є використання вогнезахисних систем із широкою номенклатурою будівельних матеріалів та конструктивних рішень. При цьому в Україні достатньо поширеного застосування набувають системи із вогнезахисними облицюваннями. Для їх виробництва перспективними вогнезахисними матеріалами є піно- та газобетони з огляду на їх низьку теплопровідність, технологічність та економічність. Тим не менше, використання даних матеріалів для вогнезахисту є досить обмеженим, оскільки їх поведінка і властивості в умовах вогневого впливу пожежі вивчена недостатньо. Про це може свідчити те, що в Україні використання конструктивного пінобетону порівняно з газобетоном, теплофізичні характеристики яких неодноразово досліджувались переліченими науковцями, складає близько 40% від кількості їх загального застосування у будівництві, а ідентичні будівельні стандарти (Єврокод) мають посилення виключно на конструктивний газобетон, що унеможливорює розрахунки поведінки виробів з пінобетону в умовах пожежі або при застосуванні в якості вогнезахисного матеріалу.

Викладене підкреслює важливість задачі розробки та удосконалення інженерних методів розрахункового визначення конструктивних даних

елементів вогнезахисту із високими техніко-економічними показниками, що забезпечує відповідність будівельних конструкцій встановленим вимогам будівельних норм щодо їх вогнестійкості. Основою для цього є розкриття закономірностей вогнезахисної здатності покриттів піно- та газобетонів із різними конструктивними характеристиками при впливі на них пожежі із стандартним та реальним температурним режимом.

Широке застосування піно- та газобетонів для виробництва вогнезахисних систем для будівельних конструкцій дозволяє зменшити собівартість та підвищити ефективність вогнезахисту.

Таким чином, розкриття закономірностей характеристик вогнезахисної здатності покриттів піно- та газобетонів із різними конструктивними характеристиками є науковим підґрунтям для розвитку сучасних технологій виробництва вогнезахисних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконувалась відповідно до «Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012-2015 роки», затвердженої Постановою Кабінетів Міністрів України від 27.06.2012 року №590, у рамках виконання науково-дослідних робіт Львівського державного університету безпеки життєдіяльності «Вогнестійкі теплоізоляційні матеріали і покриття на основі наповнених мінеральними та волокнистими матеріалами силіційорганічних сполук» (номер державної реєстрації 0108U001679) та «Дослідження огорожувальних конструкцій на вогнестійкість» (номер державної реєстрації 0110U002976), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Ідея роботи полягає у зменшенні собівартості та підвищенні ефективності вогнезахисних систем із облицювальними вогнезахисними покриттями з піно- та газобетонів, що мають високі техніко-економічні показники, шляхом використання уточнених даних щодо їх властивостей в умовах пожежі для розрахунку вогнестійкості будівельних конструкцій із цими системами.

Мета досліджень полягає у розкритті закономірностей характеристик

вогнезахисної здатності покриттів піно- та газобетонів із різними конструктивними характеристиками, як наукового підґрунтя для удосконалення інженерних методів розрахунку вогнестійкості металевих конструкцій із вогнезахисними системами на основі даних матеріалів.

Задачі досліджень:

- проаналізувати статистику пожеж і провести аналіз властивостей існуючих вогнезахисних покриттів та методів визначення вогнезахисної здатності;

- розробити методикау та провести експериментальні дослідження із визначення температур прогріву пінобетонних, газобетонних плиток в умовах теплового впливу стандартного (параметричного) температурного режиму пожежі та порівняти отримані результати з теоретичними дослідженнями;

- провести теоретичні розрахунки з визначення характеристик вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів із пінобетонних, газобетонних плиток за критичними температурами металевих будівельних конструкцій та кам'яних конструкцій із пінобетону та газобетону;

- встановити залежності вогнестійкості та мінімальної товщини покриттів із пінобетону і газобетону за критичних температур руйнування металевих будівельних конструкцій та протипожежних стін із пінобетону і газобетону;

- на підставі отриманих експериментальних та теоретичних досліджень розробити рекомендації щодо застосування інженерних методів проектування вогнезахисних систем на основі пінобетонного, газобетонного облицювання для металевих будівельних конструкцій.

Об'єкт дослідження – процеси нагрівання елементів металевих конструкцій із вогнезахисним облицюванням із піно- та газобетонів в умовах теплового впливу пожежі із стандартним та реальним температурними режимами.

Предмет дослідження – вплив конструктивних параметрів вогнезахисних покриттів із піно- та газобетонних плиток на їх вогнезахисну

здатність для елементів металевих будівельних конструкцій в умовах теплового впливу стандартного та реального температурного режиму пожежі.

Методи дослідження: аналіз статистики пожеж; наукове узагальнення та систематизація; аналіз нормативних документів щодо вогнестійкості будівельних конструкцій; теоретичні розрахунки визначення вогнезахисної здатності; експериментальне визначення вогнезахисної здатності пасивних вогнезахисних покриттів; математична статистика оброблення результатів експериментів; лабораторна та дослідницько-промислова апробація перевірки розроблених рекомендацій щодо застосування вогнезахисного покриття; застосування обчислювальних методів програмного пакету FRIEND.

Наукова новизна полягає у виконанні комплексного експериментально-теоретичного дослідження вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття із піно- та газобетонних плиток в умовах теплового впливу стандартного та реального температурного режиму пожежі. При цьому:

- вперше визначені залежності мінімальної товщини вогнезахисних покриттів із піно- та газобетонних плиток та проектної вогнестійкості (за критичних температур руйнування) металевих будівельних конструкцій;

- вперше визначені залежності коефіцієнту теплопровідності та питомої теплоємності пінобетону густиною 800кг/м^3 від температури;

- удосконалена довідникова база щодо властивостей вогнезахисних матеріалів для розрахунку металевих конструкцій із вогнезахистом на вогнестійкість;

- отримало подальший розвиток застосування інженерних методів проектування вогнезахисних систем на основі вогнезахисного облицювання.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечено результатами аналізу літературних джерел; відповідністю методів дослідження поставленим в роботі меті та задачам; застосуванням апробованих числових методів досліджень; необхідним обсягом експериментального матеріалу, а також застосуванням повірених засобів вимірювання; задовільною збіжністю розрахункових та

експериментальних результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у:

- створенні передумов для широкого застосування пінобетонних плиток в якості вогнезахисного покриття будівельних конструкцій;

- отриманні нового технологічного способу забезпечення пасивного вогнезахисту із застосуванням плиток із пінобетону та клейового композиційного матеріалу;

- визначенні альтернативного – клейового, способу кріплення існуючих вогнезахисних плит та панелей до будівельних конструкцій, що захищаються від можливого вогневого впливу за допомогою каркасного способу кріплення;

- напрацюванні експериментально-теоретичних даних у вигляді номограм та графіків в частині визначення залежності мінімальної товщини вогнезахисного покриття із пінобетону, газобетону та вогнестійкості металевих будівельних конструкцій за критичних температур руйнування; залежності мінімальної товщини протипожежних стін із пінобетону і газобетону від вогнестійкості;

- впровадженні результатів досліджень органами господарської діяльності шляхом їх використання при проектуванні об'єктів будівництва та проведенні реконструкції будівель і споруд різного призначення, що підтверджується відповідними актами впровадження;

- використанні результатів теоретичних та експериментальних досліджень у подальших наукових розробках установами системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій та органами господарської діяльності.

Особистий внесок здобувача. Автор провів аналіз літературних джерел та статистичних даних стосовно тематики роботи [1,2]. Провів аналіз методів вогнезахисту і сучасних вогнезахисних покриттів та обґрунтував ефективність використання пінобетону в якості вогнезахисного покриття [2,3]. Провів аналіз методів проектування кам'яних конструкцій [4]. Провів експериментальні випробування вогнезахисного покриття із пінобетону та

газобетону на вогнезахисну здатність [8]. Проаналізував закордонні та вітчизняні методики визначення вогнестійкості пасивних вогнезахисних покриттів [5,6,7,9]. Визначив вимоги до обладнання та дослідних зразків [10,11]. Провів експериментальні дослідження із визначення вогнестійкості пінобетонних плиток марки D 800 (товщиною 20 мм, 40 мм, 60 мм), які застосовувались в якості вогнезахисного покриття для металевієї пластини [12]. Провів експериментальні дослідження зразків з вогнезахисним покриттям газобетонних плиток марки D 400 та D 500 (товщиною 40 мм) з метою оцінки їх вогнезахисної здатності. За результатами проведених досліджень сформулював висновки [13,14,15].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації висвітлені та обговорені на: наукових семінарах ЛДУ БЖД ДСНС України (м. Львів 2010-2013); засіданнях відділу науково-дослідної та редакційно-видавничої роботи ЛДУ БЖД ДСНС України (м. Львів 2010-2013); XXII Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (м. Москва 2010); V Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні» (м. Миколаїв 2010); XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників (м. Київ 2011); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні» (м. Миколаїв 2011); VII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні» (м. Миколаїв 2012); VII Міжнародній науково-практичній конференції курсантів (студентів), слухачів магістратури і ад'юнктів (аспірантів) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (м. Мінськ 2013); Міжнародній науково-практичній конференції «Чрезвычайные ситуации, теория, практика, инновации» ЧС-2014» (м. Гомель 2014).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 15 наукових праць, із них: 6 статей у фахових збірниках, які входять у перелік

рекомендованих АК України; 2 статті у закордонних фахових виданнях; 7 у матеріалах науково-практичних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, переліку використаних джерел та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 177 сторінках машинописного тексту, ілюстрації включають 77 рисунків, 21 таблицю і 34 сторінок додатків. Список використаних джерел складається з 125 найменувань.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ВОГНЕЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1. Аналіз статистики та наслідків пожеж у будівлях та спорудах

Кількість пожеж в Україні, що сталися у будівлях та спорудах складає 55 % від загальної чисельності, а кількість загиблих на них – близько 95 %. В таблиці 1.1 наведені данні про пожежі та їх наслідки, що сталися у будівлях та спорудах за період з 2007 по 2014 рік на території України [1].

Таблиця 1.1

Дані про пожежі, що сталися у будівлях та спорудах
за період з 2007 по 2014 рік

Показник	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Середнє значення
Кількість пожеж	38704	34969	32993	34290	34501	37525	33697	36742	35428
Загинуло людей	3875	3748	3051	2719	2729	2628	2392	2138	2910
Травмовано людей	1545	1522	1363	1327	1301	1469	1398	1265	1399
Збитки прямі, тис. грн.	385530	391932	363703	541258	677006	696297	554031	1161340	596387

За визначений період в середньому знищено або пошкоджено 22137 будівель та споруд різного призначення, з яких 4137 будівель зруйновано повністю.

Таблиця 1.2

Кількість знищених та пошкоджених будівель та споруд
за період з 2007 по 2014 рік

Показник	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Середнє значення
Знищено та пошкоджено будівель	22314	20133	20770	21136	21596	23613	21825	25706	22137
із них знищено	4479	3647	3997	3696	3779	4025	3543	5933	4137

Згідно статистичних даних [86] за 2014 рік 53,3 % всіх пожеж в Україні, а саме 36742, трапилося у будівлях та спорудах; 6,2 % (4272) – на транспорті; 35,9 % (24754) припадає на місця відкритого зберігання матеріалів, відкриті території, зовнішні установки тощо; 4,6 % (3108) – на інші об'єкти, що не ввійшли до переліку. На рис. 1.1 представлено розподіл пожеж за об'єктами.

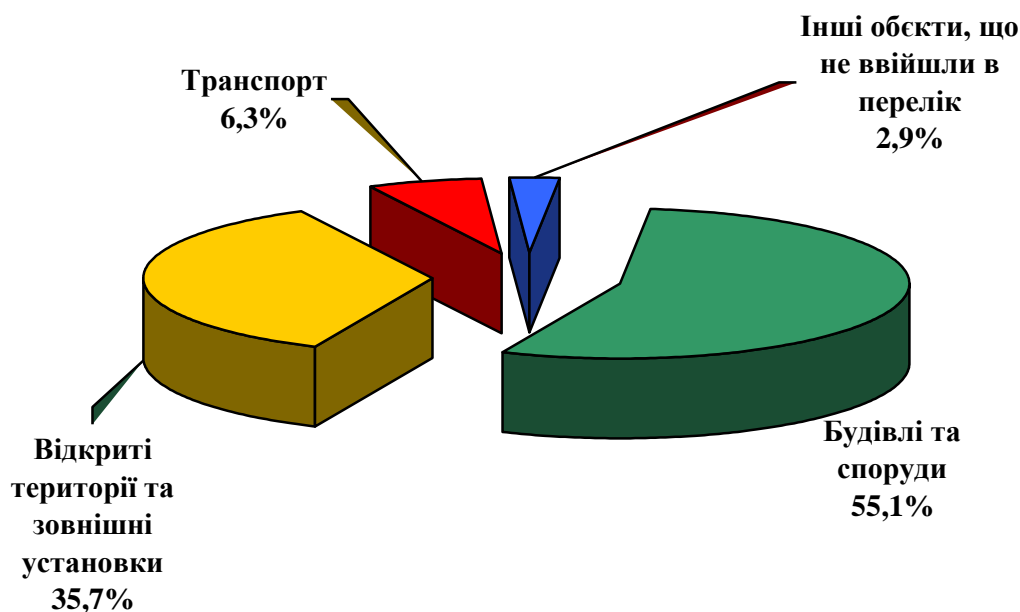


Рисунок 1.1 - Розподіл пожеж за об'єктами їх виникнення, що сталися у 2014 році

У 2014 році пожежами знищено або пошкоджено 25706 будівель та споруд різного призначення, з яких 5933 зруйновані повністю (1635 з них – житлові будинки).

З усієї кількості знищених чи пошкоджених пожежами у 2014 році будівель і споруд (рис. 1.2) – 12924 (50,3 %) – мали III ступінь вогнестійкості, 4294 (16,7 %) – V ступінь вогнестійкості, 1293 (5,0 %) – мали II ступінь вогнестійкості.

З повністю знищених 5933 будівель 2014 (33,3 %) мали III ступень вогнестійкості, 1654 (27,9 %) споруди – V ступень вогнестійкості, 533 (9,0 %) – IIIб ступень вогнестійкості та 254 (4,3 %) будівлі мали IIIа ступінь вогнестійкості.

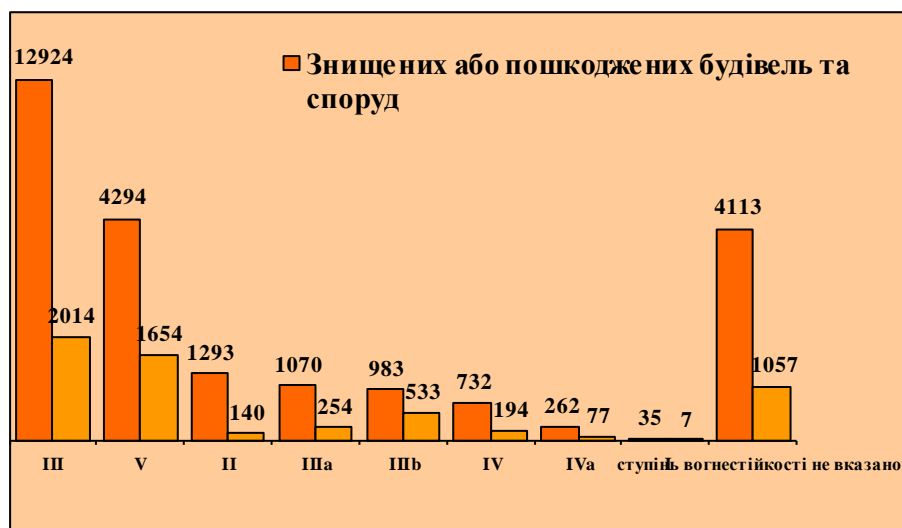


Рисунок 1.2 - Ранжування кількості знищених або пошкоджених будівель та споруд за ступенем їх вогнестійкості у 2014 році.

Тобто, найбільші втрати припадають на будівлі III ступеню вогнестійкості відповідно вимог ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [37] до будівельних конструкцій яких встановлені досить високі вимоги вогнестійкості.

Одним з факторів на якому ґрунтується пожежна безпека під час проектування та експлуатації будівель та споруд різного призначення є забезпечення вогнестійкості будівельних конструкцій та їх здатності поширювати вогонь. Нові технології будівництва передбачають широке застосування різноманітних будівельних конструкцій використання яких, як правило, передбачає обов'язкові нормативні вимоги в дотриманні меж вогнестійкості та поширення вогню. Зазначені вимоги можуть бути забезпечені комплексними системами вогнезахисту, що передбачається технологією виробництва (залізобетонні конструкції, сандвіч-панелі). На ринку України вогнезахисні покриття представлені широким спектром, як вітчизняного так і закордонного виробництва, аналіз характеристик яких потребує детального вивчення. У зв'язку з чим визначення ефективних засобів, технологій та методів розрахунку вогнезахисної здатності будівельних матеріалів та вогнезахисту будівельних конструкцій в цілому є досить актуальним питанням.

1.2. Загальна характеристика активних та пасивних способів вогнезахисту

Розрізняють два типи способів вогнезахисту будівельних конструкцій, які застосовують в залежності від їх фізико-хімічних властивостей та впливу на конструкції, що захищаються, а саме: активні і пасивні.

До активного вогнезахисту відносяться автоматичні системи протипожежного захисту (системи димотепловидалення, водяні завіси та системи пожежогасіння), вогнезахисне просочення (обробляння), що ускладнюють горіння конструкцій, унеможливають розповсюдження пожежі, а в деяких випадках, її виникнення, що досягається:

- зміною перебігу і структури горіння;
- ускладненням доступу кисню до поверхні;
- зниженням температури горіння, перешкоджанню виділення горючих газів та смол.

Пасивні засоби – вогнезахисні покриття (вогнезахисті фарби, облицювання), які забезпечують захист конструкцій від дії високих температур завдяки своїм теплоізолювальним властивостям, а саме:

- збільшують час досягнення будівельними конструкціями критичних температур та забезпечують їх сталі теплофізичні характеристики;
- обмежують вплив температури пожежі та продуктів горіння на структуру матеріалів будівельних конструкцій.

Розгляд характеристик вогнезахисних покриттів найбільш детально можливо розглянути на прикладі вогнезахисту металевих конструкцій.

Зазначений вид будівельних конструкцій має широке застосування у будівництві та спорудах різного призначення. Враховуючи конструктивні особливості, можливість надання різноманітних форм металеві конструкції мають широкий спектр призначення у будівництві. Область їх застосування досить велика: від несучих будівельних конструкцій колон та перекриття до суміщених елементів покриття та покрівель, від одноповерхових виробничих

будівель до багатоповерхових та висотних будівель (20...30 поверхів і вище).

Металеві конструкції, як будь-які інші будівельні конструкції мають свої переваги та недоліки. До основних переваг металевих конструкцій відносяться простота монтажу, можливість улаштування та підгонки безпосередньо на місці будівництва, легкість обробки, не поширення полум'я по поверхні та таке інше.

Однак, для детального розгляду характеристик пасивного вогнезахисту, в першу чергу, цікавлять їх недоліки. До яких відносяться схильність до корозії, а головне – висока теплопровідність та порівняно мала вогнестійкість.

Виникнення пожеж у будівлях супроводжується різким підвищенням температури у короткий проміжок часу, чому сприяє розвиток пожежі у закритому просторі. Практично, при прогріві до 500°C (для сталі) металеві конструкції (конструкції з алюмінієвих сплавів - 230 °C) втрачають несучу спроможність. Висока теплопровідність металоконструкцій сприяє досягненню критичних температурних значень за 15 хвилин розвитку пожежі [37].

В разі відсутності під час проектування особливих вимог до будівельних конструкцій стосовно ступеня вогнестійкості будинків зазначені недоліки не перешкоджають застосуванню металевих конструкцій. Підвищення ж корозійної стійкості досягають включенням спеціальних легуючих добавок, періодичним покриттям конструкцій захисним шаром у вигляді лаків або фарб, а також вибором раціональної конструктивної форми (без щілин і пазух, де можуть скупчуватися волога і пил) [16, 21].

Підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій споруд, в разі потреби, здійснюється шляхом підвищення межі вогнестійкості до рівня, який би відповідав нормативним вимогам ступеня вогнестійкості проектної будівлі шляхом застосування вогнезахисних покриттів. Розгляд способів вогнезахисту знов ж таки доцільно проводити на прикладі металевих конструкцій.

Так з метою забезпечення вогнестійкості сталевих конструкцій, як правило, використовується наступні способи [68]:

- вогнезахист конструкції;
- використання вогнестійких сталей;
- застосування зовнішніх несучих конструкцій.

Вибираючи спосіб підвищення вогнестійкості необхідно враховувати:

- здатність досягти необхідної межі вогнестійкості;
- здатність технічно реалізувати вибраний спосіб підвищення вогнестійкості;
- умови експлуатації сталевих конструкцій.

Для вогнезахисту будівельних конструкцій застосовують такі способи та матеріали та вироби: вогнезахисні фарби, мастики, штукатурки, лаки, обкладка цеглою, оштукатурювання поверхні конструкцій, використання листових і плитних облицювань, заповнення внутрішніх порожнин конструкцій, підбір необхідних перерізів елементів, конструктивні рішення вузлів з'єднань, використання теплозахисних екранів тощо.

В роботі [92] детально наведено усі можливі способи пасивного вогнезахисту сталевих конструкцій (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 - Способи підвищення вогнестійкості сталевих конструкцій

Але застосування того чи іншого способу вогнезахисту також залежить від певних факторів: типу конструкції, необхідної межі вогнестійкості, умов експлуатації тощо. В табл. 1.3 наведено основні способи вогнезахисту металевих конструкцій залежно від типу конструкції, що підлягає захисту [32,92].

Таблиця 1.3

Способи вогнезахисту залежно від типу конструкції

Тип конструкції	Спосіб вогнезахисту					
	Спучуванні покриття	Покриття	Оббетонування	Облицювання	Тинькування	Заповнення порожнистих перерізів
Колони	х	х	х	х	х	х
Балки	х	х	х	х	х	
Ферми	х	х			х	
Структури	х	х				
Резервуари	х	х	х	х	х	
Мембрани	х	х				
Вантові конструкції	х					

Спучуванні покриття забезпечують межу вогнестійкості в середньому до 75 хв. Шар покриття збільшується (спучується) під впливом високої температури та полум'я (200-300°C), утворюючи захисний шар, який може перевищувати початковий у 50 разів [46].

Спучуванні покриття широко застосовуються для вогнезахисту металевих будівельних конструкцій. Їх переваги полягають у:

- спрощених технологіях нанесення (щітка, напилювання, шпатель);
- можливості чіткого контролю товщини захисного шару;

- багатофункційності (вогнезахист, декоративне покриття, корозійний захист);
- відсутності кваліфікаційних вимог до виконавців робіт.

Разом з тим, потребують подальшого удосконалення розробки покриттів із забезпечення відповідних коефіцієнтів спучуваності, стійкості захисного шару, адгезії до матеріалу, збереження властивостей при довготривалій експлуатації та інші. Мають місце технологічні обмеження у процесі нанесення покриттів у частині температурного режиму та вологості, необхідності попередньої підготовки конструкцій. Зазначене обмежує їх використання, як правило, сухими внутрішніми приміщеннями. Спучуванні покриття мають високу собівартість.

Тинькування будівельних конструкцій один із найстаріших методів пасивного вогнезахисту. Даний спосіб може забезпечити вогнезахист залежно від товщини шару тиньку. Наприклад при товщині шару тиньку 25 мм межа вогнестійкості металеві колони збільшується до 45 хв, а при товщині шару тиньку 50 мм до 120 хв.

Для нанесення вогнезахисного шару може застосовуватись цементно-піщаний тиньк або тиньк на основі гіпсових в'язучих, на рідкому склі. Об'ємна вага таких складів буде становити 450-600 кг/м³, 550-780 кг/м³ та 500-700 кг/м³ відповідно.

Тинькування також має певні недоліки:

- підвищення вагового навантаження на конструкції;
- можливість поступового руйнування та розшарування захисного шару;
- покриття на гіпсовому в'язучому можуть спричинити корозію металу;
- трудомісткість.

Оббетонування - даний спосіб включає в себе нанесення вогнезахисного бетонного шару, як правило, вогнетривкого бетону або інших бетонів.

Це надійний спосіб захисту з широким спектром позитивних

характеристик. Однак, є і недоліки, це насамперед велика об'ємна вага 1800 - 2300 кг/м³ (легкі бетони - до 1300 кг/м³). При досягненні відповідних температур важким бетонам властивий характер руйнувань типу «вибух», що не властиво легким бетонам, де руйнування відбувається без вибухоподібних ознак.

Облицювання конструкцій з метою вогнезахисту застосовується на практиці вже тривалий час та представлено досить широким спектром матеріалів та способів. Найбільш розповсюджено облицювання будівельними матеріалами або плитними системами, зокрема для вогнезахисту використовується пінобетон та газобетон, що є одним із найефективніших сучасних будівельних матеріалів з дуже широкою областю використання. Ефективність даних матеріалів обумовлена: простотою устаткування для виготовлення суміші, мобільністю установок для виготовлення, можливістю варіювання властивостями піно- та газобетону від теплоізоляційного з маркою по середній густині D150 до конструкційного з маркою по середній густині D1200, низькою матеріаломісткістю, високою економічністю тощо. Пінобетон є відносно однорідним будівельним матеріалом, його властивості залежать від його мікроструктури (системи порот і стінок) та складу, від виду в'язучого, методу поризації [7].

Плитні системи вогнезахисту металевих конструкцій забезпечують межу вогнестійкості від 30 до 240 хв [92]. Товщина вогнезахисного покриття залежить від матеріалу і може становити до 80 мм. Кріплення вогнезахисного матеріалу до конструкції здійснюється, як правило, за допомогою каркасного способу із застосуванням болтів, хомутів тощо. Для вогнезахисту використовують плитні матеріали виготовлені на основі мінеральної фібри або природних матеріалів, таких, як вермикуліт, слюда та інших.

Облицювання будівельними матеріалами може бути виконане звичайною керамічною або силікатною цеглою. Межа вогнестійкості сталевих колон облицьованих цегляною кладкою в 1/4 цегли, становить 120 хв, а в 1/2 цегли без захисного тиньку – 315 хв [32,92].

Для облицювання сталевих конструкцій також застосовуються гіпсові та керамзитобетонні плити. Застосування вогнезахисних плит товщиною від 30 до 60 мм дає змогу забезпечити межу вогнестійкості сталевих конструкцій від 60 до 240 хв. Об'ємна вага гіпсових плит становить 1250-1400 кг/м³. Основним недоліком таких плит є виникнення явища усадки, під час довготривалої дії високих температур, яке може призвести до руйнування.

Заповнення порожнистих перерізів відбувається за рахунок заповнення пустот будівельної конструкції речовинами, які абсорбують тепло захищаючи метал від досягнення критичних температур. Заповнення бетоном порожнин конструкції збільшує несучу здатність та межу вогнестійкості.

Провівши аналіз способів вогнезахисту можна зробити висновок, що застосування облицювання з піно-газобетонних плиток в якості вогнезахисного покриття будівельних конструкцій, що розглядається в даній роботі, можливо віднести виключно до пасивного вогнезахисту. На сьогоднішній день в Україні для вогнезахисту будівельних конструкцій найактивніше застосовуються вогнезахисні покриття у вигляді спучуваних матеріалів та облицювання.

1.3. Переваги та недоліки застосування вогнезахисних покриттів

Температуростійкі і вогнезахисні штукатурки на сьогодні є найбільшою групою захисних матеріалів на основі мінеральних в'язучих. Їх виготовляють у виді сухих сумішей.

До вогнезахисних штукатурок і захисних матеріалів, сертифікованих в Україні, відносяться такі склади: «Ендотерм 210104» (Україна), «NEWSPRAY»(Франція), «Неоспрэй» (Росія), «Dossolan hoeco FII/1», «Dossolan» (Франція) та інші. Однак, ці матеріали мають суттєві недоліки, основними з яких є необхідність попереднього нанесення на поверхню конструкції ґрунту, розтріскування в результаті деформації конструкції, при додаткових навантаженнях, велика витрата покриття на одиницю площі,

низька довговічність, висока ціна.

Вимоги, що ставляться до захисних покриттів, як і умови роботи, можуть бути найрізноманітнішими. Тому вибір захисного покриття для кожного випадку повинен проводитись окремо, залежно від характеру агресивного середовища і природи матеріалу, що покривається.

Температуростійкі покриття повинні бути непроникними для газоподібних і рідких агресивних середовищ [2].

Серед високотемпературних і вогнезахисних покриттів на основі мінеральних в'язучих необхідно виділити групу покриттів, які спучуються.

Більшість з них розроблена на основі рідкого скла. До них відносяться склади «ОЗС-МВ», «Фойрекс-400», «ОВП-1» та інші. Недоліком таких композицій є суттєве збільшення навантаження на конструкції, які захищаються.

Більшість захисних покриттів, які спучуються, мають досить суттєві недоліки:

- низька ефективність захисної дії (до 90 хв);
- відсутність стійкості до атмосферного впливу та води, що потребує додаткової поверхневої обробки;
- вміст у своєму складі зв'язок із низькою температурою загорання;
- потреба у попередньому обробленні і ґрунтуванні поверхні, яка захищається;
- покриття на органічних зв'язках при дії високих температур виділяють дим і токсичні продукти;
- вузький діапазон температур експлуатації, що обмежує їх використання.

Тому, при розробці нових складів високотемпературних захисних покриттів необхідно виключати ці недоліки і покращувати їх властивості шляхом застосування нових видів вихідних матеріалів і співвідношення компонентів. Перспективним у розробці певних складів є підвищення стійкості покриттів до дії атмосферних і агресивних середовищ, підвищення

робочого діапазону температур, виключення із складу токсичних речовин і покращення їх фізико-механічних властивостей [2, 4].

Перевагами бетонування, штукатурення і обкладання цеглою є відносно низька вартість такого захисту завдяки дешевизні матеріалів, але при цьому значно збільшується навантаження на конструкцію, складність конструктивного виконання, висока трудомісткість робіт та складність ремонту.

Вогнезахист за допомогою облицювань та екранів із листових і плиткових матеріалів з низькими показниками теплопровідності можуть мати крім захисних властивостей і декоративні. Це, зокрема: вермикулітові, мінераловатні і оксидмагнієві вогнетривкі листи, плити а також обмазки на їх основі. Недоліком цих матеріалів є складність монтажу. Існуючі вогнетривкі плитні матеріали кріпляться до конструкції, що захищається каркасним способом. Це призводить до значного підвищення трудовитрат при проведенні підготовчого етапу перед монтажем вогнезахисного покриття та включає в себе наявність теплопровідних містків у вигляді болтових з'єднань, що у свою чергу в певній мірі може знизити надійність та рівень вогнезахисту[9].

За минуле десятиліття практика будівництва переконливо довела ефективність ніздрюватих бетонів, як високотехнологічного матеріалу для огорожувальних конструкцій. З цього матеріалу виготовляють різноманітні стінові камені, теплоізоляційні елементи трубопроводів, влаштовують теплоізоляційні покриття, використовують в якості легких заповнювачів для зашпарування різноманітні порожнини та інше. Вироби з ніздрюватих бетонів мають покращене співвідношення теплоізолюючих показників у порівнянні з іншими будівельними матеріалами. Коли мова йде про виконання будівельних робіт з ніздрюватих бетонів розглядається, як правило, газобетон або пінобетон.

В табл. 1.4, як приклад, представлено порівняльні характеристики пінобетону і традиційних стінових матеріалів (цегли).

Таблиця 1.4

Порівняльні характеристики пінобетону і традиційних стінових матеріалів

Матеріал	Густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності Вт/(м·К)	Товщина стіни, м	Маса 1м ² стіни, кг
Керамічна цегла	1800	0,8	0,64	1190
Силікатна цегла	1850	0,85	0,64	1250
Пінобетон	800	0,18	0,3	300

Що стосується цегли, то основний її недолік — велика вага. Вона важить у 4–6 разів більше рівного за об'ємом ніздрюватого бетону. На зведення 1м³ стіни потрібно 1800 кг цегли і тільки 400 кг газобетону. Зате і міцність її набагато вище. Як уже зазначалося, з газобетону не зводять будинків вище 4-5 поверхів. У той час як з цегли без особливих проблем зводять будівлі в 18-20 поверхів і більше. Що ж до основних характеристик газобетону, то вони показані в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Порівняння характеристики газобетону і керамічної цегли

Параметри (одиниці виміру)	Керамічна цегла	Газобетон
Межа міцності на стиск (кг/см ²)	100-220	25-50
Водопоглинання (% по масі)	8-12	20
Морозостійкість (цикл)	50-100	50
Маса стіни 1м ³ (кг)	1200-2000	700-900
Теплопровідність (Вт/м·К)	0,32-0,5	0,09-0,14
Вогнестійкість (клас)	1	1

Ніздрюваті бетони є практично вічним матеріалом, не схильним до дії

часу, такими, що не гниють, а за міцністю не поступаються каменю. При експлуатації подібні бетони не виділяють токсичних речовин і за своєю екологічністю поступаються тільки дереву. Завдяки високому рівню текучості вироби можуть мати складні геометричні форми. Вироби з ніздрюватого бетону надійно захищають від розповсюдження пожежі, легкі в обробці, мають високу здібність поглинати звук.

При цьому особливий інтерес представляє можливість використання ніздрюватих бетонів, враховуючи його теплоізоляційні властивості, в якості вогнезахисного матеріалу, що є особливо важливим за умов дії високих температур [25]. В табл. 1.6 представлено основні характеристики одного з видів ніздрюватих бетонів – пінобетону.

Таблиця 1.6

Основні характеристики пінобетону [106]

Об'ємна вага, (густина) кг/м ³	400	500	600	700	800	1200
Призначення	теплоізоляція		теплоізоляційно- конструкційний			конструкційний
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,09	0,10	0,12	0,15	0,18	0,33
Середня міцність, кг/см ²	7,5	10	15	25	35	150

Використання ніздрюватих бетонів марок D400 – D800 у якості теплоізоляційного матеріалу є цілком можливе, оскільки цей матеріал має багато переваг за теплофізичними властивостями порівняно з іншими вогнезахисними матеріалами та покриттями.

Таким чином, вироби з ніздрюватих бетонів таких, як газобетон та пінобетон, що найширше використовуються у будівельній галузі України, в повній мірі можуть використовуватись для застосування в якості

вогнезахисного покриття. При цьому, необхідно провести експериментальні дослідження щодо визначення можливої товщини вогнезахисного шару з газобетонних або пінобетонних матеріалів, залежно від необхідного часу вогнезахисту конструкції.

Однак, властивості пінобетону та газобетону дещо різні.

Візуально вироби з цих матеріалів дуже схожі. Тому не всі розуміють різницю між пінобетоном і газобетоном. Основними вихідними компонентами для їх отримання виступають фактично одні й ті ж матеріали (цемент, вода, вапно), відмінність полягає в спеціальних добавках та технологіях виготовлення (різні способи насичення суміші порами), що призводить до різниці у структурі матеріалів

1.4 Аналіз існуючих методів та методик визначення вогнестійкості будівельних конструкцій та вогнезахисної здатності

Традиційно методи оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій ґрунтуються на натурних пожежних випробуваннях, якими підтверджуються і розрахункові данні щодо вогнезахисної здатності. Однак, проведення натурних випробувань великогабаритних конструкцій або конструкцій під великим навантаженням практично не можливе у наслідок обмеженості розмірів випробувальних стендів. Подібна ситуація сприяє розвитку теплофізичних розрахунків вогнестійкості будівельних конструкцій, що представляє собою досить складне математичне завдання.

На сьогодні, Україною запроваджено систему будівельних стандартів (Єврокодів), що складається з восьми національних стандартів ідентичних європейським, які регламентують пожежну безпеку будівельних конструкцій та складаються з декількох частин, а саме:

EN 1990 Єврокод: Основи проектування конструкцій

EN 1991 Єврокод 1: Дії на конструкції

prEN 1992 Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій

prEN 1993 Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій

prEN 1994 Єврокод 4: Проектування сталезалізобетонних конструкцій

prEN 1995 Єврокод 5: Проектування дерев'яних конструкцій

prEN 1996 Єврокод 6: Проектування кам'яних конструкцій

EN 1999 Єврокод 9: Проектування алюмінієвих конструкцій

Основою національних стандартів є дотримання стратегій пожежної безпеки, обмеження ризику для людей, майна та навколишнього середовища від впливу вогню в разі пожежі, що не можливо без визначення певних методів оцінки дійсної роботи будівельних конструкцій за умов дії факторів пожеж наступними способами [122]: випробуванням конструкцій, табличними даними, розрахунком конструкцій, розрахунком конструктивної системи, розрахунком частини конструктивної системи.

На даний час, на основі Єврокодів, можливо застосувати спрощені розрахункові моделі на вогнестійкість або готові рішення у формі таблиць, які базуються на результатах випробувань та загальних розрахункових моделях. Як альтернатива математичному розрахунку визначення вогнестійкості можна базуватись на висновках натурних вогневих випробувань або поєднанні результатів теоретичних та практичних результатів згідно з 5.2 EN 1990 [121].

Аналізуючи зазначені нормативно-правові акти можна констатувати, що національні стандарти передбачають не тільки вогневі випробування на вогнестійкість для всіх основних конструктивних елементів але й розрахункові методи.

Так, ДСТУ-Н EN 1991-1-2:2010 (Єврокод 1. Дії на конструкції – Частина 1-2: Загальні дії – Дії на конструкції під час пожежі) з технічною поправкою EN 1991-1-2:2002/AC:2009 відповідає EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire [1] та визначає загальні критерії дії на будівельні конструкції під час пожежі, представляє повну аналітичну методика розрахунку на вогнестійкість, що представлена на рис. 1.4.

Відповідно до системи прийнятих будівельних стандартів (Єврокодів)

можливо застосовувати методики для відтворення умов температурного впливу на будівельну конструкцію при пожежі, та довести, що поведінка конструктивної системи або її частини за таких умов максимально наближена до її поведінки при реальній пожежі у будівлі.

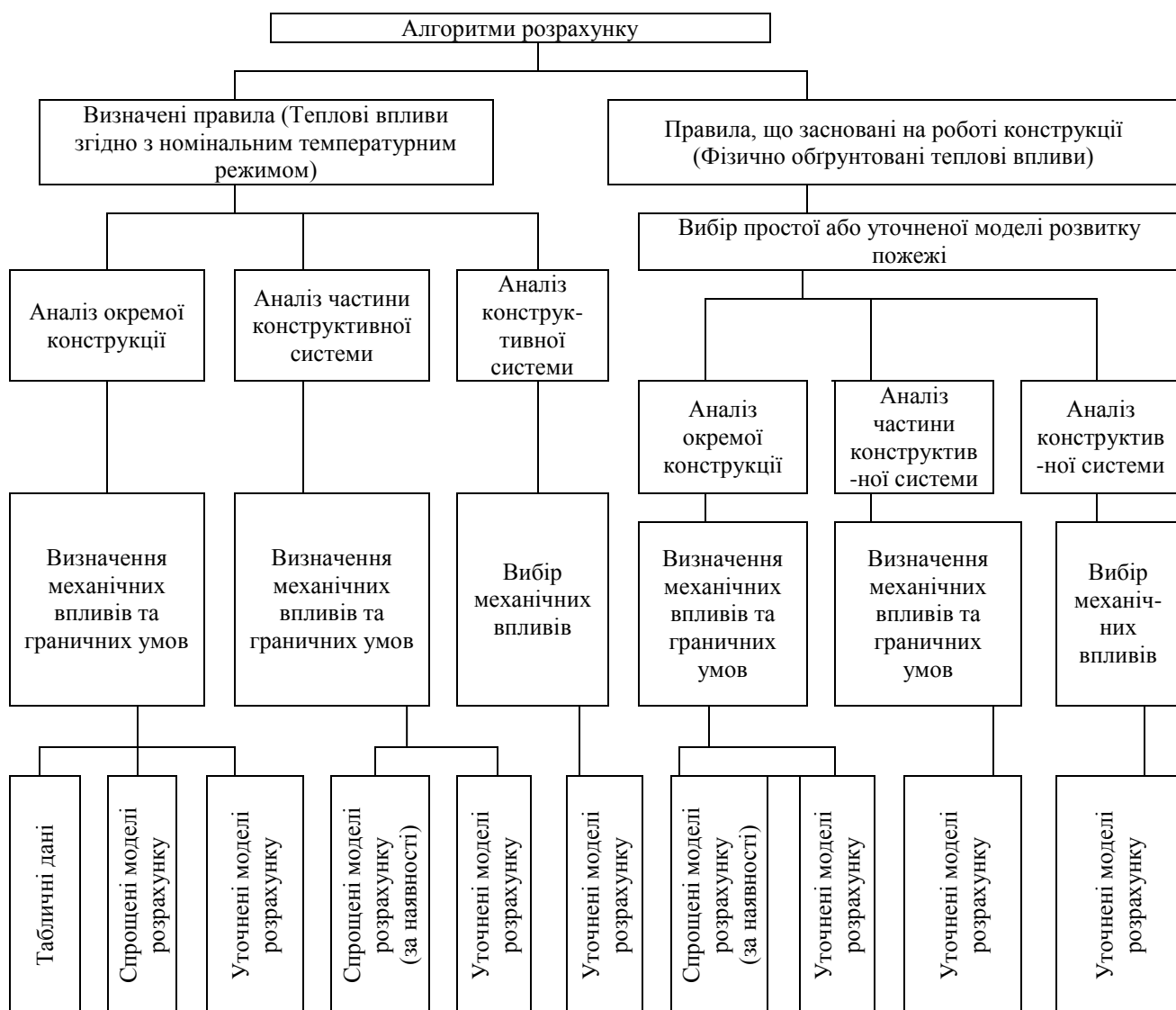


Рисунок 1.4 - Алгоритми розрахунку вогнестійкості чи вогнезахисної здатності

Для кожного із конструктивних елементів діє свій стандарт, наприклад ДСТУ – Н Б EN 1993-1-2:2010 (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій - Частина 1-2. Основні положення. Розрахунок конструкцій на

вогнестійкість) відповідає EN 1993-1-2:2005, IDT [32] та передбачає три основні методи розрахунку вогнестійкості несучих металевих конструкцій, а саме:

- спрощені розрахункові моделі;
- уточнені розрахункові моделі;
- випробування.

ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:201X (Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій - Частина 1-2. Загальні положення. - Розрахунок конструкцій на вогнестійкість) (EN 1996-1-2:2005, IDT) [32] розповсюджується на кам'яні конструкції (в тому числі на ніздрюваті бетони) та передбачає розрахунки пасивних методів вогнезахисту, які з міркувань загальної пожежної безпеки, потрібні для здійснення певних функцій будівельних конструкцій під час пожежі й відповідають умовам запобігання передчасного руйнування конструкції у цілому - граничному стану з вогнестійкості. При цьому, пасивний вогнезахист має відповідати огорожувальним критеріям за ознакою втрати цілісності - E та за ознакою втрати теплоізолювальної здатності – I.

Розрахунковим методом може бути обчислена вогнестійкість окремої частини (моделі) конструктивної системи з відповідною опорою та граничними умовами. Тобто, найпростіша конструктивна система з пасивним вогнезахистом складається з двох частин: поверхні, що захищається (опори) та шару пасивного вогнезахисту, в якому шар пасивного вогнезахисту розглядається, як окремий ненесучий елемент або стіна, та може бути розрахований визначеним [32] методом при певних граничних умовах. При цьому, по суті для означеного методу нема різниці, що є опорою або другою складовою конструктивної системи будівельної конструкції, якщо розрахунок проводиться виключно для пасивного вогнезахисту. Фактично, іншою частиною може виступати, як кам'яна конструкція так і будь-яка інша, у тому числі і металева.

Визначення вогнестійкості конструкції за допомогою розрахунку або випробувань може бути отримане за різними сценаріями пожежі: умовної

(номінальної) або реальної (параметричної) пожежі, що оговорюється національними стандартами [32] та відповідає ДСТУ Б В.1.1-4-98 (Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги) [36].

Методики визначення вогнестійкості стіни з кам'яної кладки передбачають проведення розрахунків за спрощеною розрахунковою моделлю при номінальному вогневому впливі за стандартним температурним режимом та уточненою розрахунковою моделлю при параметричному вогневому впливі за не стандартним температурним режимом.

Спрощена розрахункова модель вогнестійкості стін з кам'яної кладки

У спрощеному розрахунковому методі визначаються граничні умови залишкового поперечного перерізу кам'яної кладки для певних періодів температурного впливу за нормальної температури, що побудовані з наступних сполучень каменів: каменів з глини, каменів з силікату кальцію, бетону з важким заповнювачем, бетону з легким заповнювачем та каменю з ніздрюватого бетону автоклавної обробки. Додатком С [34] встановлені граничні фізичні параметри певних кам'яних сполучень, так камені з ніздрюватого бетону мають відповідати, з міцністю каменю f_b від 2 Н/мм² до 6 Н/мм², густиною у сухому стані від 400 кг/м³ до 700 кг/м³, універсальний, тонкошаровий будівельний розчин. Принцип методу може бути використаний і для інших кам'яних сполучень, які мають бути попередньо калібровані.

Розрахункове значення граничного стану вертикального навантаження (N_{Ed}) прикладеного до стіни під час температурного впливу, має бути менше або дорівнювати розрахунковому значенню вертикального опору стіни ($N_{Rdfi}(\theta_i)$):

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,fi}(\theta), \quad (1.1)$$

Розрахункове значення вертикального опору стіни розраховується за формулою:

$$N_{Rd,fi(\theta)} = \Phi(f_{d\theta_1}A_{\theta_1} + f_{d\theta_2}A_{\theta_2}) \quad (1.2),$$

де: A - загальна площа кам'яної кладки;

A_{θ_1} - площа кам'яної кладки до температури θ_1 ;

A_{θ_2} - площа кам'яної кладки між значеннями температур θ_1 та θ_2 ;

θ_1 - температура, до якої можна застосувати міцність кам'яної кладки в холодному стані;

θ_2 - температура, вище якої залишковою міцністю кам'яної кладки можна знехтувати;

N_{Ed} - розрахункове значення вертикального навантаження;

$N_{Rd,fi\theta_2}$ - розрахункове значення опору під час пожежі;

$f_{d\theta_1}$ - розрахункова міцність кам'яної кладки на стиск при температурі, що є меншою або дорівнює θ_1 ;

$f_{d\theta_2}$ - розрахункова міцність на стиск кам'яної кладки за температури між значеннями θ_1 та θ_2 , взятих як $cf_{d\theta}$;

c - стала величина, що отримана при випробуваннях “напруження-деформації” за підвищених температур (з нижніми індексами);

Φ - коефіцієнт зниження міцності в середині стіни, визначений за EN 1996-1-1, з урахуванням додаткового ексцентриситету $e_{\Delta\theta}$;

$e_{\Delta\theta}$ - ексцентриситету внаслідок зміни температур по ширині кам'яної кладки.

Розподіл температури по ширині кам'яної кладки та температура, за якої вона стає неефективною, як функція тривалості вогневого впливу, визначаються базою даних, що для ніздрюватого бетону автоклавної обробки регламентується prEN 12602 [112] або за відповідними графіками представленими на рис. 1.5 та 1.6.

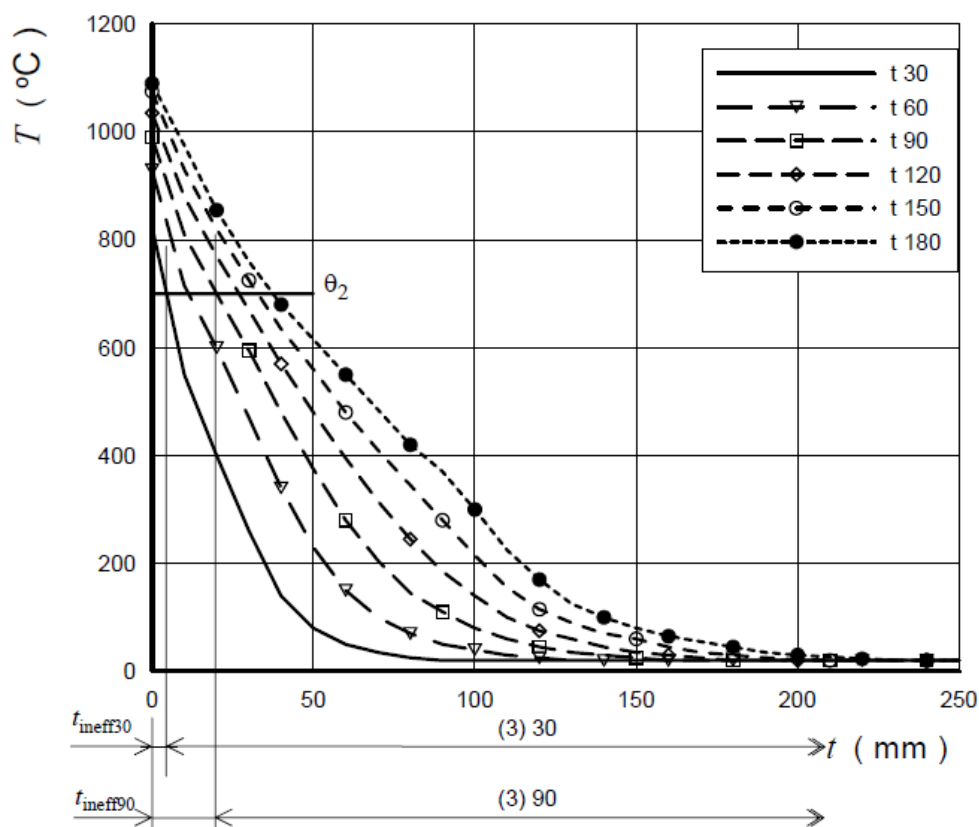


Рисунок 1.5 - Кам'яна кладка з ніздрюватого бетону автоклавної обробки,
густина бруто 400 кг/м^3

$t_{ineff30}$ – товщина стіни, що стає неефективною через 30 хвилин;

$t_{ineff90}$ – товщина стіни, що стає неефективною через 90 хвилин;

θ_2 – температура, вище якої кам'яна кладка є конструктивно неефективною;

T - температура ($^{\circ}\text{C}$): $t 30$ - 30 хвилин та $t 120$ - 120 хвилин;

t - товщина кам'яної кладки (мм): $t 60$ - 60 хвилин та $t 150$ - 150 хвилин;

Z - залишковий переріз із числом у хвилинах: $t 90$ - 90 хвилин, $t 180$ - 180 хвилин та $t 240$ - 240 хвилин.

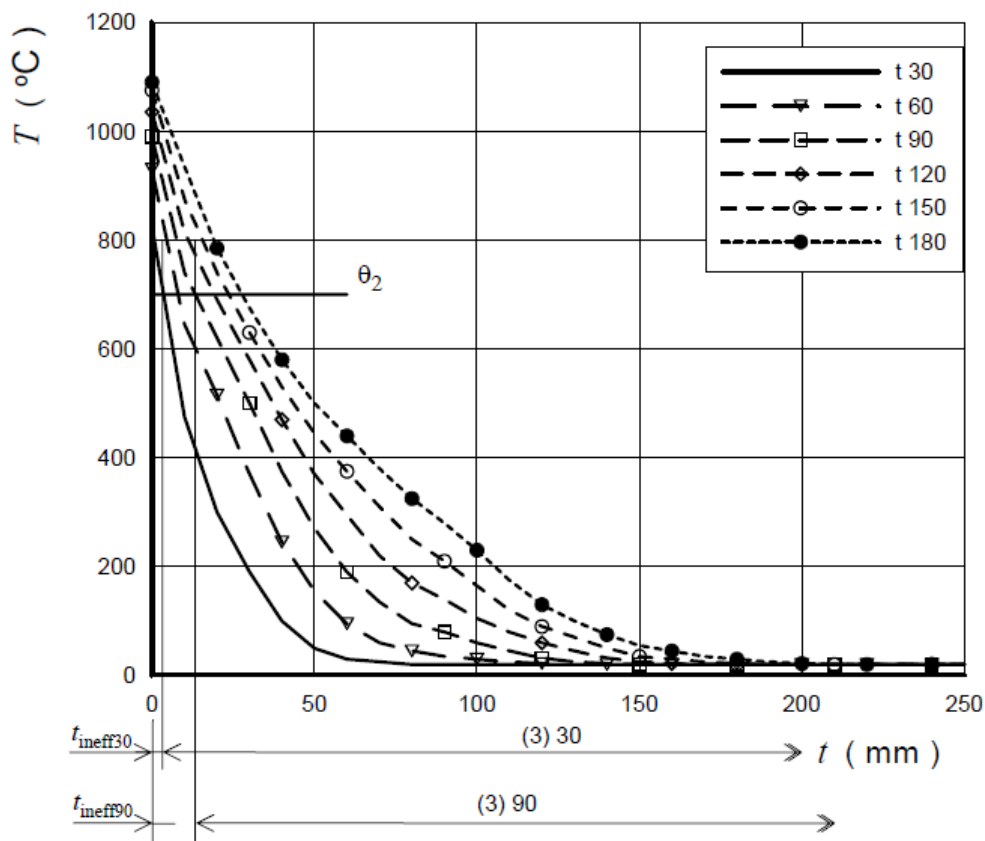


Рисунок 1.6 - Кам'яна кладка з ніздрюватого бетону автоклавної обробки, густина бруто 500 кг/м^3

Ексцентриситет $e_{\Delta\theta}$ від вогневого навантаження у спрощеному методі розрахунку може бути отриманий за результатами рівняння:

$$e_{\Delta\theta} = \frac{1}{8} h_{ef}^2 \frac{\alpha_t (\theta_2 - 20)}{t_{Fr}} \leq h_{ef} / 20 \quad (1.3),$$

$e_{\Delta\theta} = 0$, якщо вогневий вплив з усіх сторін;

де h_{ef} – робоча висота стіни;

α_t – коефіцієнт температурного розширення кам'яної кладки відповідно до 3.7.4 EN 1996-1-1

20°C – температура необігріваної поверхні;

t_{Fr} – товщина поперечного перерізу, температура якого не перевищує значення θ_2 .

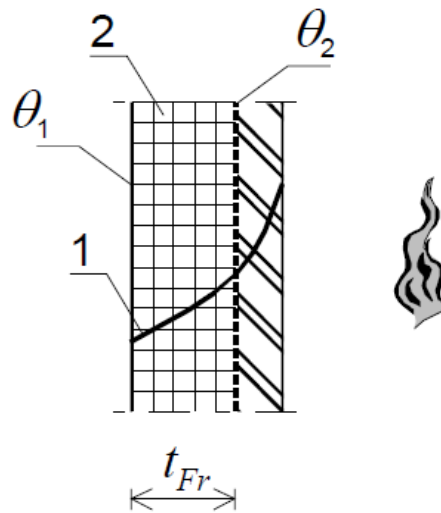


Рисунок 1.7 - Вертикальний переріз кам'яної кладки

1 розподіл температури з рисунку 1.5, 1.6;

2 залишкова площа поперечного перерізу з міцністю ($A_{\theta_1} + A_{\theta_2}$)

Уточнена розрахункова модель вогнестійкості стін з кам'яної кладки

Уточнені методи розрахунку ґрунтуються на максимально наближеної до припустимої відомої поведінки матеріалів будівельної конструкції за умов будь-якого не стандартного температурного впливу, що визначений в EN 1991-1-2 [33].

Для достовірного наближення очікуваної поведінки частини конструктивної системи під час пожежі уточнені методи розрахунку, відповідно до додатку D [34], включають наступні розрахункові моделі:

- розвитку та розподілу температури в елементах конструктивної системи (модель температурної реакції);
- механічної роботи конструктивної системи або будь-якої її частини (модель механічної реакції).

Уточнені методи розрахунку температурної реакції базуються на теорії температурного розподілу, а саме на: визначених температурних впливах та теплових властивостях матеріалів, що залежать від температури. При цьому, вплив вологості на кам'яну кладку зазвичай не враховується.

В основу уточненої розрахункової моделі механічної реакції закладена теорія будівельної механіки, що враховує зміни механічних властивостей зі зміною температури, а саме: залежності температурних деформацій та напружень від зміни температурного режиму. Слід зазначити, при розрахунках кладок з ніздрюватого бетону автоклавної обробки посилання на prEN12602 [112] є обов'язковим, значення властивостей якого представлено на рис. 1.8.

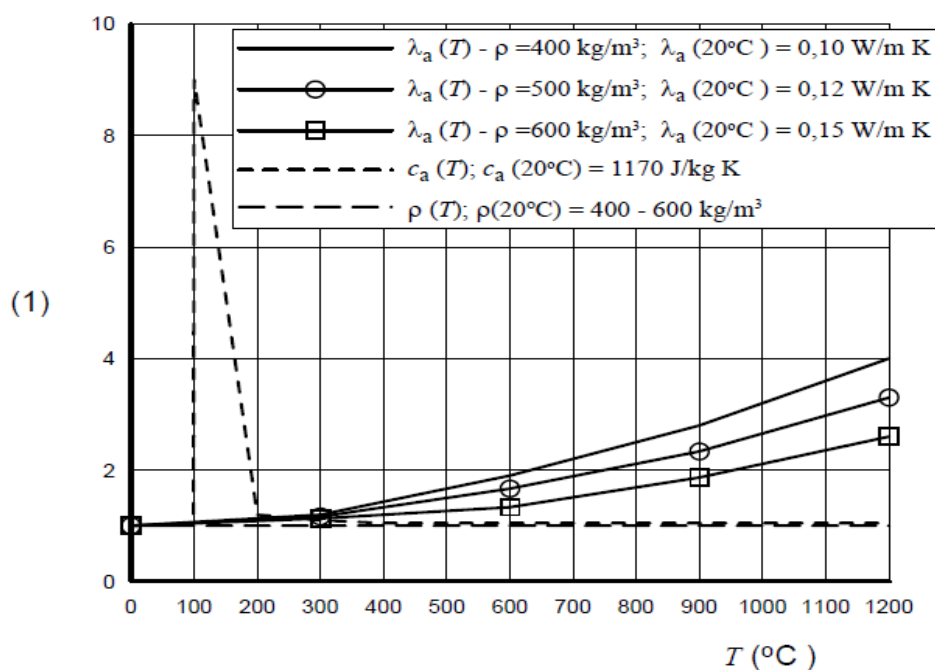


Рисунок 1.8 - Розрахункові значення властивостей матеріалів каменів з ніздрюватого бетону автоклавної обробки, залежних від температури, густина брутто від 400 кг/м^3 до 600 кг/м^3

T (°C) – температура, °C; λ_a - питома теплопровідність; c_a - питома теплоємність; ρ - густина, кг/м^3 ; I - відношення значення за температури T до значення за температури 20°C .

Загалом, розрахунковий навантажувальний ефект має бути менше або дорівнювати відповідній проектній вогнестійкості:

$$E_{fi,d}(t) \leq R_{fi,t,d}, \quad (1.4)$$

де $E_{fi,d}$ – розрахунковий навантажувальний ефект під час пожежі, визначений з

урахуванням ефектів теплових розширень та деформацій;

$R_{fi,t,d}$ - відповідна проектна стійкість у випадку пожежі;

t - проектною тривалістю впливу пожежі.

Важливо при аналізі окремих частин конструкцій забезпечити цілісність опори зазначеної конструкції.

Випробування вогнестійкості стін з кам'яної кладки

Технологія виробництва ніздрюватих бетонів загально відома, як в країнах Європи так і в Україні, але складові цих кам'яних сполук можуть дещо різнитись. Так, наукові статті вчених світу [23,26,42,52,108,110], свідчать про отримання різних теплофізичних властивостей ніздрюватих бетонів в залежності від застосування того чи іншого складника - навіть піску з різних родовищ, або зміни пропорцій складових, або додавання тих чи інших інгредієнтів. Загальна практика застосування Єврокодів [32] в при розрахунках будівельних конструкцій забезпечує можливість врахування національно визначених параметрів, що використовуються для виробництва будівельних матеріалів та зведення будівель у відповідній країні. Тобто, є певна різниця у роботі кам'яних конструкцій з ніздрюватих бетонів при застосуванні на територіях з сухим кліматом та з вологим. Так само, дещо різняться їх теплофізичні властивості навіть при дотриманні технічних умов при виробництві. Тому, проведення вогневих випробувань будівельних матеріалів національного виготовлення та порівняння їх результатів з теоретичними та розрахунковими даними дасть практичну відповідь на питання щодо можливості використання європейського підходу до визначення параметрів вогнестійкості виробів з газобетону та пінобетону на території України та їх відповідності вимогам міжнародних стандартів.

Загальні вимоги щодо методів випробувань будівельних конструкцій на вогнестійкість визначається ДСТУ Б.В.1.1-4.98 «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги» [36].

Сутність яких полягає у визначенні періоду з часу початку дії на випробувальний зразок встановленого температурного впливу до моменту досягнення випробувальним зразком одного з граничних станів вогнестійкості, що відповідає регламентуючим документам. Відповідно [34] граничні стани для вогнезахисного покриття з ніздрюватого бетону при стандартному температурному режимі визначається за критеріями EI.

Граничний стан за ознакою втрати цілісності (E) забезпечено, якщо не допущено проникнення полум'я та гарячих газів крізь конструкцію [34]. Чи стан за якого виконується одна з наступних умов [36]:

- загоряння або тління зі свіченням ватного тампона, що піднесений до необігрівної поверхні в місця тріщин на відстань 20 – 30 мм проміжком часу не менше 30 секунд;
- виникнення тріщини, через яку можна вільно (без додаткових зусиль) ввести щуп діаметром 6 мм і перемістити його вздовж цієї тріщини на відстань не менше 150 мм;
- виникнення тріщини (або отвору), через яку можна ввести щуп діаметром 25 мм;
- полум'я на необігрівній поверхні зразка спостерігається протягом проміжку часу не менше ніж 10 секунд.

Граничний стан за ознакою втрати теплоізолювальної спроможності (I) є перевищенням середньої температури на необігрівній поверхні зразка над початковою температурою цієї поверхні на 140°C або перевищення температури в довільній точці над початковою на 180°C [1]. Досягнення випробувальним зразком критичної температури (EN 1363) [100], а саме: підвищення температури на необігрівній поверхні до 482 °C від початкового значення (критична температура).

Критична температура $\theta_{a,cr}$ вуглецевої сталі у момент часу t для нерівномірного розподілу температури в конструкції може бути визначена для будь-якого ступеня використання μ_0 у момент часу $t = 0$, окрім випадку, коли розглядається критерій деформації або треба враховувати явище стійкості, за

формулою:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad (1.5)$$

де μ_0 не менше 0,013.

Примітка. Приклади значень $\theta_{a,cr}$ для значень μ_0 від 0,22 до 0,80 наведено в таблиці 4.1.

Для конструкцій з поперечними перерізами Класу 1, 2 або 3 та для всіх конструкцій, що працюють на розтяг, ступінь використання μ_0 в момент часу $t = 0$ визначають з виразу:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} \quad (1.6)$$

де $R_{fi,d,0}$ – значення $R_{fi,d,t}$ в момент часу $t = 0$ з 4.2.3; $E_{fi,d}$ та $R_{fi,d,t}$ згідно з 4.2.1 (1).

(4) Альтернативно для конструкцій, що працюють на розтяг, та для балок, для яких поздовжній згин з крученням не є можливим видом руйнування, μ_0 можна спрощено визначити з виразу:

$$\mu_0 = \eta_{fi} [\gamma_{M,fi} / \gamma_{M,0}] \quad (1.7)$$

де η_{fi} – коефіцієнт зниження згідно з 2.4.3 (3)

Таблиця 1.7

Критична температура $\theta_{a,cr}$ для значень ступеня використання μ_0

μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$
0,22	711	0,42	612	0,62	549
0,24	698	0,44	605	0,64	543
0,26	685	0,46	598	0,66	537
0,28	674	0,48	591	0,68	531
0,30	664	0,50	585	0,70	526
0,32	654	0,52	578	0,72	520
0,34	645	0,54	572	0,74	514
0,36	636	0,56	566	0,76	508
0,38	628	0,58	560	0,78	502
0,40	620	0,60	554	0,80	496

Примітка. У національному додатку [34] можна знайти стандартні значення

критичної температури.

Для проведення вогневого випробування мають бути визначені проекти сценаріїв номінальної або реальної моделі пожежі та відповідні температурні режими пов'язані з ними.

Відповідно [122] температурні режими поділяються на номінальні температурні режими та режими реальної пожежі. До номінальних режимів відносяться:

- стандартний температурний режим;
- температурний режим зовнішньої пожежі;
- вуглеводневий температурний режим.

До режимів реальних пожеж:

- спрощені моделі пожежі;
- пожежі у відсіку;
- локалізовані пожежі;
- уточнені моделі пожежі.

Виходячи з запропонованого, призначення є застосування для проведення розрахунків та вогневих випробувань стандартного температурного режиму та температурного режиму при пожежі у відсіку.

Достовірність випробувань забезпечуються відповідними умовами та засобами випробувань. До яких відносяться: випробувальна піч, обладнання для кріплення зразка та засоби вимірювальної техніки. Проведення випробувань можливі при створення відповідного температурного режиму, надлишкового тиску у печі та підготовці зразків випробувань відповідно до встановлених вимог.

Проведення вогневих випробувань допомагає у вирішенні одного з завдань роботи - встановлення технічних аспектів, що виникають при застосуванні Єврокодів [33,122] на території України. Проведенні випробування, їх аналіз та порівняння з теоретичними дослідженнями можуть бути враховані при розробці стандартів на будівельні вироби, з метою

досягнення повної відповідності технічним умовам Єврокодів [122]. Крім того, можливо встановити необхідність узгодження або модифікації технічних умов на виробництво газоблоків та піноблоків технічним нормам, чи навпаки, які національні параметри можуть бути раховані при застосуванні розрахунків на базі Єврокодів [33].

1.5. Висновки , мета і задачі дослідження

1. Встановлено, що 30% пожеж в Україні супроводжується руйнацією будівель та споруд.

2. Встановлено, що одним із найефективніших шляхів підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій з метою належного забезпечення пожежної безпеки будівель та споруд, являється їх вогнезахист.

3. Встановлено, що експериментальне визначення вогнезахисної здатності покриттів існуючими методиками потребують значних фінансових затрат.

4. Встановлено, що довідникова база щодо властивостей вогнезахисних матеріалів із ніздрюватих бетонів, для розрахунку межі вогнестійкості металевих конструкцій не наведена у Єврокодах.

Метою роботи є розкриття закономірностей характеристик вогнезахисної здатності покриттів з піно- та газобетонів із різними конструктивними характеристиками, як наукового підґрунтя для удосконалення інженерних методів розрахунку вогнестійкості металевих конструкцій із вогнезахисними системами на основі даних матеріалів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати статистику пожеж і провести аналіз властивостей існуючих вогнезахисних покриттів та методів визначення вогнезахисної здатності;

- розробити методиками та провести експериментальні дослідження із визначення температур прогріву піно- газобетонних плиток в умовах теплового впливу стандартного (параметричного) температурного режиму

пожежі та порівняти отримані результати з теоретичними дослідженнями;

- провести теоретичні розрахунки з визначення характеристик вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів із пінобетонних, газобетонних плиток за критичними температурами прогріву металевих будівельних конструкцій та кам'яних конструкцій із пінобетону та газобетону;

- встановити залежності проектної вогнестійкості та мінімальної товщини покриттів із пінобетону і газобетону за критичних температур руйнування металевих будівельних конструкцій та протипожежних стін із пінобетону і газобетону;

- на підставі отриманих експериментальних та теоретичних досліджень розробити попередні рекомендації щодо застосування інженерних методів проектування вогнезахисних систем на основі пінобетонного, газобетонного облицювання для металевих будівельних конструкцій.

РОЗДІЛ 2. ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ І ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Обґрунтування параметрів та характеристик зразків для випробувань

Розвиток сучасних технологій потребує підвищення функціональних властивостей будівельних конструкцій, зокрема їх термомеханічних характеристик. За визначеними ознаками будівельні конструкції можуть бути використані при будівництві тих чи інших будівель та споруд або створенні вогнестійких конструкцій різного призначення.

З великого спектру будівельних конструкцій, що потребують підвищення рівня вогнестійкості, особливе місце займають металеві конструкції. У подальшому ми будемо розглядати захист сталевих конструкцій, оскільки термомеханічні властивості металу спрощують проведення експериментальної частини роботи та дають можливість отримання більш точних результатів.

Основне завдання вогнезахисту сталевих конструкцій полягає у створенні на їх поверхні теплоізолювального шару з низькою температуропровідністю, який здатний витримувати високі температури та ізолювати поверхню матеріалу від прямої дії небезпечних факторів пожежі [67, 95].

Вогнезахист сталевих конструкцій здійснюється із врахуванням нормованої межі вогнестійкості. Тобто, необхідно підібрати товщину вогнезахисного покриття залежно від необхідного часу його вогнезахисної дії.

Найпростіші високотемпературні і вогнезахисні засоби на основі неорганічних в'язучих матеріалів містять у своєму складі зв'язану воду, яка при нагріванні випаровується і блокує перенос тепла до поверхні, що захищається. В якості зв'язки використовують натрієве рідке скло, портландцемент, глиноземистий цемент, фосфатні алюмосилікатні в'язучі

[92]. Як термостійкі наповнювачі для захисних покриттів використовують спучений перліт і вермикуліт, керамзит, кремнеземисті та кварцові волокна.

Газобетон має структуру з відкритими пов'язаними між собою порами капілярного типу. Пінобетон – закриту структуру, тобто пори газу всередині ізолювані одна від одної. Розміри «бульбашок» пінобетону у рази більше ніж у газобетону. Тому матеріали відрізняються за гігроскопічністю, пінобетон вбирає воду гірше, ніж газобетон. На рис. 2.1 наведено фото структур бетонів у розрізі та збільшену у два рази.

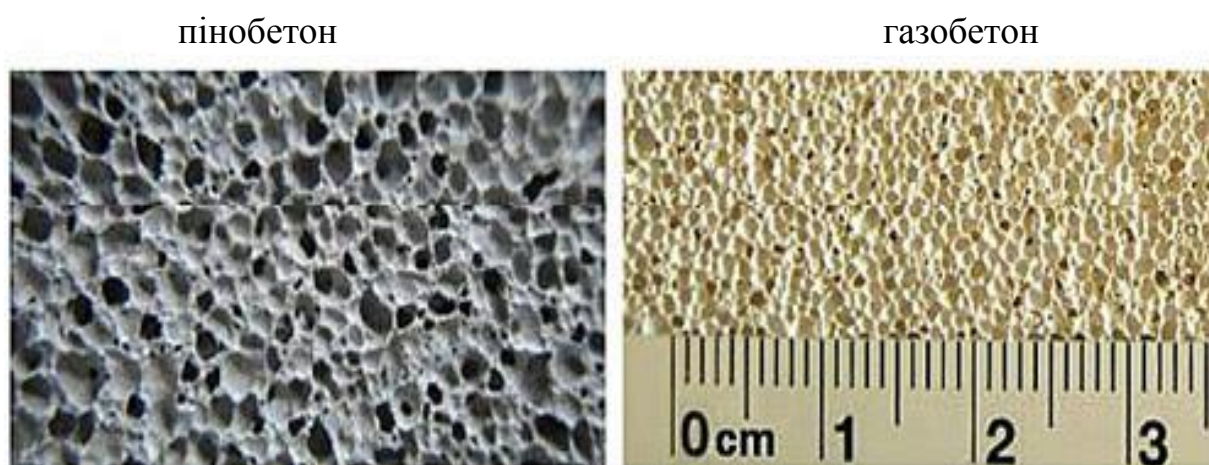


Рисунок 2.1 - Структура пінобетону та газобетону

Технологічно газобетон виробляється виключно у заводських умовах, його ніздрюватість досягається хімічним способом – введенням в суміш газоутворюючих складників (найчастіше алюмінієвої пудри та перекису водню або відбілювача і карбід кальцію). У результаті хімічних реакцій вивільняються відповідно водень, кисень або ацетилен. Газоутворення призводить до збільшення обсягу матеріалу. Виходячи з матеріалу, газ залишає численні відкриті пори і капіляри. Досягнення всіх необхідних характеристик відбувається в спеціальних автоклавах при високому тиску і температурі.

Пінобетон можна виготовити, як автоклавним твердінням так і природним шляхом. За технологією відбувається змішування бетонної суміші і піноутворювача. У процесі виробництва не відбувається ніяких хімічних

реакцій. Процес створення ніздрюватості у бетонному розчині досягається використанням пінних поверхневоактивних детергентів (миючих засобів), сапоніну, або гідролізатів білка (кератину). Комірчаста структура пінобетону виходить при змішуванні компонентів. Оскільки при твердінні цементно-піщаного розчину газ не покидає матеріалу утворюються осередки закритої структури. Через відсутність надлишкового тиску газу, пори і капіляри утворюються тільки за рахунок виходу (випаровування) зі структури матеріалу води. Ці пори мають дуже невеликий розмір в порівнянні з порами в газобетоні.

Говорити про використання даних будівельних матеріалів можна лише маючи на увазі їх унікальні властивості. Одна з найважливіших характеристик у будівельній справі – міцність. Враховуючи її, можна позначити області застосування ніздрюватих бетонів. Для зведення будівельних конструкцій, на які будуть діяти значні навантаження, слід використовувати газоблоки. Піноблоки підійдуть для будівництва перегородок та інших ненавантажених елементів будівель. У таб.2.1 наведені основні характеристики цих видів ніздрюватих бетонів.

Таблиця 2.1

Порівняльні характеристики ніздрюватих бетонів

Параметри	Газобетон	Пінобетон
Густина	400-500 кг/м ³	500-600 кг/м ³
Морозостійкість (циклів)	50-100	25
Усадка	0,3 мм/м	2-3 мм/м
Експлуатаційна вологість	4-5%	12%
Коефіцієнт паропроникнення	0,2 мг/мчПа	0,2 мг/мчПа
Коефіцієнт теплопровідності	0,09-0,14 Вт/м·К	0,15-0,2 Вт/м·К
Міцність	25-50 кг/см ²	9 кг/см ²

Виробництво пінобетону набагато простіше і дешевше, в порівнянні з більш високотехнологічним газобетонним виробництвом. Однак, на цей час,

на будівельному ринку України застосування газобетону в певній мірі домінує над виробами з пінобетону.

Газобетон, як будівельний матеріал, набув широкої популярності серед приватних забудовників та будівельних компаній. Однак цей матеріал - не є новинкою на будівельному ринку. Перші зразки матеріалу, який за класифікацію відноситься до ніздрюватих бетонів, були отримані ще на початку минулого століття. А офіційно технологія була запатентована ще в 1924-му році у Швеції архітектором Йоханом Еріксоном.

Широке поширення газобетону сьогодні викликано, як його фізико-технічними характеристиками, так і суттєвими змінами на ринку енергоносіїв. Зокрема, вимоги до енергоефективності житлових будівель в останні роки значно підвищені, що спонукає до використання високих теплоізоляційних властивостей газобетону.

Газобетон не дуже складний у виробництві, проте для досягнення високої якості вимагає високотехнологічного обладнання. Основними компонентами, що входять до його складу, є:

- кварцовий пісок;
- вода;
- вапно;
- портландцемент;
- алюмінієва пудра.

Після газоутворення і набування початкової міцності газобетонна маса ріжеться на окремі блоки. Для набору остаточної міцності вони досушуються на відкритому повітрі. Міцність газобетону в процесі виробництва змінюється шляхом комбінування кількістю початкових інгредієнтів і контролем спучування маси до певного об'єму.

Популярність газобетону обумовлена його корисними характеристиками. Хоча в Україні він застосовується все ж істотно менше, ніж у країнах Європейської співдружності, у малоповерховому будівництві обсяг його застосування становить майже 20% від загального числа сучасних

будівель, в той час у Великобританії ця цифра складає 40%, а в Німеччині всі 70%.

Корисних характеристик газобетон має багато, але основні можна розбити на три групи:

- легкість за масою;
- технологічність в обробці;
- високі теплоізоляційні властивості.

Зупинимося на цих властивостях газобетону докладніше. Газобетон має певні переваги над пінобетоном. Показники його теплопровідності та усадки нижче, а морозостійкість та міцність значно вища за показники пінобетону. Високий показник має теплоізоляційна характеристика. Коефіцієнт теплопровідності газобетону в сухому стані — 0,092 Вт/(м·К), при вологості 12% – 0,145 Вт/(м·К). У той же час, коефіцієнт теплопровідності 0,2 Вт/(м·К) у пінобетону [7, 72].

Інші властивості газобетону:

- висока морозостійкість (не менше F35);
- висока вогнетривкість (клас А1). Добре переносить короткочасний вплив температур до 300 °С;
- здатний витримувати осьовий тиск до рівня В 2,5, що дозволяє зводити з нього несучі стіни висотою до 20 м;
- негерметичні стіни з газобетону «дихають», як і стіни з керамічної цегли.

Зважаючи на означене, можливо визнати газобетон практично ідеальним матеріалом для будівництва. На жаль, це не зовсім так. Деякі вразливі місця є.

Газобетон гігроскопічний і досить активно поглинає вологу, як при безпосередньому контакті, так і з атмосферного повітря. При цьому він набирає вагу, погіршуються його теплоізоляційні властивості і міцність. При промерзанні може зруйнуватися. Тому зберігати його під відкритим небом небажано, а побудовані стіни потрібно відразу оштукатурювати. Зокрема, з цієї ж причини газобетон не застосовуються при облаштуванні фундаментів.

Здатність газобетону вбирати вологу позначається і при кладці, і при штукатурних роботах. Газобетон швидко забирає воду з розчину і штукатурки, у результаті чого вони швидко втрачають еластичність. Це створює незручність в роботі. Особливо це проявляється в літню спеку.

Пінобетон не настільки гігроскопічний. Крім того, оскільки затвердіння може відбуватися самостійно з'являється можливість використовувати не тільки готові заводські форми (блоки), але і заливати суміш в опалубку безпосередньо на місці будівництва, отримуючи необхідні будівельні елементи (монолітне будівництво). Приготувати «бетонну піну» можна безпосередньо на будівельному майданчику.

Обидва матеріали мають один найголовніший недолік – крихкість. У залежності від марки ця характеристика піно- та газобетону проявляється по-різному. Але в цілому, піно- та газобетони витримують великі навантаження на стиск, але дуже крихкі до ударних навантажень. При ударі або падінні піно- або газобетонний виріб з великою ймовірністю отримає тріщину чи розколеться.

Транспортувати піно- та газобетонні вироби треба в заводській упаковці, дотримуючись обережності при вантажно-розвантажувальних роботах.

Таким чином, зважаючи на вище означене можливо зробити висновки, що застосування виробів з газо- пінобетону в якості пасивного вогнезахисного засобу будівельних конструкцій теоретично цілком доцільне та потребує детального вивчення у тому числі у частині підтвердження вогнетривкості шляхом проведення експериментальних досліджень.

Для проведення експериментальних досліджень в межах цієї роботи визначені критерії стінових виробів з ніздрюватого бетону автоклавного твердіння серійного виробництва, які вільно реалізуються в торговельних мережах України.

Основними параметрами підбору газобетонних і пінобетонних матеріалів є єдине теплоізоляційно-конструкційне призначення та коефіцієнт міцності при стиску, що дорівнює $B=2,5$.

Таким чином для проведення досліджень були обрані газобетонні блоки виробництва ТОВ «Аерок» марок D400, D500 та пінобетонні блоки виробництва ТОВ «Рогозівський пінобетонний комбінат» марки D800. Визначені параметри, теплофізичні характеристики обраних будівельних виробів підтверджені сертифікатами відповідності на момент купівлі матеріалів.

Для монтажу вогнезахисного покриття на сталеву конструкцію запропоновано використання високотемпературного композиційного матеріалу ТИ-1К-А(Х), що виготовляється відповідно до ТУ У24.6-31522416-2004[125].

Даний матеріал представляє собою самотвердіючу однокомпонентну композиційну систему неорганічних елементів з присадками на основі оксидів металів, призначених для:

- виконання футерувальних робіт при кладці печей та іншого термічного обладнання в якості замітника розчину при кладці;
- склеювання теплоізоляційних виробів, високотемпературної кераміки та пальникових каменів;
- виконання комплексного ремонту зношеної футеровки камерних, обертових, тунельних, прохідних та інших типів печей і теплового обладнання;
- герметизація або зв'язування кладок розчинів.

Основні характеристики клейових матеріалів наведені в табл. 2.2.

Відповідно до інструкції з застосування композиційний матеріал наноситься пензлем або шпателем на поверхню плитки газо- пінобетону у приміщеннях з температурним режимом від + 5 до + 60 °С та вологістю повітря не більше 85% та притискається до металевої пластини. Для якісного нанесення в'язучого матеріалу та зменшення витрат і часу сушки випробувальний зразок плитки попередньо покривається тонким шаром композиційного матеріалу розбавленим теплою водою з розрахунку не більше 5% від об'єму розпилувачем та просушується.

Таблиця 2.2

Основні характеристики композиційного матеріалу

Назва матеріалу Характеристика	ТИ-1К-А	ТИ-1К-Х
Зовнішній вигляд	Суспензія світло-жовтого кольору	Суспензія зеленого кольору
Густина, г/см ³	1,35-1,5	1,4-1,55
Межа міцності на розтяг, МПа (кгс/см ²)	4,0 (40)	4,0 (40)
Температура застосування, °С	1150	1250

Перед нанесенням поверхня металу має бути очищена від пилу, жиру, мастил, старої фарби та інших забруднень і висушена. Матеріал наноситься в один або декілька слоїв в залежності від необхідної товщини покриття, при цьому, нанесення кожного послідуєчого шару виконується після висихання попереднього. Висихання клеючої маси за температурою (20±2) складає 22-24 години. Час заключного висихання покриття за тих же умов складає 46-48 годин. Можлива прискорена сушка покриття термічним або хімічним шляхом. Матеріал не горючий, вибухобезпечний, нетоксичний.

Для проведення серії випробувань виготовлено дослідні зразки з:

- високотемпературного композиційного матеріалу марки ТИ-1К-А;
- газобетонних блоків марки D400 і D500;
- пінобетонних блоків марки D800.

Основні параметри і характеристики, дослідних зразків представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Основні параметри і характеристики дослідних зразків

№	Тип	Кількість	Матеріал	Габаритні розміри,

п/п	зразка	зразків		мм
1.	Г-1	2	Газобетон марки D400	500x500x40
2.	Г-2	2	Газобетон марки D500	500x500x40
3.	П-1	2	Пінобетон марки D800	500x500x40
4.	П-2	2	Пінобетон марки D800	500x500x20
5.	П-3	2	Пінобетон марки D800	600x600x40
6.	П-4	2	Пінобетон марки D800	500x500x60
7.	К	К-1	клей марки ТИ-1К-А	250x500x1
		К-2	клей марки ТИ-1К-А	250x500x2
8.	М	1	Сталь СТЗпс	500x500x5±02

Для визначення вогнезахисної здатності дослідних зразків покриттів необхідно провести дослідження вогнестійкості вказаних експериментальних фрагментів будівельних систем за показником втрати теплоізолювальної спроможності, які можна провести як експериментальним так і розрахунковим методом, основою ж якісного дослідження є поєднання результатів вогневих випробувань з розрахунковими [34]. Розрахунок часу збереження вогнезахисної здатності пасивного вогнезахисту з ніздрюватого бетону та експериментально-випробувальна частина можуть бути проведені за методиками визначеними національними стандартами України системи будівельних Єврокодів та відповідати вимогам інших нормативних документів діючих в Україні, у тому числі ДСТУ Б.В.1.1-4-98*[36].

2.2. Методика експериментальних досліджень вогнезахисної здатності

Дійсність результатів теоретичних досліджень та математичних розрахунків на вогнестійкість конструктивної будівельної системи або її частини підтверджується експериментальними даними. Основою підтвердження або наближення теоретично-розрахункових даних до реальної

поведінки будівельних конструкцій в умовах пожежі або їх спростування є вогневі випробування.

Впроваджені Україною національні стандарти, в основу яких закладені міжнародні та європейські підходи до будівельної та пожежної безпеки, значно спрощують застосування розрахункових моделей на вогнезахисну здатність та навіть пропонують готові рішення, що базують на даних випробувань та загальних розрахункових моделях, у формі таблиць. Однак, повний аналіз вогнестійкості має містити і результати вогневих випробувань.

Розрахунковим методом може бути обчислена вогнезахисна здатність окремої частини (моделі) конструктивної системи вогнезахисного покриття [51, 53]. Конструктивна система будівельної конструкції з пасивним вогнезахистом складається з двох частин: поверхні, що захищається (основи) та шару вогнезахисного матеріалу. При розрахунку вогнезахисної здатності частини конструкції, а в нашому випадку – шару ніздрюватих бетонів, означений метод не визначає матеріалу опори другої складової конструктивної будівельної системи. Зважаючи на зазначене, іншою частиною може виступати, як кам'яна конструкція так і будь-яка інша, у тому числі і металева. Застосування при проведенні експериментальних досліджень опори з металевої конструкції значно спрощує проведення дослідної частини, якщо розрахунок проводиться виключно для шару вогнезахисного матеріалу. Крім того, при такому способі випробувань значно легше виділити показники вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття в певній мірі ігноруючи або враховуючи відомі теплофізичні показники металів.

Що стосується температурних умов дії на дослідні зразки при проведенні дослідів. Так само, як при теоретичних дослідженнях, для проведення вогневих випробувань мають бути визначені проекти сценаріїв номінальної або реальної моделі пожежі та відповідні температурні режими пов'язані з ними.

Методикою пропонується проведення випробувань за двома температурними режимами: стандартним та параметричним [8,33].

Стандартний температурний режим визначений [33]

$$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t+1) \text{ [}^\circ\text{C]}, \quad (2.1)$$

де Θ_g – температура газового середовища у протипожежному відсіку [$^\circ\text{C}$]
 t – час [хв].

Температурний режим параметричної пожежі підлягає розрахунку відповідно існуючої методики [33].

Параметричні температурні режими придатні для протипожежних відсіків площею поверху до 500 м², без прорізів у покритті та максимальної висоти відсіку 4 м. При цьому, передбачається, що пожежне навантаження відсіку згоряє повністю [33].

Температурні режими у фазі нагрівання визначають [33] за формулою:

$$\Theta_g = 20 + 1325(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}) \quad (2.2)$$

де: Θ_g – температура газового середовища у протипожежному відсіку [$^\circ\text{C}$]

$$t^* = t \cdot \Gamma \text{ [год]} \text{ [h]} \quad (2.3)$$

де: t – час [год];

$$\Gamma = (O/b)^2 / (0,04/1160)^2 \quad (2.4)$$

$b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ в таких межах: $100 \leq b \leq 2200$ [Дж/м²·с^{1/2}·К];

P – густина поверхні огорожувальної конструкції [кг/м³];

c – питома теплоємність поверхні огорожувальної конструкції [Дж/кгК];

λ – теплопровідність межі огороження [Вт/мК];

O – коефіцієнт врахування прорізів $O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$ [м^{1/2}], в таких межах:
 $0,02 \leq O \leq 0,2$;

A_v – загальна площа вертикальних прорізів у всіх стінах [м²];

h_{eq} – середнє арифметичне значення висоти вікна в усіх стінах [м];

A_t – загальна площа огорожувальних конструкцій (стіни, підлога і стеля, включно з прорізами) [м²].

Для розрахунків використовувалися наступні вихідні дані: $O=0,02$,
 $b=1500$ результати яких наведені у табл. 2.4 та рис.2.2.

Таблиця 2.4

Значення стандартного та розрахункового параметричного режимів

пожежі

Час, хв.	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$T_{st.}$	0	576	678	739	781	814	842	864	884	902	918	932	945	957
$T_{пар.}$	20	158	268	358	428	485	533	571	602	627	648	667	682	695

Час, хв.	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
$T_{st.}$	968	979	988	997	1005	1014	1021	1029	1036	1042	1049	1055	1061
$T_{пар.}$	707	717	726	734	741	748	754	760	766	771	776	781	785

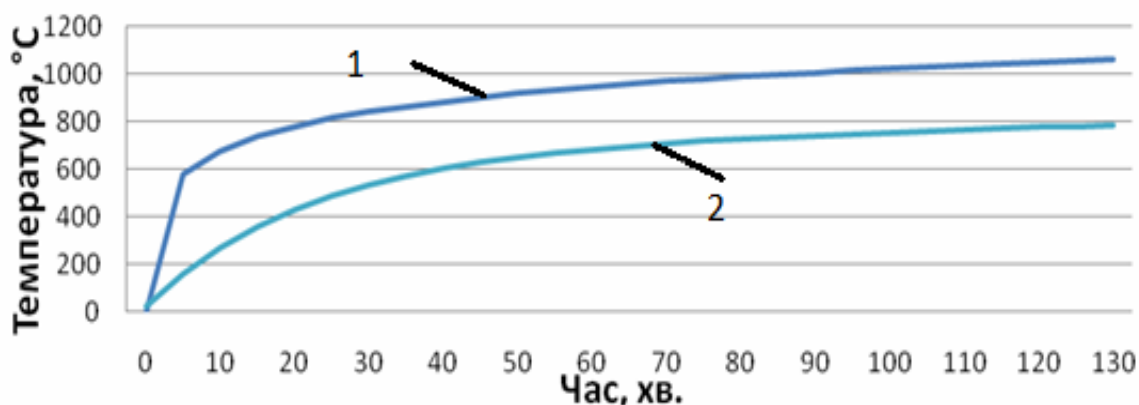


Рисунок 2.2 - Графічне співвідношення стандартного температурного режиму та розрахункового параметричного

1- стандартний температурний режим; 2- розрахунковий параметричний температурний режим.

Сутність методу випробувань, полягає у використанні окремих положень методології з визначення теплоізолювальної здатності та вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття для несучих металевих будівельних конструкцій [16, 36, 37, 38]. «Методика експериментальних випробувань з визначення вогнезахисної здатності покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовуються для вогнезахисту будівельних конструкцій» (додаток А) полягає у випробуванні фрагменту ненесучої будівельної системи на основі тонкої сталеві пластини захищеної шаром вогнезахисного покриття

з ніздрюватого бетону із попередньо встановленими конструктивними чинниками щодо міцності, густини та товщини. Критерієм виміру є визначення проміжку часу від початку температурного впливу за стандартним (параметричним) температурним режимом до моменту досягнення дослідним зразком граничного стану за ознакою втрати теплоізолювальної здатності. При цьому, граничний стан за ознакою втрати теплоізолювальної спроможності методикою визначається, як час збереження вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття, та полягає у визначенні проміжку часу від початку дії температури вогню на сталеву пластину з нанесеним на неї вогнезахисним матеріалом до досягнення необігрівною поверхнею пластини значення критичної температури встановленої для неї.

Таким чином, поняття визначення вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття, відповідно до методики, слід розуміти як: встановлення проміжку часу від початку дії температурного впливу за стандартним (або альтернативним) температурним режимом [36] на сталеву пластину захищену пасивним вогнезахисним покриттям (облицюванням із піно-газобетонних плиток) до підвищення її температури понад критичне значення [32] від початкового.

Методикою передбачається фіксація зовнішнього стану вогнезахисного покриття з метою встановлення допустимих термічних ушкоджень поверхні або стиків його частин, за яких покриття зберігає теплоізолювальну спроможність, тобто середня температура необігрівної сторони зразка не перевищує встановленого умовами випробування критичного значення.

Метод не може бути застосовано для визначення межі вогнестійкості конструкцій.

Умови проведення випробувань: стандартний температурний режим надлишковий тиск у печі, умови навколишнього середовища повинні відповідати діючим вимогам [36]. Параметричний температурний режим має відтворюватися відповідно до норм [33,122].

В якості основи зразків для випробувань застосовують квадратні сталеві

пластини марки СтЗпн зі стороною $600 \times 600 \pm 5$ мм, або $500 \times 500 \pm 5$ мм завтовшки $5,0 \pm 0,2$ мм. З однієї сторони по ґрунту (якщо він передбачений) згідно з технологією виробника за допомогою в'язучого елемента кріпляться пластини з вогнезахисних матеріалів (газобетонні, пінобетонні плити) завтовшки 20 мм, 40мм або 60 мм. З іншого боку сталевій пластини облаштовуються місця кріплення термопар типу ТХА. Виготовлені зразки, з метою врівноваження вологості з навколишнім середовищем, підлягають кондиціюванню на протязі 7 діб у пристосованому приміщенні за температурою 15°C та відносній вологості повітря не менше ніж 75% [95].

На рис. 2.3, 2.4 та рис. 2.5 представлені схеми розміщення термопар на дослідних зразках (піно- та газобетонних плиток) та в'язучого елемента (клеювого матеріалу марки ТИ-1К-А).

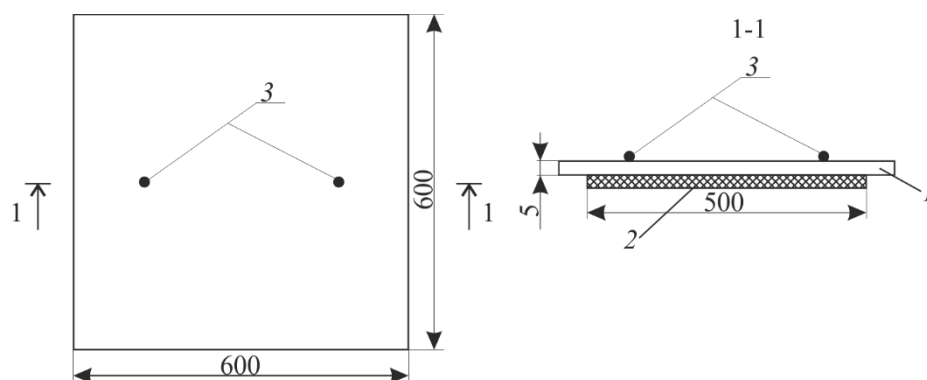


Рисунок 2.3 - Схема розміщення термопар на дослідному зразку плиток типу П-1, П-2, П-3, П-4

1-металева пластина; 2- вогнезахисний матеріал; 3-термопари типу ТХА.

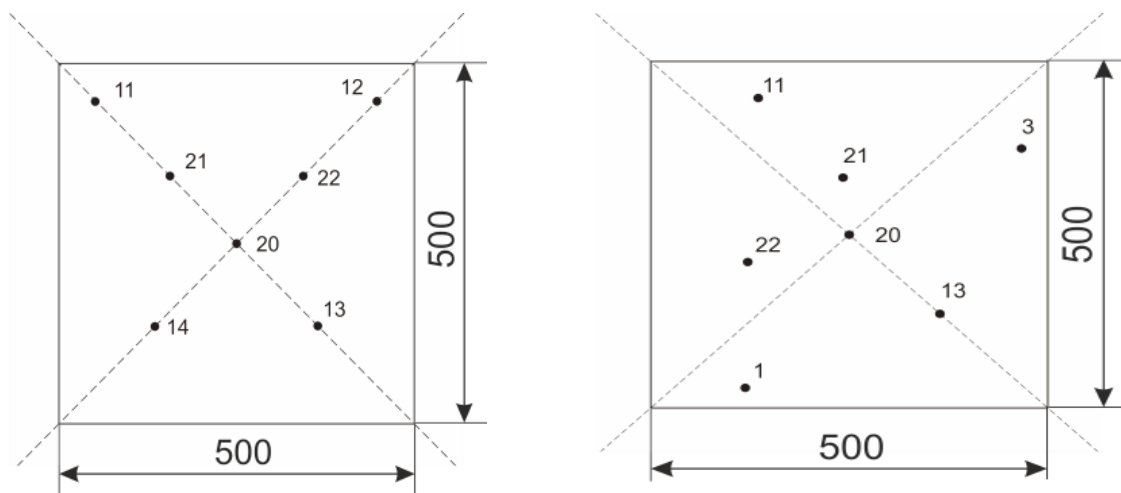


Рисунок 2.4 - Схеми розміщення термопар на дослідних зразках плиток типу Г-1,Г-2

а) Г-1

б) Г-2

№ 11, 12, 13, 14, 20- термопари в металі; № 21- термопара в клею;

№ 1, 3, 11, 13, 20- термопари в металі; № 22- термопара в клею;

№ 22- термопара на відстані 20мм від поверхні газоблоку

№ 21- термопара на відстані 20мм від поверхні газоблоку

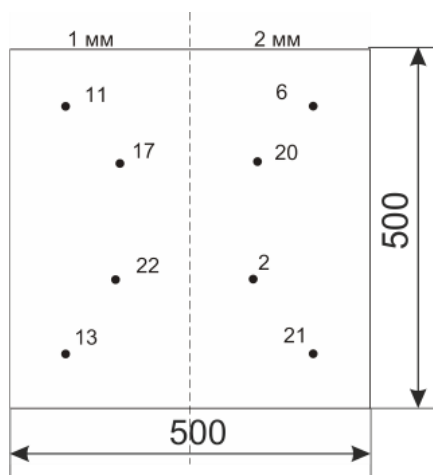


Рисунок 2.5 - Схема розміщення термопар на зразках випробувань в'язучого елементу (клею)

№ 2, 17, 20, 22- термопари в металі; № 11, 13 - термопари в клею товщиною 1 мм; № 6, 21 - термопари в клею товщиною 2 мм.

З необігрівної сторони сталевая пластина закривається теплоізоляційною плитою. Теплоізоляційна плита повинна складатися з двох шарів. Нижній шар, що примикає до сталевій пластини, виготовляють з керамічної вати згідно з 9.1.2

ДСТУ Б В.1.1-17 [16], завтовшки (20 ± 5) мм (наприклад, два шари лулітокремнеземистого фетру), а верхній з базальтової плити завтовшки (100 ± 10) мм та густиною (100 ± 20) кг/м³. Пластину встановлюють на отвір опорної конструкції через теплоізоляційну вставку керамічної вати завтовшки (10 ± 2) мм.

Засоби випробувань

- випробувальна піч (далі – піч) загальна конструктивна схема вогневої камери якої представлена на рис. 2.6;

- засоби вимірювальної техніки [36] та обладнання для фото- і відеозйомки;

- опорна конструкція для зразків.

Випробувальна піч [63] та засоби вимірювальної техніки мають відповідати ДСТУ Б В. 1.1-4. [36].

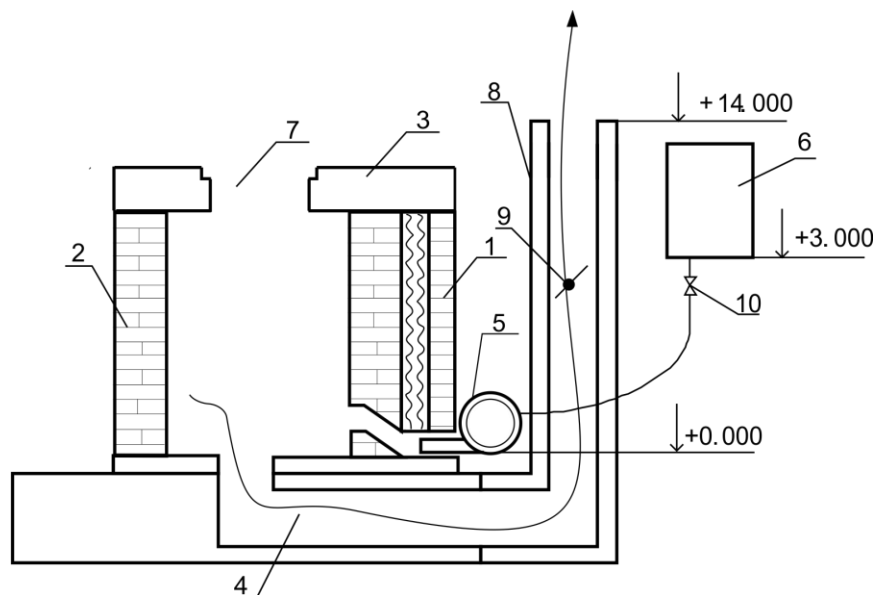


Рисунок 2.6 - Конструктивна схема вогневої камери

1, 2- огорожувальні конструкції; 3- горизонтальна з'ємна кришка; 4 - димовий канал; 5 - форсунка; 6 - бак з дизельним паливом; 7- вогнева камера; 8 - димохід; 9 – заслінка примусового газовідводу; 10 – вентиль

Дизельне паливо подається з бака (6) на форсунку (5). Температура у вогневій камері (7) коригується через подання горючої повітряно-паливної суміші вентилем (10). Продукти горіння видаляються через димовий канал (4) та димохід (8). Витік продуктів горіння регулюється заслінкою примусового газовідводу (9).

Стіни вогневих камер виготовляються з вогнестійкої шамотної цегли товщиною 250 мм, шару мінеральної вати товщиною 50 мм та звичайної червоної цегли товщиною 120 мм. Опорна конструкція печей - залізобетонна плита з одним чи декількома квадратними отворами розміром (600 ± 10) мм під зразки, що випробуються. Товщина опорної конструкції в місці встановлення зразків має склади (60 ± 10) мм.

Горизонтальна та вертикальна з'ємні кришки виготовляються з жаростійкого бетону з перлітовим заповнювачем та армовані двома сітками арматури $\varnothing 16$ мм класу А-III з коміркою 150×150 мм. У цих елементах при бетонуванні вмуровуються підйомні петлі для можливості їх монтажу.

При проведенні дослідів планується використання печей Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту та Національного університету «Львівська політехніка» [8, 10, 63]. Конструктивно обидві вогневі печі фактично однакові та збудовані для здійснення теплофізичних випробувань фрагментів будівельних конструкцій і забезпечені можливістю проведення випробувань, як у вертикальному так і горизонтальному положенні. Для отримання більшої кількості аналітичних даних та широкого спектру результатів експериментів проведення випробувань має здійснюватись у вертикальному положенні за умов дії стандартної температури на печі УкрНДЦЗ (додаток Б) та у горизонтальному за умов дії температури реальної пожежі на печі НУ«ЛП».

Конструктивні схеми печей представлені на рис. 2.7 та 2.8.

Контроль температури в печі здійснюється комплектом хромель-алюмелевих термопар $\varnothing 1,5$ мм довжиною 2,5-3,0 м з ізоляцією із керамічного намиста в кількості 5 штук, що представлено на рис. 2.9. Термопари $\varnothing 0,7$ мм призначені для контролю температури на дослідних зразках та встановлюються в кількості і залежності від необхідності.

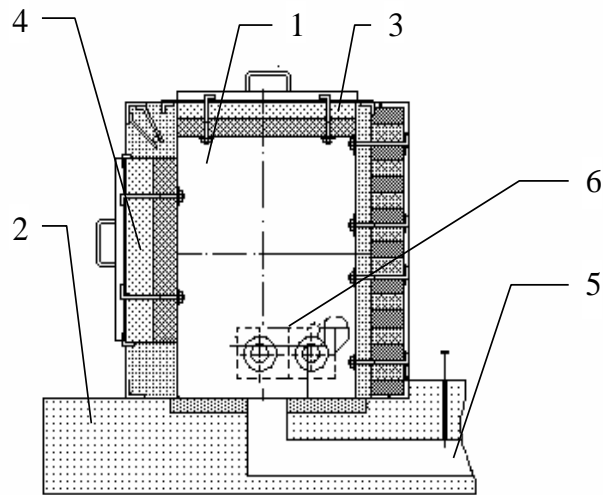


Рисунок 2.7 - Випробувальна вогнева піч Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту

1 – вогнева камера; 2 – бетонна основа; 3,4 – теплоізоляційні кришки;
5 – канал виходу продуктів згорання; 6 – пальники.

Підготовка до проведення випробувань включає в себе розміщення термопар в печі та на дослідних зразках, перевірку та налагодження паливної системи, засобів вимірювальної техніки, приладів, ПК та кондиціонування та встановлення випробувальних зразків на печі, а також реєстрацію температури, атмосферного тиску та вологості в приміщенні лабораторії.

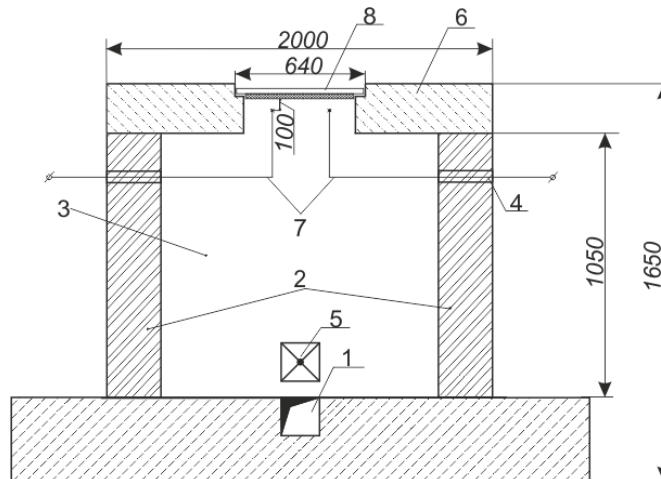


Рисунок 2.8 - Випробувальна піч для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлових їх стикових з'єднань НУ «Львівська політехніка».

1 – димовий канал; 2 – стіни печі; 3 – вогнева камера; 4 – отвори для встановлення термопар; 5 – нагрівальний канал пальника; 6 – верхня з'ємна кришка; 7 – термопари заміру температури в печі; 8 – дослідний зразок.

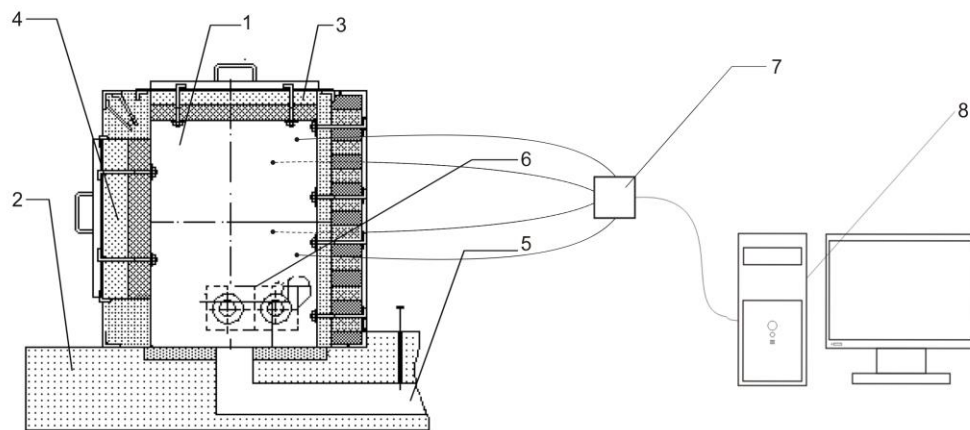


Рисунок 2.9 - Схема розміщення приладів у вогневій печі УкрНДЦЗ

1 – вогнева камера; 2 – бетонна основа; 3,4 – теплоізоляційні кришки;
5 – канал виходу продуктів згорання; 6 – пальники; 7 – термоперетворювач;
8 – персональний комп'ютер;

Схема розміщення приладів НУ «Львівська політехніка» представлена на рис. 2.10.

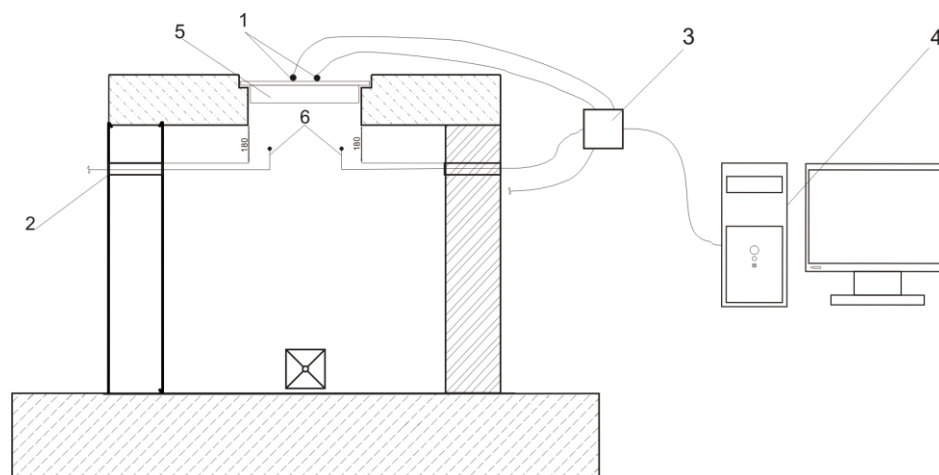


Рисунок 2.10 - Схема розміщення приладів.

1 - термопары на дослідному зразку; 2 - отвори для встановлення термопар в печі; 3 - термоперетворювач; 4 - персональний комп'ютер; 5 - дослідний зразок; 6 - термопары в печі.

Термопары (6) в печі та у дослідних зразках (1) під'єднують до термоперетворювача (3) марки ПВІ-0298, який приймає інформацію з термопар і передає їх значення на персональний комп'ютер (ПК) (4) для реєстрації та подальшої обробки отриманих результатів.

Температура металу дослідного зразка визначається, як середнє арифметичне значення показників термопар, які розміщені у визначених місцях. Вогнезахисна здатність покриття, у цілому, визначається, як середнє

арифметичне значення результатів випробувань двох зразків.

Розбіжність максимального та мінімального значення випробування не повинна перевищувати 20%. У разі розбіжності значень випробувань більше 20% необхідно провести додаткове випробування, а вогнетривкість визначається, як середнє арифметичне двох менших значень.

Під час проведення випробувань необхідно вести фото- відео зйомку та реєструвати такі показники:

- температуру та тиск в печі, для дотримання стандартного температурного режиму;
- температуру металу дослідного зразка;
- поведінку зразка, в разі можливості;
- час настання граничного стану.

З метою забезпечення можливості виділення параметрів часу збереження вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття мають бути проведенні окремі випробування вогнезахисної здатності в'язучого елемента, що застосовується для кріплення вогнезахисного покриття на металеву опору та самої сталевій конструкції (пластини). Випробування мають проводитись за визначеним вище способом та умовами.

Під час визначення групи вогнестійкості не розглядаються результати випробувань з показниками часу менше ніж 15 хвилин [37].

2.3. Методи та моделі розрахунку теплофізичних характеристик

Для математичного обрахування теплофізичних характеристик експериментальних фрагментів будівельних систем з пасивним вогнезахистом означений метод розв'язання обернених задач теплопровідності та математична модель розрахунку прогріву сталевих пластин з вогнезахисним покриттям [47, 49, 50,51].

Математична модель

На рис. 2.11 приведена геометрична модель (схема розрахункової

області) багат шарової стінки загальною товщиною X_4-X_0 , $X_0 = 0$ мм, що складається (справа наліво по осі X) із зразка (газобетон або пінобетон) змінною товщиною X_1-X_0 , (різною для різних випробувань), клею товщиною $X_2-X_1 \approx 1,5$ мм, металеві пластини товщиною $X_3-X_2 = 5$ мм і теплоізоляції товщиною $X_4-X_3 = 120$ мм, границі X_3 - контакт клею і сталеві пластини.

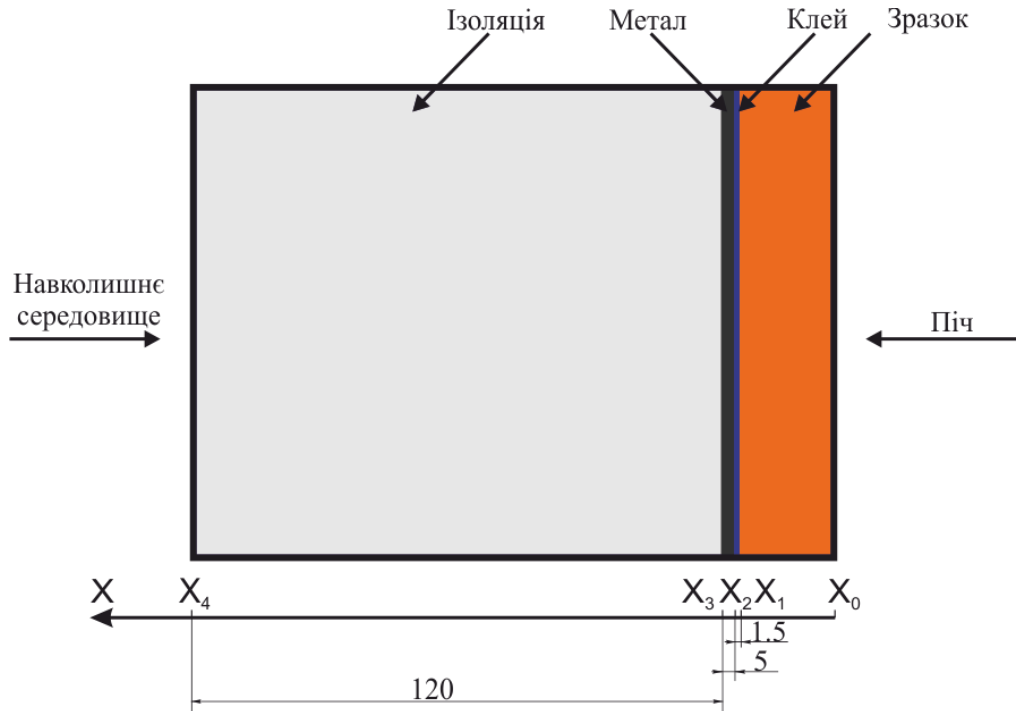


Рисунок 2.11 - Геометрична модель (схема) багат шарової стінки із випробувальним зразком

У разі випробування зразка (газобетон або пінобетон) змінної товщини, область розрахунків буде складатися тільки з товщини зразка X_1-X_0 . Випробуваний зразок нагрівається з боку печі на кордоні X_0 і охолоджується з боку навколишнього середовища X_4 або X_1 .

Математична модель теплового стану багат шарової стінки із зразком для одновимірного процесу нестационарної теплопровідності представляє собою рівняння теплопровідності [58]:

$$c_v(x, \tau) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x, \tau) \frac{\partial T}{\partial x} \right], \quad (2.5)$$

$$T = T(x, \tau),$$

$$\text{початковою умовою} \quad T(x, 0) = T_0 = \text{const.}$$

В області вирішення $X_4 \geq X \geq X_0$ для багат шарової стінки із зразком або $X_1 \geq X \geq X_0$ для стінки, що складається виключно зі зразка, для тимчасового інтервалу $\tau_{\max} \geq \tau \geq 0$ з граничною умовою радіаційно-конвективного теплообміну на правій поверхні зразка (кордон $X = X_0$) з температурою $T(0, \tau)$ і гарячими газами печі з температурою T_{Π}

$$\lambda_0 \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial X} = \alpha^* [T(0, \tau) - T_{\Pi}(\tau)], \quad (2.6)$$

де

$$\alpha^* = \alpha_{\Pi} + \frac{C_0 \varepsilon}{T(0, \tau) - T_{\Pi}(\tau)} \left\{ \left[\frac{T(0, \tau)}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{\Pi}(\tau)}{100} \right]^4 \right\}, \quad (2.7)$$

і граничною умовою конвективного теплообміну з боку навколишнього середовища на кордоні $X = X_4$ (багат шарова стінка із зразком) або $X = X_1$ (одно шарова стінка - зразок)

$$\lambda_0 \frac{\partial T(x_4, \tau)}{\partial X} = \alpha^{**} [T(x_4, \tau) - T_{oc}]. \quad (2.8)$$

В (2.5)-(2.8) $C_v = C \times \rho$ - питома об'ємна теплоємність, λ - коефіцієнт теплопровідності, ρ - щільність, T - температура, τ - час, X - координата, α^* - коефіцієнт тепловіддачі від гарячих газів до поверхні зразка що нагрівається, α^{**} - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ізоляції або зразка в навколишнє середовище (повітря), C_0 - випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла ($C_0 = 5,67$), ε - коефіцієнт випромінювання нагрівається поверхні зразка; T_{Π} - температура гарячих газів в печі при випробуванні; T_0 - початкова температура багат шарової стінки і зразка перед випробуванням.

Коефіцієнт тепловіддачі від гарячих газів в печі до поверхні що нагрівається зразка α^* приймається рівним $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, ступінь чорноти нагрівається поверхні $\varepsilon = 0,7$. Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ізоляції або зразка в навколишнє середовище (повітря) α^{**} приймається рівним $5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

Відмінність питомої об'ємної теплоємності C_v і коефіцієнта теплопровідності λ для різних верств багат шарової стінки в рівнянні (1) враховується їх залежністю від координати X , а також від температури T кожного з шарів:

$$C_v = C_{v,i}(X, T), \quad \lambda = \lambda_i(X, T), \quad X_i \geq X \geq X_{i-1}, \quad (2.9)$$

а на межі розділу сусідніх шарів задаються умови ідеального теплового контакту:

$$\lambda_i \frac{\partial T(x_i, \tau)}{\partial x} = \lambda_{i-1} \frac{\partial T(x_i, \tau)}{\partial x}, \quad (2.10)$$

де i - номер шару, $i = 0$ (зразок), 1, 2, 3.

Математична модель (2.5) - (2.10) інтегрується чисельно методом кінцевих різниць з використанням неявної схеми апроксимації похідних по координаті x і часу τ .

Метод розв'язку обернених задач теплопровідності

Для визначення теплофізичних характеристик газобетону і пінобетону рішенням обернених задач теплопровідності з використанням експериментальних даних, використаний екстремальний метод розв'язання обернених задач теплопровідності [46 – 51].

Згідно з цим методом знаходилась відповідна залежність коефіцієнта теплопровідності $\lambda(T)$ пено- або газобетонних зразків, для яких значення середньоквадратичного відхилення F розрахункових $T_{M,i}$, і осереднених експериментальних $T_{E,i}$, значень температур між металевою пластиною і зразком буде мінімальною

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^n [T_{M,i}[\lambda(T)] - T_{E,i}]^2} / n \quad (2.11)$$

де n - кількість експериментальних значень температури у часі.

Розв'язок прямої і оберненої задач теплопровідності проводяться за допомогою програми FRIEND.

При розв'язку оберненої задачі теплопровідності програма FRIEND (Free Identification for ENgineers and Designers) застосований алгоритм, описаний в [47].

В програмі FRIEND при реалізації обчислювального алгоритма, вибраний ітераційний метод Ньютона-Гаусса [47], який дозволяє при побудуванні дотичної матриці на кожній ітерації наближуватися до мінімуму функціоналу (рис. 2.12). Згідно із даним методом визначається такий вектор параметрів, що визначаються:

$$P = [P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n]. \quad (2.12)$$

Таким вектором може бути набір числових коефіцієнтів сплайнових функцій, що апроксимують залежність теплофізичних характеристик від температури.

Пошук вектора P відбувається за наступною ітераційною схемою:

$$P^{l+1} = P^l + \beta^l \cdot \Delta P^l, \quad (2.13)$$

де $l = 0, 1, \dots, L$ – номер ітерації;

β^l – довжина ітераційного кроку;

ΔP^l – приріст вектора шуканих параметрів на ітерації $l + 1$, яке визначається за допомогою рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР).

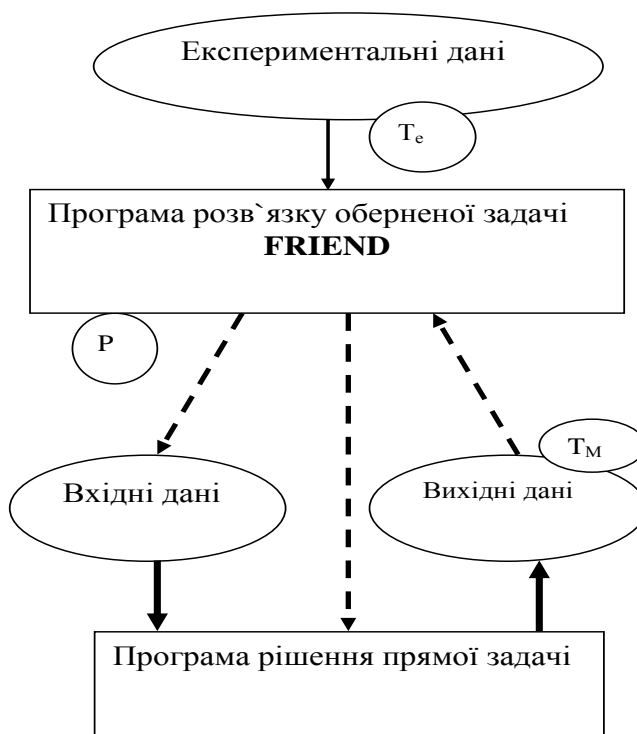


Рисунок 2.12 - Схема взаємодії блоку програми FRIEND розв'язку оберненої задачі теплообміну з із блоком розв'язку прямих задач.

Система алгебраїчних лінійних рівнянь для визначення ΔP^l має вид:

$$\begin{cases} Z_{1,1}^l \Delta P_1^l + \dots + Z_{1,i}^l \Delta P_i^l + \dots + Z_{1,n}^l \Delta P_n^l = T_{1\text{Э}} - T_{1M}^l \\ \dots \\ Z_{j,1}^l \Delta P_1^l + \dots + Z_{j,i}^l \Delta P_i^l + \dots + Z_{j,n}^l \Delta P_n^l = T_{j\text{Э}} - T_{jM}^l \\ \dots \\ Z_{m,i}^l \Delta P_1^l + \dots + Z_{m,i}^l \Delta P_i^l + \dots + Z_{m,n}^l \Delta P_n^l = T_{m\text{Э}} - T_{mM}^l \end{cases}, \quad (2.14)$$

де $Z_{j,i}^l$ – функція чутливості зміни температури в j -тій просторово-часовій точці

виміру до зміни i -го параметру P_i^l вектора P ;

Функції чутливості визначаються при «збуренні» одного з параметрів:

$$Z_{i,j} = \frac{\partial T_{jM}(P)}{\partial P_i} = \frac{T_{jM}(P_1, \dots, P_i + \delta P_i, \dots, P_n) - T_{jM}(P_1, \dots, P_i, \dots, P_n)}{\delta P_i}, \quad (2.15)$$

де $\delta P_i = 0.001 P_i$ – «збурення», що надається параметру [47, 49].

2.4. Висновки за розділом

За розділом можна зробити такі висновки:

1. Визначено, що підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій шляхом застосування вогнезахисного покриття із ніздрюватих бетонів є обгрунтованим із врахуванням їх теплофізичних характеристик.

2. Запроектовані та виготовлені дослідні зразки фрагментів будівельних систем з сталевих конструкцій з вогнезахисним покриттям із:

- високотемпературного в'язучого матеріалу марки ТИ-1К-А;
- плитки з газобетону марки D 400 та D 500 товщиною 40 мм;
- плитки з пінобетону марки D 800 товщиною 20, 40, 60 мм.

3. Розроблена «Методика експериментальних випробувань з визначення вогнезахисної здатності покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовуються для вогнезахисту будівельних конструкцій» полягає у випробуванні фрагменту ненесучої будівельної системи на основі сталевій пластини захищеної шаром вогнезахисного покриття з ніздрюватого бетону із попередньо встановленими конструктивними показниками щодо міцності, густини та товщини. Критерієм виміру є визначення проміжку часу від початку температурного впливу за стандартним (параметричним) температурним режимом до моменту досягнення дослідним зразком граничного стану за ознакою втрати теплоізолювальної здатності.

4. З метою забезпечення можливості виділення параметрів часу збереження вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття мають бути проведені окремі випробування вогнезахисної здатності в'язучого елемента, що застосовується для кріплення вогнезахисного покриття на металеву опору та самої сталевій конструкції (пластини).

5. Для теоретичного розрахунку теплофізичних характеристик експериментальних фрагментів будівельних систем з пасивним вогнезахистом

визначений метод розв'язання обернених задач теплопровідності та математична модель розрахунку прогріву сталевих пластин з вогнезахисним покриттям.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Загальні основи та результати експериментальних досліджень

Основою використаної «Методики експериментальних випробувань з визначення вогнезахисної здатності покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовуються для вогнезахисту будівельних конструкцій» є існуюча методологія визначення показника граничного стану за ознакою втрати теплоізолювальної спроможності [16] та поняття характеристик вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів для несучих будівельних конструкцій [38]. При цьому критерієм настання ознаки втрати теплоізолювальної спроможності визначено не «перевищення середньої температури на необігрівальній поверхні зразка над початковою середньою температурою цієї поверхні на 140 °С або перевищення температури в довільній точці необігрівальної поверхні зразка над початковою температурою в цій точці на 180 °С» [36], а досягнення необігрівальною поверхнею ненесучої будівельної системи значення критичної температури її основи.

Таким чином, поняття визначення вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття, відповідно до методики, слід розуміти як: встановлення проміжку часу від початку дії температурного впливу за стандартним (або альтернативним) температурним режимом [36] на сталеву пластину захищену пасивним вогнезахисним покриттям (облицюванням із піно-газобетонних плиток) до підвищення її температури понад критичне значення [32] від початкового.

Методикою передбачається фіксація зовнішнього стану вогнезахисного покриття з метою встановлення допустимих термічних ушкоджень поверхні або стиків його частин, за яких покриття зберігає теплоізолювальну спроможність, тобто середня температура необігрівної сторони зразка не перевищує встановленого умовами випробування критичного значення.

Експериментальні дослідження проводились:

- випробування дослідних зразків типу Г-1, Г-2, П-1, П-2, П-4, К, М у вертикальному положенні за стандартним температурним режимом на випробувальній пічці Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (атестована відповідно ГОСТ 24555-81);

- випробування дослідних зразків типу, П-3 у горизонтальному положенні за розрахованим температурним режимом реальної пожежі на універсальній вогневій камері для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлів їх стикових з'єднань Національного університету «Львівська політехніка» [63].

У процесі досліджень визначали час збереження вогнезахисної здатності фрагментів будівельної конструктивної системи та окремих її частин, що складалась з сталевих пластин захищених різними (за конструктивними чинниками: густина, товщина) шарами вогнезахисного покриттям з газобетонних та пінобетонних плиток та вогнетривкого клейового матеріалу.

Основним критерієм, відповідно до Методики, вогнезахисної здатності дослідного зразка є досягнення встановленої критичної температури на необігрітій поверхні випробувального зразка. Величина контрольованої критичної температури ($T_{кр}$) нагріву зразків складала [33]:

$$T_{кр} = T_0 + 482 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де T_0 – початкова температура (визначається окремо при проведенні кожного випробування).

Вимоги, які висуваються до вогнезахисних покриттів, як і умови їх експлуатації можуть бути різними. Тому вибір вогнезахисного покриття для кожного випадку повинен проводитись окремо в залежності від характеру агресивного середовища і природи матеріалу, який захищається.

3.1.1. Фрагменти вогнезахисного покриття типу Г-1

Експериментальні випробування [95] з визначення часу збереження вогнезахисної здатності для зразків типу Г-1 проводились за температури повітря 18°C та атмосферному тиску 738 мм рт.ст.

Значення контрольованої критичної температури ($T_{кр}$) нагріву на

необігрівній стороні сталевій пластині, при проведенні експериментальних випробувань становило:

$$T_{кр} = T_0 + 482 = 18 + 482 = 500 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $T_0 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ – початкова температура.

На рис. 3.1 та 3.2 представлено результати експериментальних випробувань з визначення часу збереження вогнезахисної здатності двох зразків (Г-1.1, Г-1.2) газобетонних плиток марки D400 товщиною 40 мм.

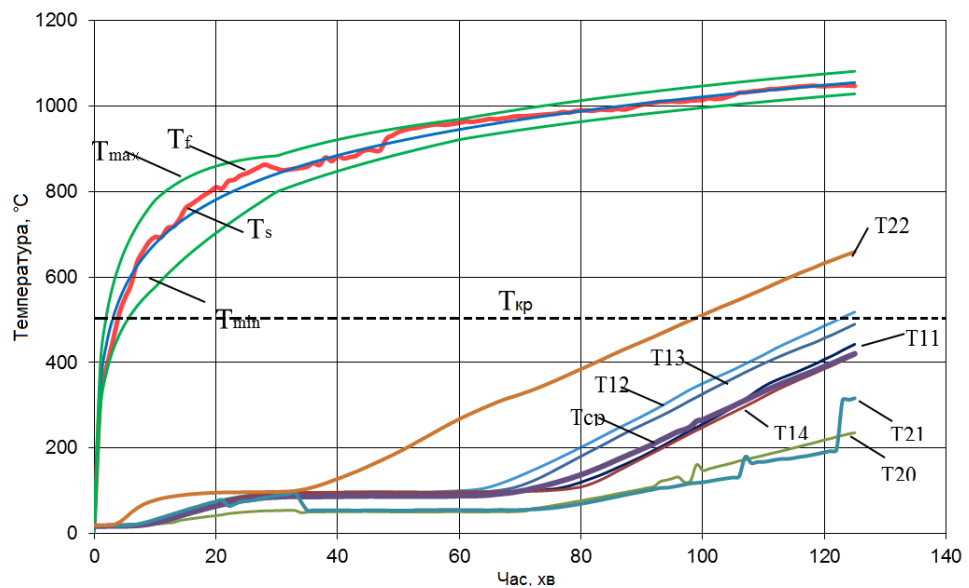


Рисунок 3.1- Результати випробування зразка Г-1.1

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталевій пластині; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T11-T14, T20-T21 – термопари на зразках; $T_{ср}$ – середнє значення для T11-T14, T20, T21; T22 – термопара на глибині 20мм від поверхні газоблоку

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що гранична температура нагріву сталевій пластині для зразка Г-1.1 досягнута на 123 хв (термопара T12). Відповідно час збереження вогнезахисної здатності газобетонних плиток марки D400 товщиною 40 мм становить не менше 123 хв. Граничний стан для газобетону на глибині 20 мм (термопара T22), досягнуто на 99 хв експерименту.

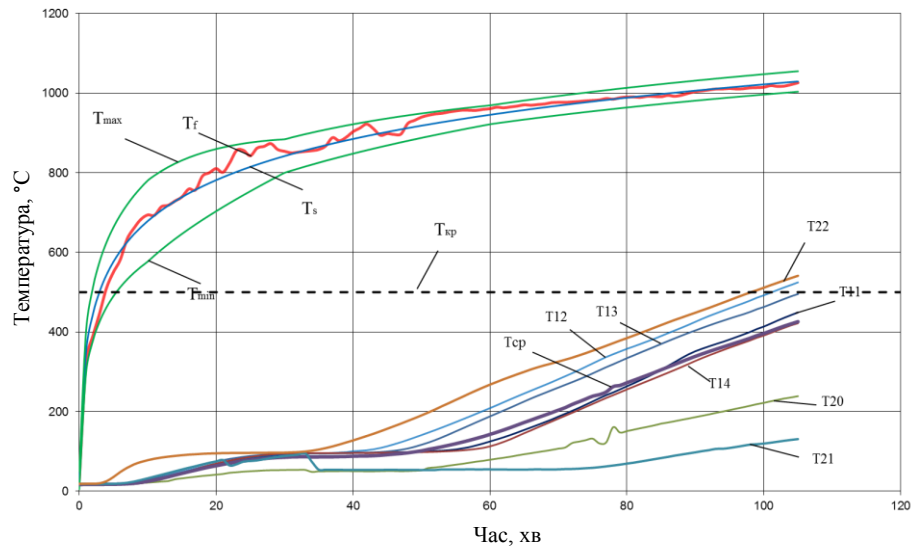


Рисунок 3.2 - Результати випробування зразка Г-1.2

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталеві пластини; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{11} - T_{14} , T_{20} - T_{22} – термопари на зразках; $T_{ср}$ – середнє значення для T_{11} - T_{14} , T_{20} - T_{22} .

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що гранична температура нагріву сталеві пластини зразком Г-1.2 досягнута на 109 хв (термопара T_{22}). Відповідно час збереження вогнезахисної здатності газобетонних плиток марки D400 товщиною 40 мм становить не менше 109 хв.

В таблиці 3.1 представлені усередненні результати проведених випробувань газобетонних плиток з автоклавного газобетону марки D400 зразків Г-1.1 та Г-1.2. Усереднені значення визначались, як середнє арифметичне значення показів термопар двох ідентичних зразків за формулою:

$$T_{ус} = \frac{T_{ус1} + T_{ус2}}{2}, \quad (3.1)$$

де, $T_{ус1}$ - усереднене значення показів термопар першого зразка;

$T_{ус2}$ - усереднене значення показів термопар другого зразка.

Таблиця 3.1

t, хв	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$T_{ус}$, °C	20	22	25	50	70	77	84	91	98	99	105	115	147

$t, \text{хв}$	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
$T_{yc}, \text{°C}$	168	203	243	274	300	350	368	402	420	468	487	526	

На рисунку 3.3 наведений графік зведених результатів проведених випробувань газобетонних плиток з автоклавного газобетону марки D400 зразків Г-1.1 та Г-1.2.

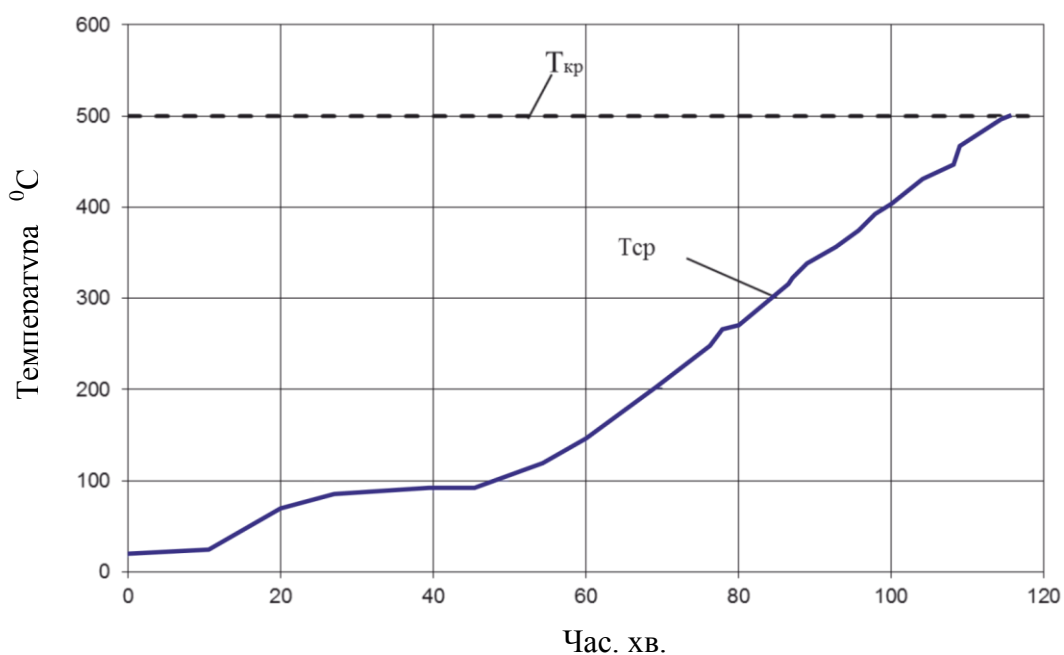


Рисунок 3.3 - Графік зведених результатів проведених випробувань газобетону марки D400

У результаті випробування за стандартним температурним режимом, газобетонні плити марки D400 отримали пошкодження. Найгірший стан яких представлений на рис. 3.4 та 3.5



Рисунок 3.4 - Фото візуального стану газобетонної плитки марки D400 після проведення випробування

Випробувальний зразок має наскрізні тріщини та відшарування від металевої пластини.



Рисунок 3.5 - Фото візуального стану газобетонної плитки марки D400

Проаналізувавши стан дослідних зразків можна зробити висновок, що стикові з'єднання частин вогнезахисного покриття не ушкодженні, втрата теплоізолювальної спроможності сталася у наслідок руйнування частини

поверхні покриття.

За показниками термопари T11 для зразка Г-1.1 та T22 для зразка Г-1.2 час збереження вогнезахисної здатності склав 123 хв та 109 хв відповідно. Середнє температурне значення, за якого зразки конструктивної системи з вогнезахисним покриттям з газобетону марки D400 завтовшки 40 мм досягнули критичної температури, склало 116 хв.

Таким чином, вогнезахисна здатність газобетонних плиток марки D400 товщиною 40 мм становить 116 хв.

3.1.2. Фрагменти вогнезахисного покриття типу Г-2

Визначення вогнезахисної здатності для зразків типу Г-2 [7] проводились за температури повітря 18°C та атмосферному тиску 732 мм рт.ст.

Під час проведення експериментальних випробувань контролювалось значення критичної температури ($T_{кр}$) нагріву на необігрівній стороні сталевій пластини, яка становила для даного зразка:

$$T_{кр} = T_o + 482 = 18 + 482 = 500 \text{ }^\circ\text{C},$$

де $T_o = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ – початкова температура.

На рис. 3.6 та 3.7 наведені результати експериментальних випробувань з визначення часу збереження вогнезахисної здатності двох зразків (Г-2.1, Г-2.2) газобетонних плиток марки D500 товщиною 40 мм.

За результатами досліджень зразка Г-2.1 гранична температура нагріву необігрівної сторони сталевій пластини досягнута на 110 хв. Відповідно час збереження вогнезахисної здатності газобетонної плитки товщиною 40 мм марки D500 становить не менше 110 хв.

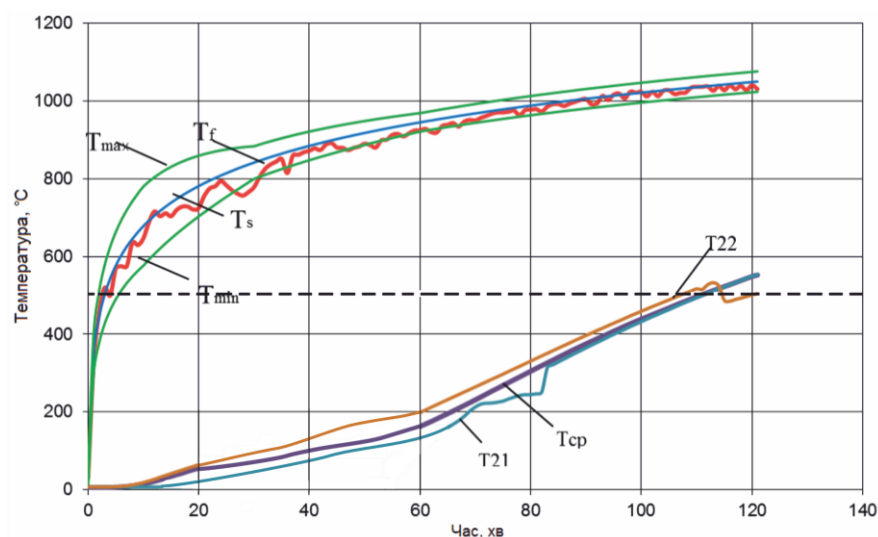


Рисунок 3.6 - Результатів випробування зразка Г-2.1

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталевієї пластини; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{21}, T_{22} – термопари на зразках; T_{cp} – середнє значення для T_{21}, T_{22} .

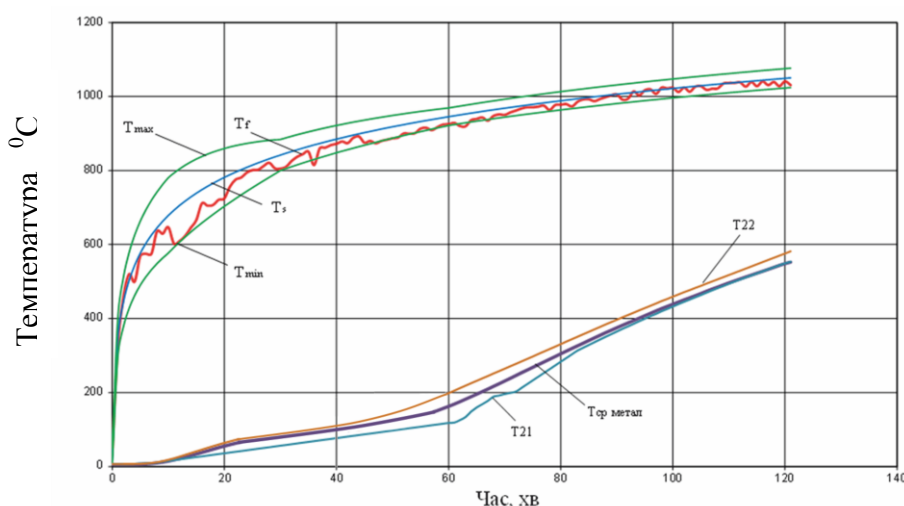


Рисунок 3.7 - Результати випробування зразка Г-2.2

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталевієї пластини; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{21}, T_{22} – термопари на зразках; T_{cp} – середнє значення для T_{21}, T_{22} .

За результатами досліджень зразка Г-2.2 гранична температура нагріву сталевієї пластини досягнута на 112 хв. Відповідно час збереження вогнезахисної здатності газобетонною плиткою товщиною 40 мм марки D500, становить не менше 112 хв.

В таблиці 3.2 представлені усередненні результати проведених

випробувань газобетонних плиток з автоклавного газобетону марки D500 зразків Г-2.1 та Г-2.2.

Таблиця 3.2

t, хв	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T _{ус} , °C	10	12	30	56	63	75	86	95	101	105	115	130	169
t, хв	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
T _{ус} , °C	200	240	281	300	317	375	410	430	467	500	517	556	560

Усереднені значення визначались за формулою (3.1).

На рисунку 3.8 наведений графік зведених результатів проведених випробувань газобетонних плиток з автоклавного газобетону марки D500 зразків Г-2.1 та Г-2.2, середня температура яких склала 111 °C.

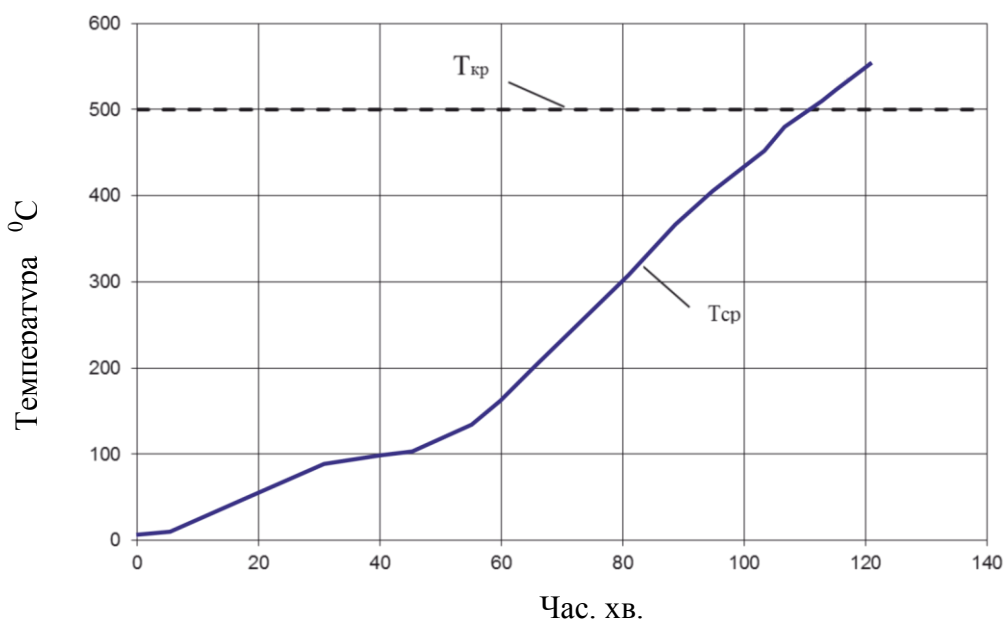


Рисунок 3.8 - Зведений графік результатів проведених випробувань газобетону марки D500

У результаті випробування за стандартним температурним режимом газобетонні плити марки D500 отримали наскрізні тріщини. Фото зразків після

випробувань представлено на рис. 3.9 та 3.10



Рисунок 3.9 - Фото візуального стану газобетонної плитки марки D500 після проведення випробування

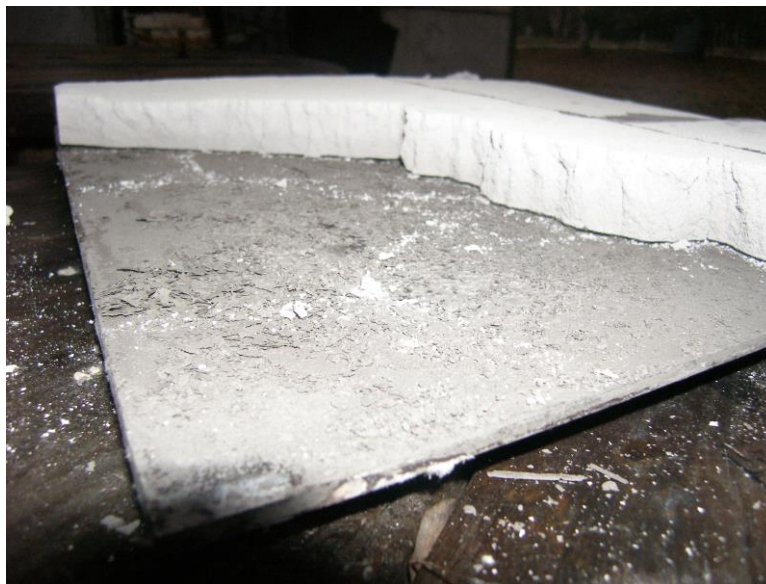


Рисунок 3.10 - Фото візуального стану газобетонної плитки марки D500

Проаналізувавши стан дослідних зразків можна зробити висновок, що стикові з'єднання частин вогнезахисного покриття не ушкодженні, втрата

теплоізолювальної спроможності сталася у наслідок руйнування частини поверхні покриття.

За показниками термопари T22 для зразків Г-2.1 та Г-2.2 час збереження вогнезахисної здатності склав 112 хв та 110 хв відповідно. Середнє температурне значення, за якого зразки конструктивної системи з вогнезахисним покриттям з газобетону марки D500 завтовшки 40 мм досягнули критичної температури, склало 111 хв.

Таким чином, вогнезахисна здатність газобетонних плиток марки D500 товщиною 40 мм становить 111 хв.

3.1.3. Фрагменти вогнезахисного покриття типу П-1

Визначення вогнезахисної здатності для зразків марки П-1 проводились за температури повітря 20°C та атмосферному тиску 736 мм рт.ст.

Під час проведення експериментальних випробувань контролювалось значення критичної температури ($T_{кр}$) нагріву на необігрівній стороні сталеві пластини, яка становила для даного зразка:

$$T_{кр} = T_0 + 482 = 20 + 482 = 502 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $T_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ – початкова температура.

На рис. 3.11 та 3.12 результати експериментальних випробувань часу збереження вогнезахисної здатності двох зразків (П-1.1, П-1.2) з захистом із пінобетонних плиток марки D800 товщиною 40 мм.

За результатами досліджень зразка П-1.1 гранична температура нагріву сталеві пластини досягнута на 126 хв. Відповідно час збереження вогнезахисної здатності пінобетонної плитки товщиною 40 мм марки D800, становить не менше 126 хв.

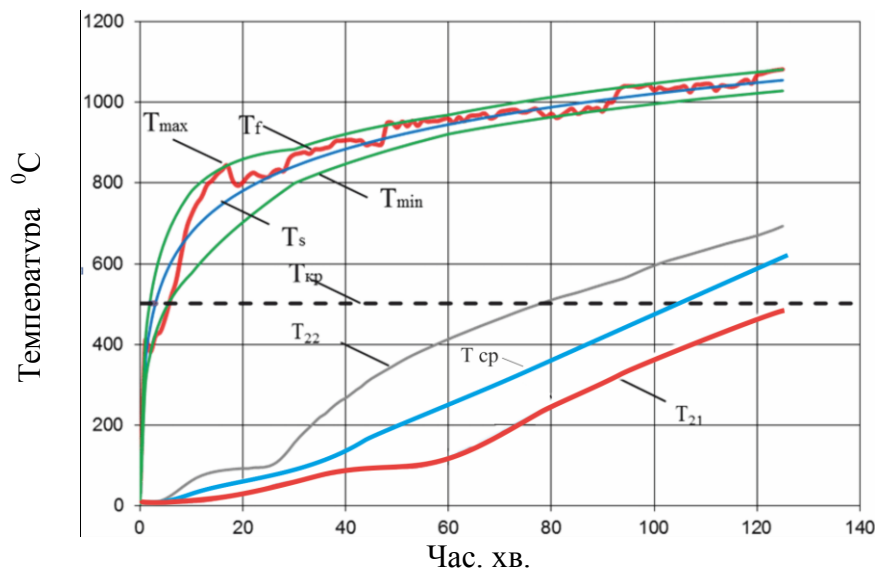


Рисунок 3.11 - Результати випробування зразка П-1.1

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталеві пластини; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{21}, T_{22} – термопари на зразках; $T_{ср}$ – середнє значення для T_{21}, T_{22} .

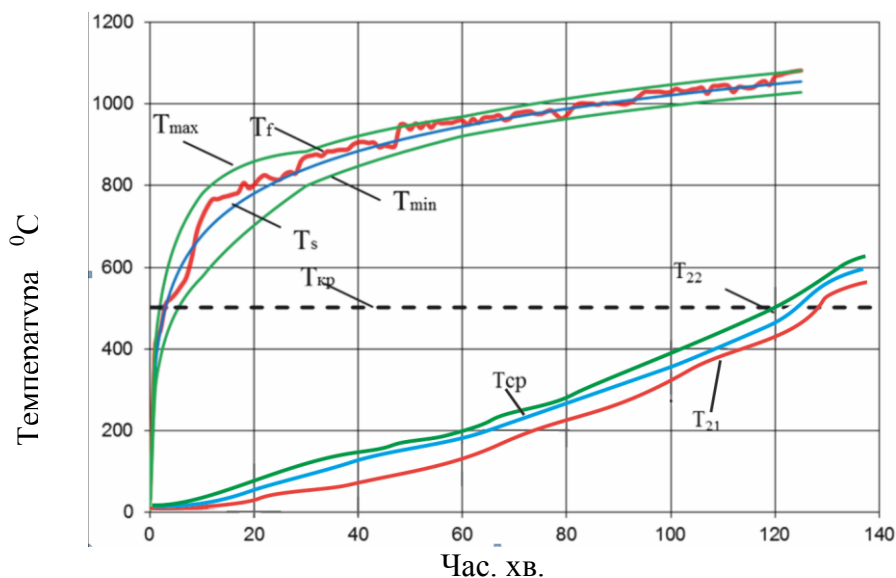


Рисунок 3.12 - Результати випробування зразка П-1.2

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталеві пластини; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{21}, T_{22} – термопари на зразках; $T_{ср}$ – середнє значення для T_{21}, T_{22} .

За результатами досліджень зразка П-1.2 гранична температура нагріву сталеві пластини досягнута на 128 хв. Відповідно час збереження вогнезахисної здатності пінобетонної плитки товщиною 40 мм марки D800,

становить не менее 128 хв.

В таблиці 3.3 представлені усередненні результати проведених випробувань пінобетонних плиток з автоклавного газобетону марки D800 зразків П-1.1 та П-1.2.

Таблиця 3.3

t, хв	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
T _{ус} , °С	8	7	10	21	28	63	78	81	92	97	99	107	118	148
t, хв	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
T _{ус} , °С	194	210	253	284	302	346	367	401	417	442	476	492	515	

На рисунку 3.13 наведений графік зведених результатів проведених випробувань пінобетонних плиток з автоклавного пінобетону марки D800 зразків П-1.1 та П-1.2. Середній час збереження вогнезахисної здатності склав 127 хв.

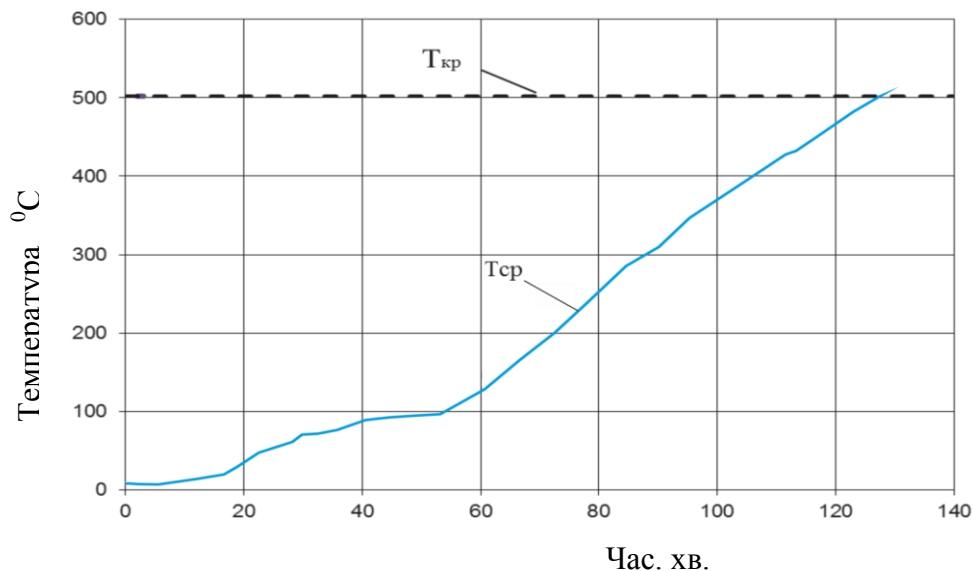


Рисунок 3.13 - Графік зведених результатів проведених випробувань пінобетону марки D800

При огляді зразків встановлено наявність наскрізних тріщин, пошкодження стиків між частинами покриття відсутні. Найгірший зразків стан після випробування представлений на рис. 3.14 та 3.15



Рисунок 3.14 - Фото візуального стану пінобетонної плитки марки D800 після проведення випробування

Крім того, візуально проглядається часткове відшарування захисного шару від сталеві пластини.



Рисунок 3.15 - Фото візуального стану пінобетонної плитки марки D800 після проведення випробування

За показниками термодари T21 для зразку П-1.1 та термодари T22 для зразку П-1.2 час збереження вогнезахисної здатності склав 126 хв та 128 хв

відповідно. Середнє температурне значення, за якого зразки конструктивної системи з вогнезахисним покриттям з пінобетону марки D800 завтовшки 40 мм досягнули критичної температури, склало 127 хв.

Таким чином, вогнезахисна здатність пінобетонної плити марки D800 товщиною 40 мм становить 127 хв.

3.1.4. Фрагменти вогнезахисного покриття типу П-2

Експериментальні випробування з визначення вогнезахисної здатності зразків П-2 проводились за температури повітря 15°C та атмосферному тиску 740 мм рт.ст.

Значення контрольованої критичної температури ($T_{кр}$) нагріву на необігрівній стороні сталеві пластини, при проведенні експериментальних випробувань становило:

$$T_{кр} = T_0 + 482 = 15 + 482 = 497 \text{ }^\circ\text{C},$$

де $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ – початкова температура.

На рис. 3.16 та 3.17 представлено результати експериментальних випробувань з визначення часу збереження вогнезахисної здатності двох зразків (П-2.1, П-2.2) з захистом із пінобетонних плиток марки D800 автоклавного виробництва товщиною 20 мм.

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що гранична температура нагріву зразка П-2.1 досягнута на 68 хв. Відповідно час збереження вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття із пінобетонної плитки марки D800 товщиною 20 мм становить 68 хв.

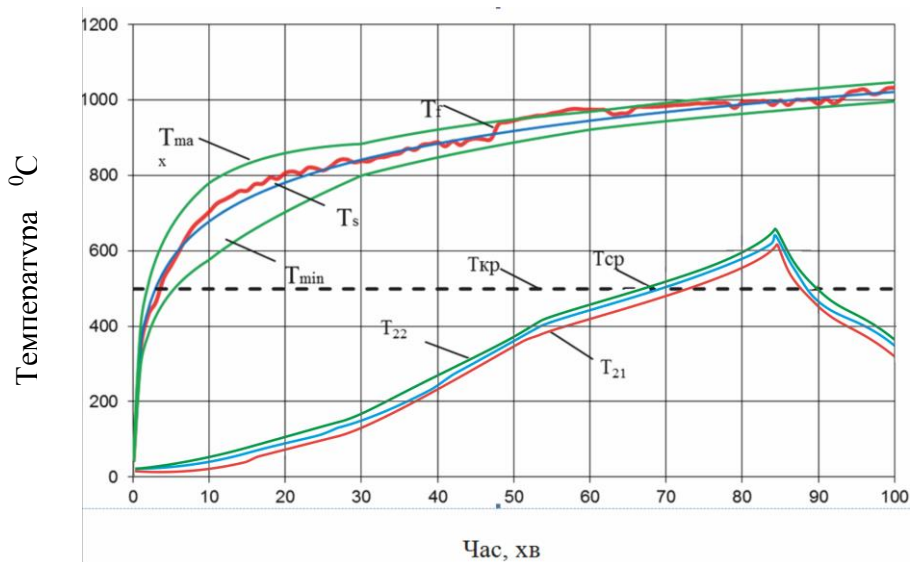


Рисунок 3.16 - Результати випробування зразка П-2.1

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталевій пластини; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{21} – T_{22} – термопари на зразках; T_{cp} – середнє значення для T_{21} , T_{22} .

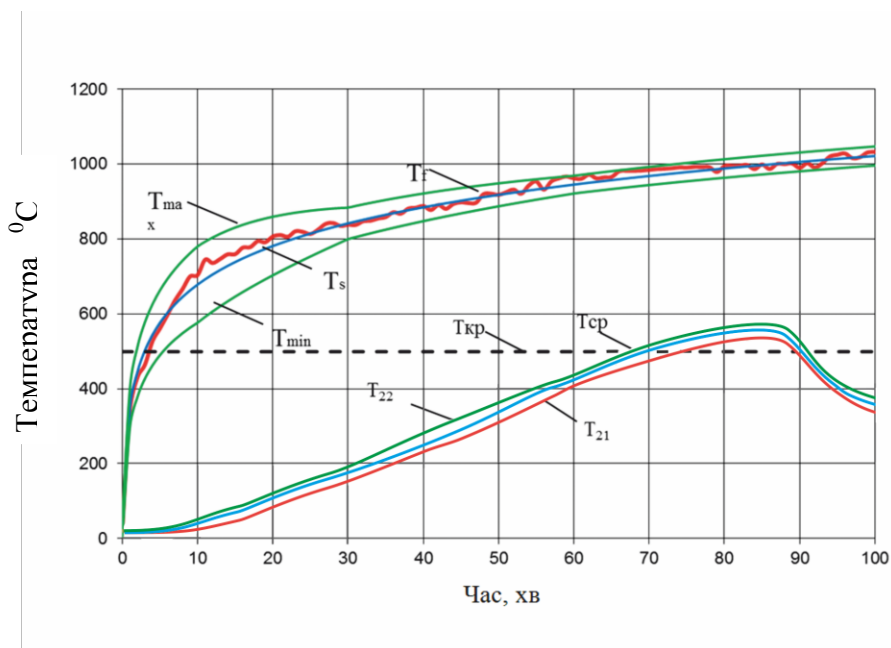


Рисунок 3.17 - Результати випробування зразка П-2.2

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталевій пластини; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{21} , T_{22} – термопари на зразках; T_{cp} – середнє значення для T_{21} , T_{22} .

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що гранична температура нагріву необігрівної сторони сталевій

пластини зразком П-2.2 досягнута на 72 хв. Відповідно час збереження вогнезахисної здатності пінобетонною плиткою марки D800 товщиною 20 мм становить 72 хв.

В таблиці 3.4 представлені усередненні результати проведених випробувань газобетонних плиток з автоклавного газобетону марки D800 зразків П-2.1 та П-2.2, які визначались за формулою (3.1).

Таблиця 3.4

t , хв	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
T_{yc} , °C	16	18	52	75	99	115	76	216	258	307	367
t , хв	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
T_{yc} , °C	409	431	495	508	543	563	576	481	400	378	

На рисунку 3.18 наведений графік зведених результатів проведених випробувань зразків П-2.1 та П-2.2 з захистом із пінобетонних плиток марки D800 автоклавного виробництва товщиною 20 мм. Середній час досягнення зразками граничної температури склав 70 хв.

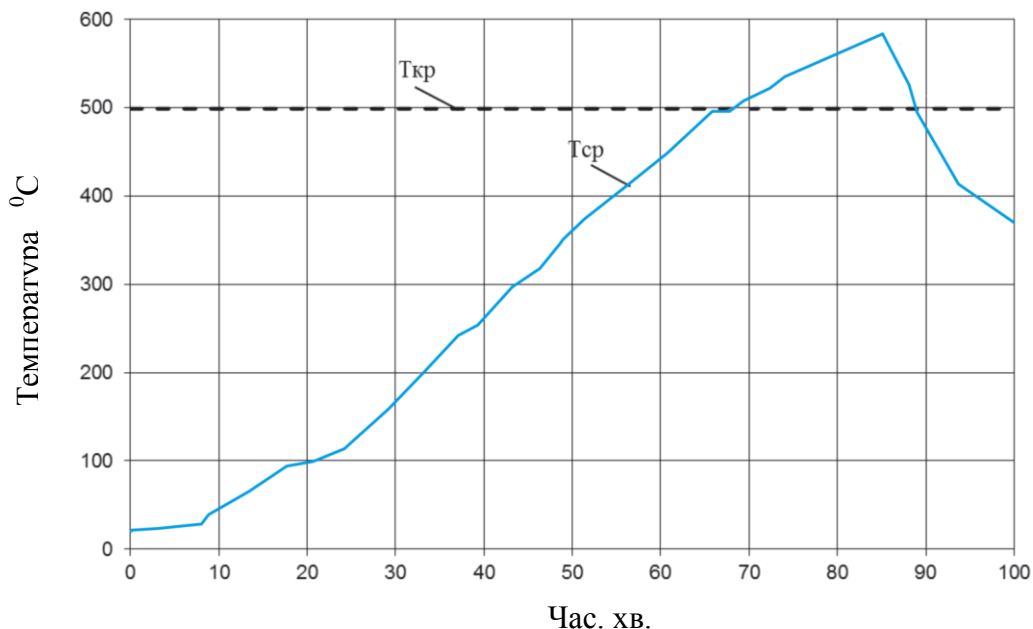


Рисунок 3.18 - Графік зведених результатів проведених випробувань газобетону марки D800

У результаті випробування пінобетонні плити марки D800 товщиною 20 мм зруйновані повністю. Відповідно графіків випробувань можливо

стверджувати, що відшарування вогнезахисного покриття по всій площині сталевій пластині відбулося на 86 хв., тобто через 16 хв. після досягнення зразками критичної температури. Стан зразків до випробувань представлений на рис. 3.19.



Рисунок 3.19 - Фото візуального стану газобетонної плитки марки D800 до проведення випробування

На рис. 3.20 представлено залишки зруйнованого вогнезахисного покриття у пічці.



Рисунок 3.20 - Фото візуального стану пінобетонної плитки марки D800 після випробування

За показниками термопар T22 для зразків П-2.1 та П-2.2 час збереження вогнезахисної здатності склав 68 хв та 72 хв відповідно. Середнє температурне значення, за якого зразки конструктивної системи з вогнезахисним покриттям

з пінобетону марки D800 завтовшки 20 мм досягнули критичної температури, склало 70 хв.

Таким чином, вогнезахисна здатність пінобетонних плиток марки D800 товщиною 20 мм становить 70 хв.

3.1.5. Фрагменти вогнезахисного покриття типу П-3

Випробування дослідних зразків типу П-3 проводились у горизонтальному положенні за розрахованим температурним режимом реальної пожежі на універсальній вогневій камері для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлів їх стикових з'єднань.

Експериментальні випробування з визначення вогнезахисної здатності зразків марки П-3 проводились за температури повітря 17°C та атмосферному тиску 733 мм рт.ст.

Значення контрольованої критичної температури ($T_{кр}$) нагріву на необігрівній стороні сталеві пластини, при проведенні експериментальних випробувань становило:

$$T_{кр} = T_0 + 482 = 17 + 482 = 499 \text{ }^\circ\text{C},$$

де $T_0 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ – початкова температура.

На рис. 3.21 та 3.22 представлено результати експериментальних випробувань з визначення часу збереження вогнезахисної здатності двох зразків (П-3.1, П-3.2) з захистом із пінобетонних плиток марки D800 автоклавного виробництва товщиною 40 мм.

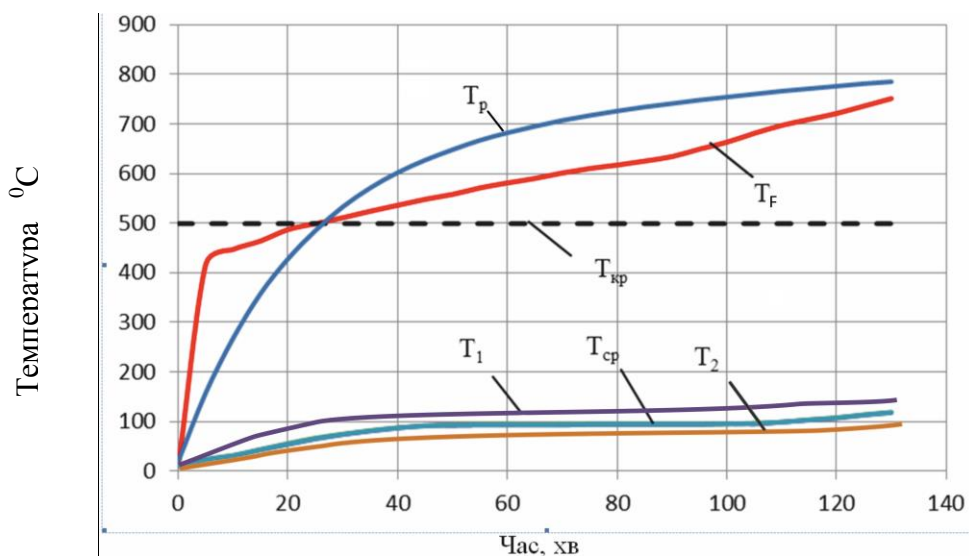


Рисунок 3.21 - Результати випробування зразка П-3.1

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталевій пластини; T_F – температура печі; T_p – параметрична температурна крива; T_1 , T_2 – термопари на зразках; $T_{ср}$ – середнє значення для T_1 , T_2 .

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що гранична температура нагріву дослідним зразком П-3.1 на 135 хвилині не досягнута.

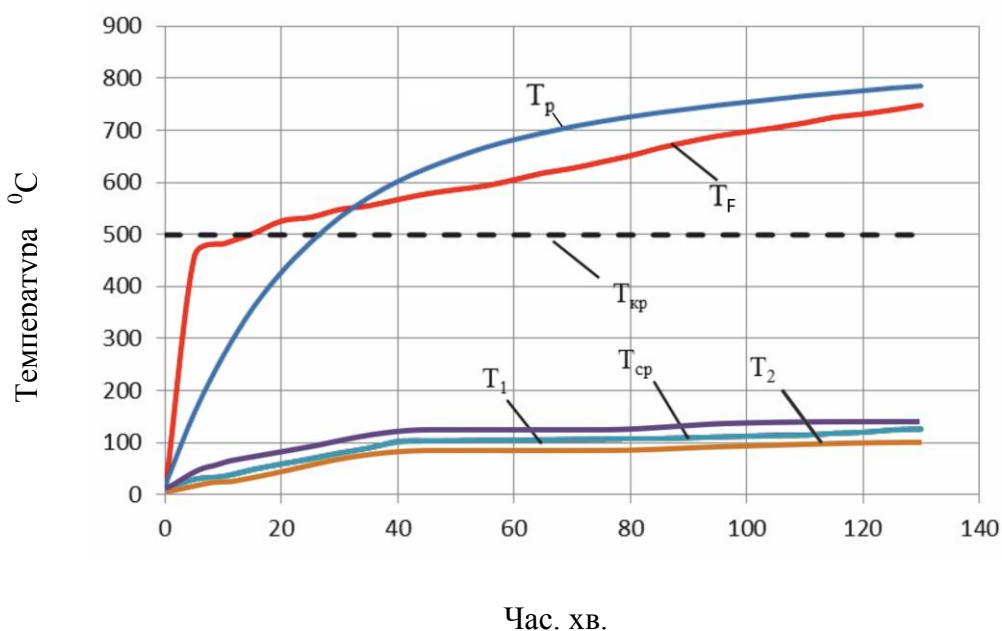


Рисунок 3.22 - Результати випробування зразка П-2.2

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталевій пластини; T_F – температура печі; T_s – параметрична температурна крива; T_1 , T_2 – термопари на зразках; $T_{ср}$ – середнє значення для T_1 , T_2 .

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, можна

стверджувати, що гранична температура нагріву необігрівної сторони сталевій пластини зразком П-3.2 на 139 хв не досягнута. Відповідно час збереження вогнезахисної здатності пінобетонною плиткою марки D800 товщиною 40 мм становить не менше, як 139 хв.

В таблиці 3.5 представлені усередненні результати проведених випробувань газобетонних плиток з автоклавного газобетону марки D800 зразків П-3.1 та П-3.2.

Таблиця 3.5

t , хв	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
T_{yc} , °C	8	15	27	54	62	67	78	79	89	94	92	94	97	98
t , хв	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
T_{yc} , °C	98	97	98	96	97	97	99	99	101	103	108	114	116	

На рисунку 3.23 наведений графік зведених результатів проведених випробувань зразків П-3.1 та П-3.2 з захистом із пінобетонних плиток марки D800 автоклавного виробництва.

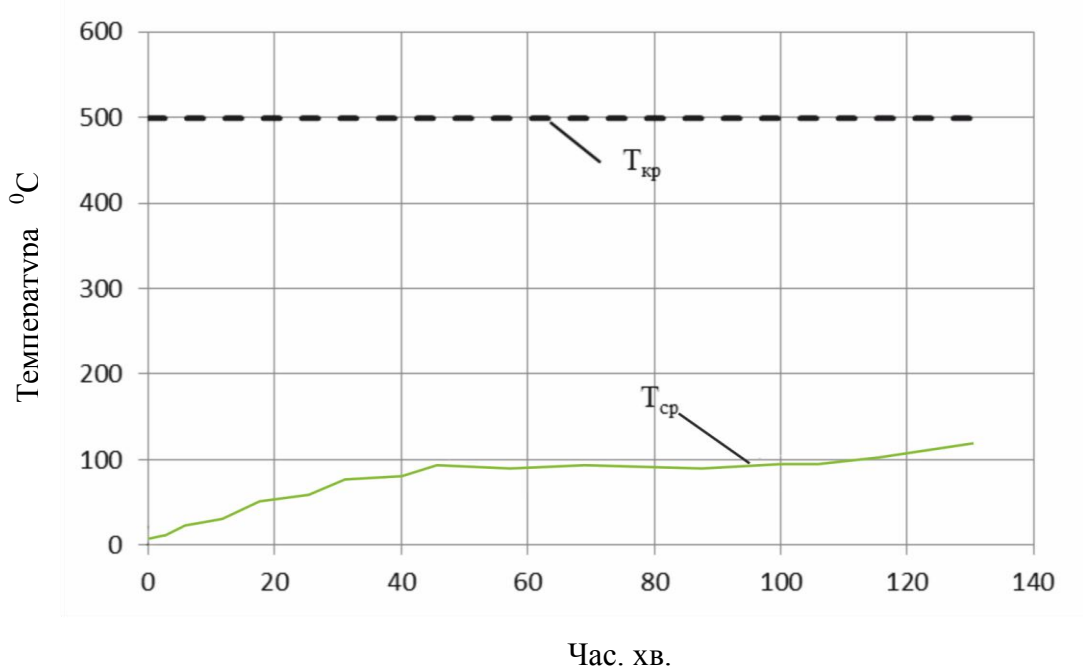


Рисунок 3.23 - Графік зведених результатів проведених випробувань газобетону марки D800

У результаті випробування пінобетонні плити марки D800 пошкодження фактично не отримали. Стан зразків до і після випробувань представлені на

рис. 3.24 та 3.25



Рисунок 3.24 - Фото візуального стану газобетонної плити марки D800 до проведення випробування

Після охолодження печі, зразок було демонтовано і проведено його візуальний огляд.



Рисунок 3.25 - Фото візуального стану пінобетонної плити марки D800 після випробування

Випробувальний зразок має окремі «павутинні» тріщини.

Таким чином, зразками конструктивної системи з вогнезахисним покриттям з пінобетону автоклавного виробництва D800 завтовшки 40 мм не досягнуто критичної температури, вогнезахисна здатності становить не менше 137 хв.

3.1.6. Фрагменти вогнезахисного покриття типу П-4

Експериментальні випробування з визначення вогнезахисної здатності зразків П-4 проводились за температури повітря 17°C та атмосферному тиску 734 мм рт.ст.

Значення контрольованої критичної температури ($T_{кр}$) нагріву на необігрівній стороні сталеві пластини, при проведенні експериментальних випробувань становило:

$$T_{кр} = T_0 + 482 = 17 + 482 = 499 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $T_0 = 17 \text{ } ^\circ\text{C}$ – початкова температура.

На рис. 3.26 та 3.27 представлено результати експериментальних випробувань з визначення часу збереження вогнезахисної здатності двох зразків з захистом із пінобетонних плиток марки D800 автоклавного виробництва товщиною 60 м.

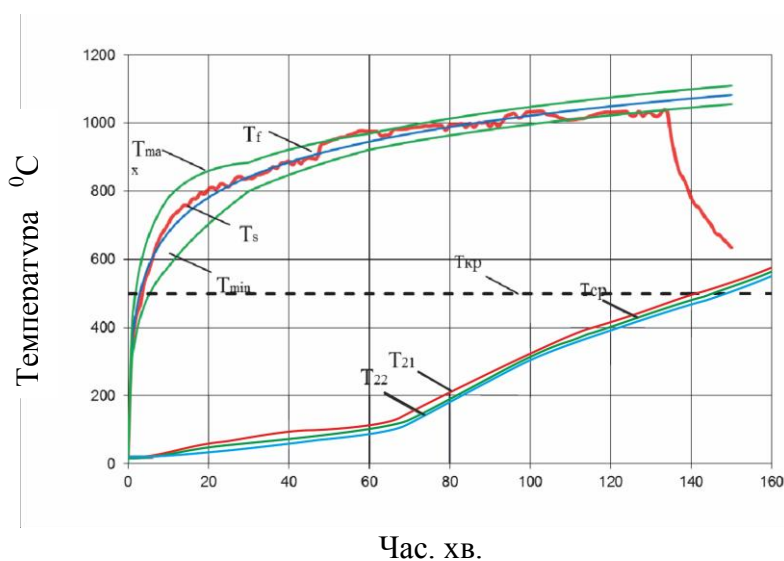


Рисунок 3.26 - Результати випробування зразка П-4.1

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталеві пластини; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{21} - T_{22} – термопарі на зразках; $T_{ср}$ – середнє значення для T_{21} , T_{22} .

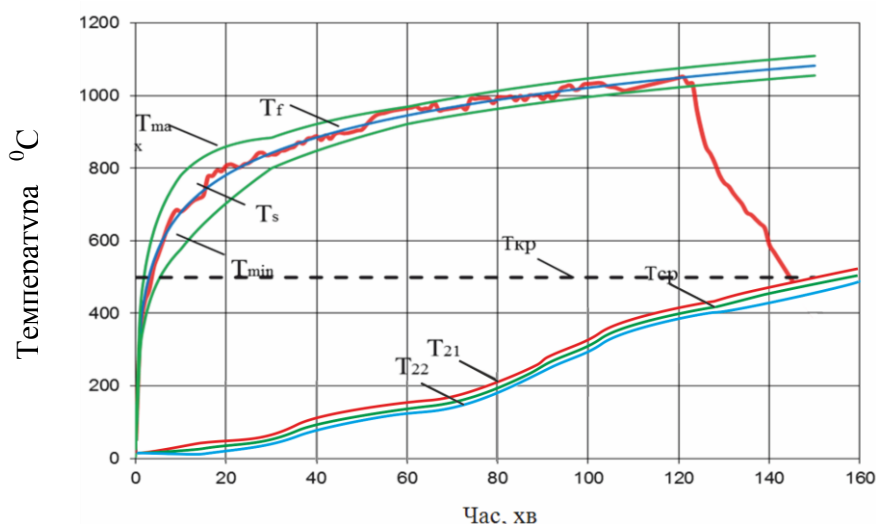


Рисунок 3.27 - Результати випробування зразка П-4.2

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталеві пластины; T_F – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{21} , T_{22} – термопари на зразках; T_{cp} – середнє значення для T_{21} , T_{22} .

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що гранична температура нагріву необігрівної сторони сталеві пластины зразком П-4.2 на 123 хв не досягнута. Відповідно час збереження вогнезахисної здатності пінобетонних плиток марки D800 товщиною 60 мм становить не менше 123 хв.

В таблиці 3.6 представлені усередненні результати проведених випробувань газобетонних плиток з автоклавного газобетону марки D800 зразків П-4.1 та П-4.2, які визначались за формулою (3.1).

Таблиця 3.6

t , хв	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T_{yc} , °C	22	23	25	24	31	35	73	81	95	103	114	121	133
t , хв	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
T_{yc} , °C	137	167	186	201	235	276	294	305	349	379	385	400	418
t , хв	130	135	140	145	150	160							
T_{yc} , °C	427	435	447	479	482	502							

На рисунку 3.28 наведений графік зведених результатів проведених

випробувань зразків П-4.1 та П-4.2 з захистом із пінобетонних плиток марки D800 автоклавного виробництва.

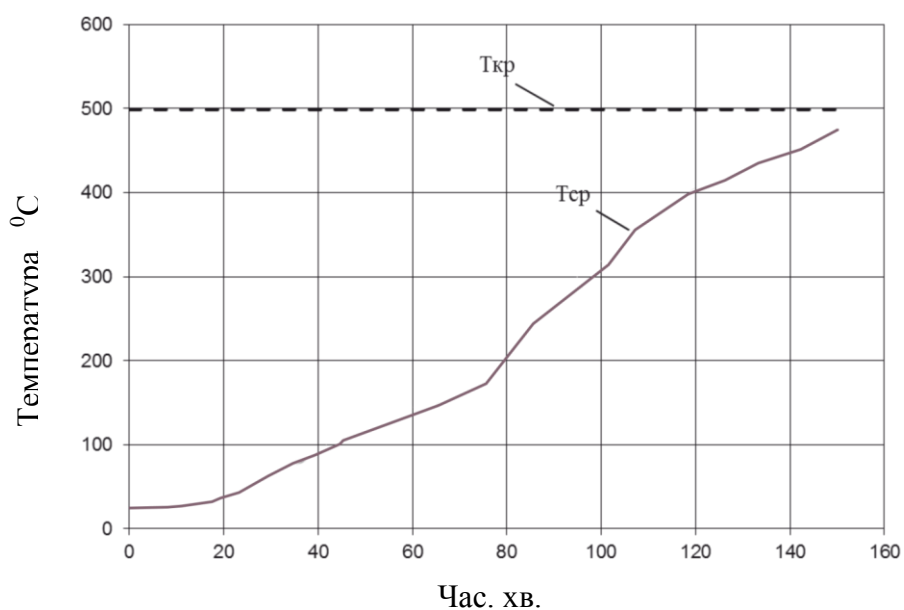


Рисунок 3.28 - Графік зведених результатів проведених випробувань газобетону марки D800

У результаті випробування пінобетонні плити марки D800 пошкодження не отримали. Стан зразків до і після випробувань представлені на рис. 3.29 та 3.30.

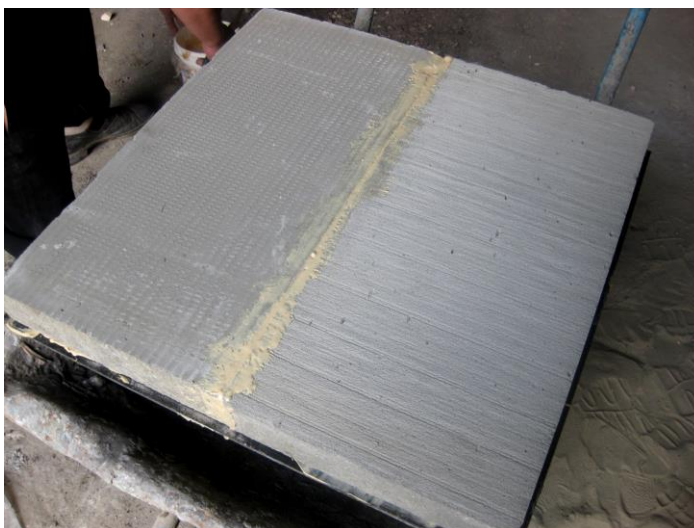


Рисунок 3.29 - Фото візуального стану газобетонної плитки марки D800 до проведення випробування

Після охолодження печі, зразок було демонтовано і проведено його візуальний огляд.



Рисунок 3.30 - Фото візуального стану пінобетонної плитки марки D800 після випробування

Випробувальний зразок не має тріщин.

Таким чином, зразком конструктивної системи з вогнезахисним покриттям з пінобетону автоклавного виробництва марки D800 завтовшки 60 мм не досягнуто критичної температури, вогнезахисна здатність становить не менше 125 хв.

3.1.7. Фрагменти вогнезахисного покриття типу К

Враховуючи температуру експлуатації високотемпературного в'язучого матеріалу (1150 °C), виникла потреба провести його ідентифікацію в якості вогнезахисного покриття. Визначення вогнезахисної здатності для зразків марки К проводились у відповідності до вимог методики представленої ДСТУ Н-П-Б [5].

Під час проведення експериментальних випробувань контролювалось

значення критичної температури ($T_{кр}$) нагріву сталеві пластини, яка становила для даного зразка:

$$T_{кр} = T_0 + 482 = 18 + 482 = 500 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $T_0 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ – початкова температура.

На рис. 3.31, 3.32 представлено результати експериментальних випробувань вогнезахисної здатності в'язучого матеріалу (клеєвої суміші) товщиною 1 мм та 2 мм.

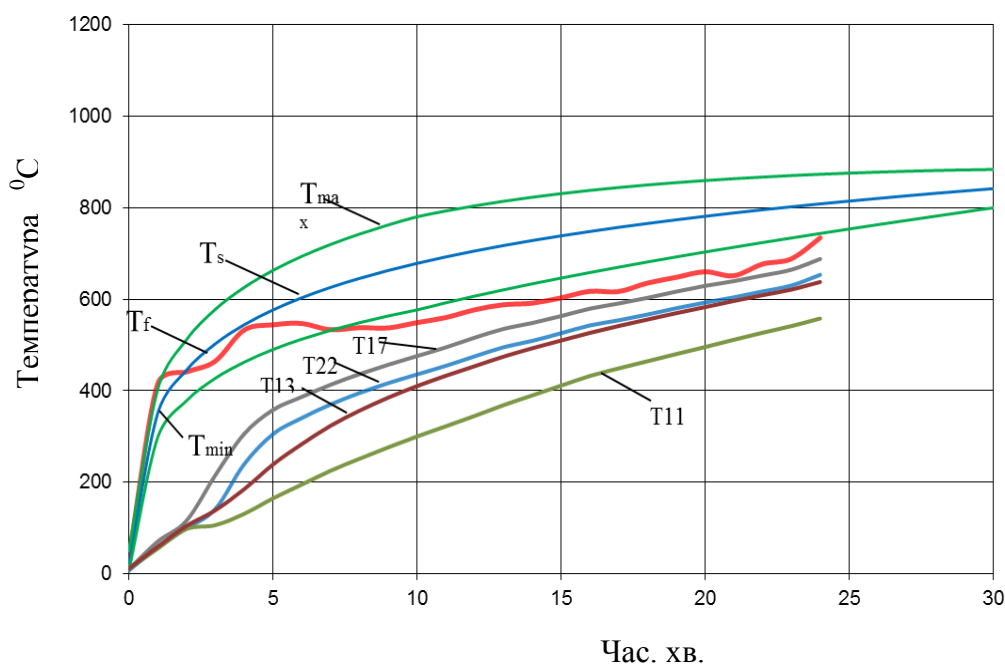


Рисунок 3.31 - Результати випробування зразка К-1

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталеві пластини; T_f – температура печі; T_s – стандартна температурна крива; T_{min} – мінімальне значення T_s ; T_{max} – максимальне значення T_s ; T_{11} , T_{13} – термопари на необігрівній поверхні; T_{22} , T_{17} – термопари в клею товщиною 1 мм;

Критична температура на не обігрівній стороні сталеві пластини з захисним шаром клеєної суміші шаром 1 мм досягнута: термопарою T_{13} на 10 хв., а термопарою T_{11} на 15 хв. середня температура складає 12 хв.

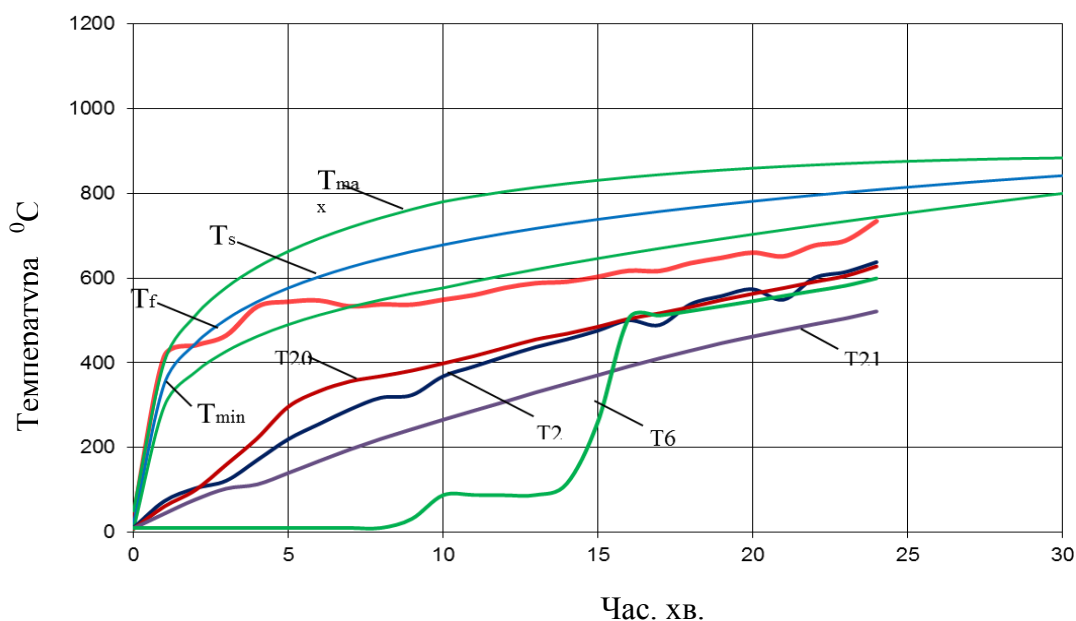


Рисунок 3.32 - Результати випробування зразка К-2

$T_{кр}$ – критична температура граничного стану для сталевієї пластини; T_F - температура печі; T_s - стандартна температурна крива; T_{min} - мінімальне значення T_s ; T_{max} - максимальне значення T_s ; T_{20}, T_2 - термопари в клею товщиною 2 мм.; T_6, T_{21} - термопари на необігрітій поверхні.

Критична температура на не обігрітій стороні сталевієї пластини з захисним шаром клеєної суміші шаром 2 мм досягнута: термопарою T_6 на 15 хв., а термопарою T_{21} на 17 хв. середня температура складає 16 хв.

Середній час досягнення критичної температури зразками складає близько 14 хв. Враховуючи незначний час збереження вогнезахисної здатності високотемпературного в'язучого матеріалу (клею), який склав для зразка товщиною 1 мм близько 12 хв, а товщиною 2 мм близько 16 хв, можна зробити висновок, що основна функція забезпечення вогнезахисної здатності ним не виконується.

3.1.8. Випробування металевієї пластини типу М

Основою фрагментів будівельних систем, що підлягали випробуванням, є сталеві пластина марки СтЗпн товщиною 5 мм. Для підтвердження

результатів випробувань щодо високотемпературного в'язучого матеріалу (клеючої складової випробувальних зразків) і розуміння реальної поведінки сталеві пластина та її впливу на результати експериментальних досліджень при дії стандартного температурного режиму проведено її вогневе випробування з застосуванням описаної вище методики. Результати наведені на рис. 3.33.

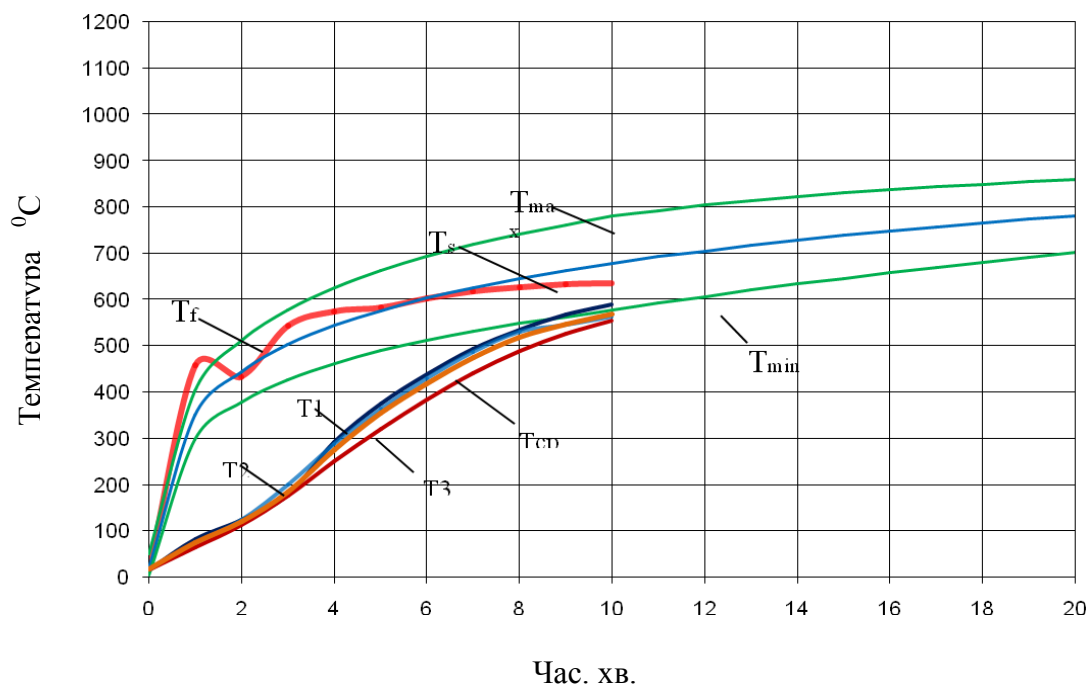


Рисунок 3.33 - Результати випробування зразку типу М

За результатами дослідження встановлено, що необігрівана поверхня сталеві пластина товщиною 5 мм досягнула критичної температури 482°C на 7 хв випробування (термопара Т1).

3.2. Висновки за розділом

У даному розділі, з метою визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів, виконано експериментальні досліджень часу збереження вогнезахисної здатності дослідних зразків типу Г-1, Г-2, П-1, П-2, П-3, П-4, К та М.

1. Результати випробування зразків типу Г-2, П-1, П-2, П-4 можуть бути

використані для подальших математичних розрахунків теплофізичних характеристик ніздрюватих бетонів та проведення порівняльних аналізів.

2. Відносно випробувань дослідних зразків типу Г-1 (газобетон густиною 400кг/м^3 та товщиною 40мм) слід зазначити наступне. В експериментальних даних Г-1.1 має місце значне неспівпадіння з результатами інших випробувань, а саме: показник часу збереження вогнезахисної здатності підвищений та складає 123 хв. Крім того, експериментальні дані випробувань Г-1.2 (109 хв.) близькі по значенням до випробувань зразків типу Г-2.1 та Г-2.2 (110 хв. та 112 хв. відповідно). Відхилення можливо пояснити підвищенням вмістом води у зразку Г-1.1, що викликано порушенням технології його підготовки до випробувань. Загалом для означених зразків (Г-1.1, Г-1.2) сумнівність результатів також можливо пояснити не відповідністю заявленим характеристикам дослідного матеріалу у сертифікатах виробника. Наявність таких даних ставить під сумнів достовірність результатів, однак остаточний висновок можливо зробити після проведення математичного розрахунку теплофізичних характеристик зазначених зразків та їх порівняння з експериментальними даними.

3. Що стосується випробувань зразків марки П-3 (пінобетон густиною 800кг/м^3 та товщиною 40мм). Випробовування проводились у горизонтальному положенні дослідного зразка за умов параметричного температурного режиму наближеного до параметрів реальної пожежі. Зазначені дослідження мають виключно експериментальний характер та не можуть бути використані у подальших розрахунках. При цьому, можуть бути враховані при загальному розгляді теплофізичних характеристик та поведінки пінобетону під дією не стандартних температурних впливів.

4. Дані випробувань сталеві пластили М, як основи експериментальних будівельних систем, свідчать про недоцільність врахування її теплофізичних характеристик. Показник часу вогнезахисної здатності склав – 7 хв. Відповідно до [32] у разі показника меншого, як 15 хв. ним можна нехтувати. Тобто, при тлумаченні показників експериментальних досліджень зразків усіх

типів похибку на метал можна не враховувати.

5. Випробуваннями зразків К-1, К-2 показало, що загальний час збереження вогнезахисної здатності системою з сталеві плити та шару композиційного матеріалу товщиною 1 мм і 2мм склав 12 хв. та 15 хв., відповідно вогнезахисна здатність складає 13,5 хв. Фактично похибкою на в'язучий матеріал, як складові фрагментів експериментальних будівельних систем, можна нехтувати.

6. Провівши аналіз результатів часу збереження вогнезахисної здатності експериментальних досліджень дослідних зразків можна зробити висновки, що середні показники вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття з пінобетону та газобетону складають:

- типу **Г-1** вогнезахисна здатність газобетонних плиток марки D400 товщиною 40 мм становить **116 хв.** (Г-1.1 – 123 хв., Г-1.2 – 109 хв.);

- типу **Г-2** вогнезахисна здатність газобетонних плиток товщиною 40 мм марки D500 становить **111 хв.** (Г-1.2 – 110 хв., Г-2.2 – 112 хв.);

- типу **П-1** вогнезахисна здатність пінобетонних плиток товщиною 40 мм марки D800 становить **127 хв.** (П-1.1 – 126 хв., П-1.2 – 128 хв.);

- типу **П-2** вогнезахисна здатність пінобетонних плиток товщиною 20 мм марки D800 становить **70 хв.** (П-2.1 – 68 хв., П-2.2 – 72 хв.);

- типу **П-3** вогнезахисна здатність пінобетонних плиток товщиною 40 мм марки D800 становить не менше 132 хв.;

- типу **П-4** – вогнезахисна здатність пінобетонних плиток товщиною 60 мм марки D800 становить не менше 125 хв.

РОЗДІЛ 4. ТЕОРИТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ

4.1. Перевірка отриманих експериментальних даних з прогріву сталевих пластин з вогнезахисним покриттям з газобетону та пінобетону теоретичними методами

Проведення аналізу і перевірки отриманих експериментальних даних прогріву сталевих пластин із вогнезахисним покриттям із використанням математичного моделювання прогріву конструкцій на основі теплофізичних даних наявних в Єврокод [32, 34] має на меті підтвердження працездатності запропонованої Методики експериментальних випробувань з визначення вогнезахисної здатності покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовуються для вогнезахисту будівельних конструкцій. Основою такого підтвердження, у першу чергу, є порівняння температурних значень отриманих експериментальним шляхом з розрахунковими, які базуються на теплофізичних характеристиках газобетонів наявних в Єврокод [34]. По друге, порівняння експериментальних та теоретичних даних пінобетонів з попереднім визначення теплофізичних характеристик для пінобетону (значення яких в Єврокод відсутні) шляхом екстраполяції даних для газобетону.

В табл. 2.3. представлені основні параметри і характеристики дослідних зразків з якими проведено математичне моделювання прогріву конструкцій із застосуванням наявних даних [32, 34].

В [34] визначені узагальненні теплофізичні характеристики газобетону, що надає можливість підтвердження отриманих експериментальних даних і перевірки методики випробувань шляхом проведення розрахунків відповідно та методики теоретичного дослідження. Порівняльні показники експериментальних випробувань зразків з газобетону Г1 і Г2 (густиною 400 і 500 кг/м³) та розрахунки наведені на рис. 4.1 - 4.2.

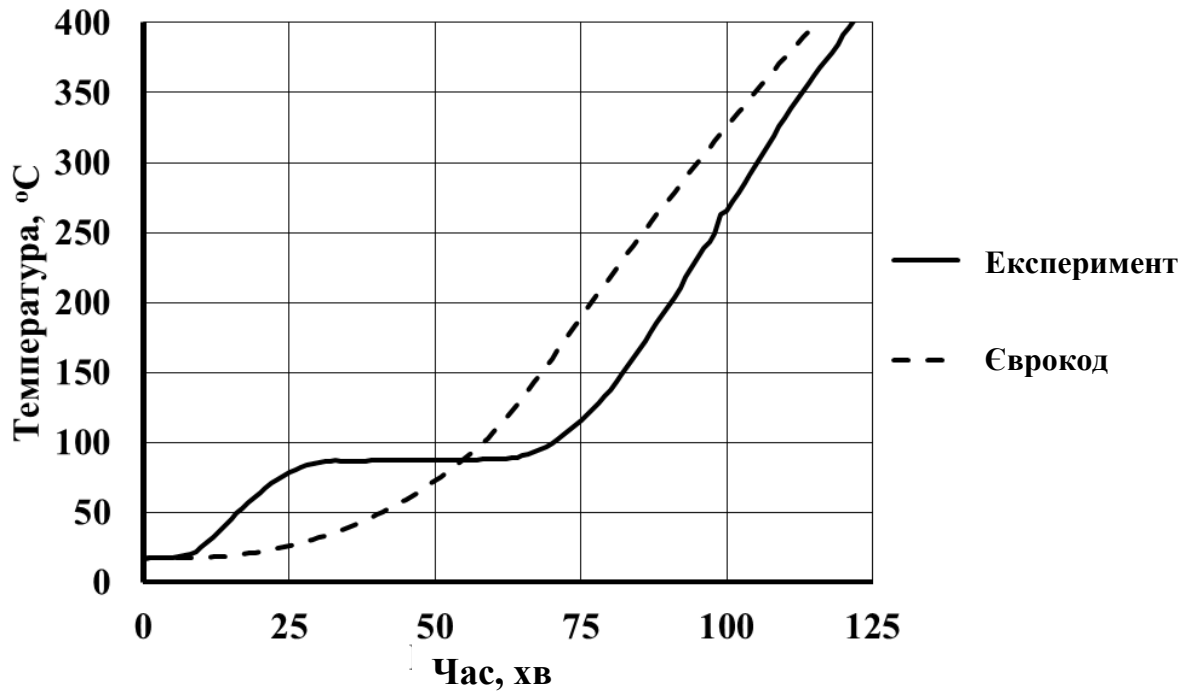


Рисунок 4.1 - Експериментальні дані для газобетону густиною $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$ товщиною 40 мм і розрахунок за даними з Єврокод (випробування 1)

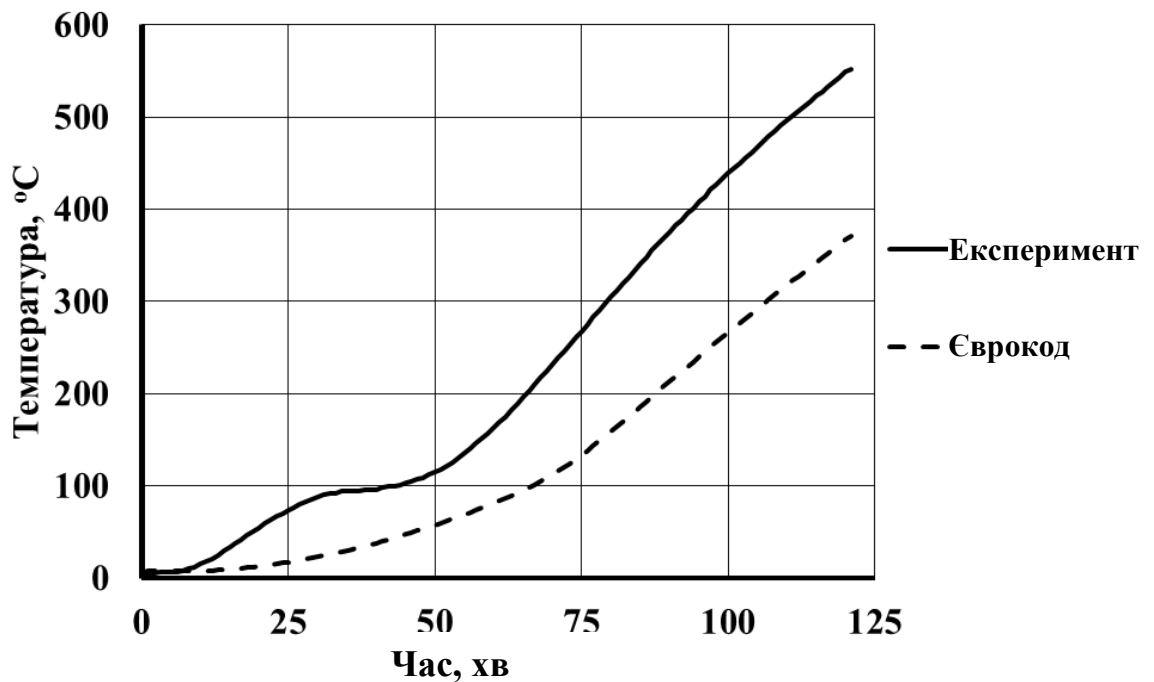


Рисунок 4.2 - Експериментальні дані для газобетону густиною $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ товщиною 40 мм і розрахунок за даними з Єврокод (випробування 2)

На зазначених рисунках мають місце залежності експериментальних значень температури поверхні сталевієї пластини і часу та залежності температури і часу, що отримані рішенням прямої задачі теплопровідності

(далі - ПЗТ) за даними теплофізичних характеристик (далі - ТФХ) газобетону, наведеним в [34].

Загальне допустиме співпадіння результатів становить від 10 % до 20 %, що дає можливість підтвердити вірність експериментальних даних та вибраних моделей випробувань і розрахунку ТФХ.

Для пінобетону ТФХ були визначені шляхом екстраполяції даних, наведених [34] для газобетону (зазначені ТФХ будуть наведені далі по тексту). При цих розрахунках проводились рішення ПЗТ для плоскої необмеженої стінки, що має чотири шари: шар газо- або пінобетону, клей, сталева пластина і теплоізоляція. На рис. 2.11, наведена геометрична схема такої стінки для зразка з газобетоном густиною $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$ і товщиною 40 мм.

Розрахункові значення властивостей матеріалів каменів з ніздрюватого бетону автоклавної обробки (ТФХ газобетону), залежних від температури (густина бруто від 400 кг/м^3 до 600 кг/м^3) наведено на рис. 1.8.,

де:

T ($^{\circ}\text{C}$) – температура, $^{\circ}\text{C}$;

λ_a – питома теплопровідність;

c_a – питома теплоємність;

ρ - густина, кг/м^3 ;

1 – відношення значення за температури T до значення за температури 20°C .

Порівняльні експериментальні залежності розрахункових даних з показниками експериментальних випробувань зразків з пінобетону П-1, П-2, П-4 (густиною 800 кг/м^3) наведені на рис. 4.3 - 4.5.

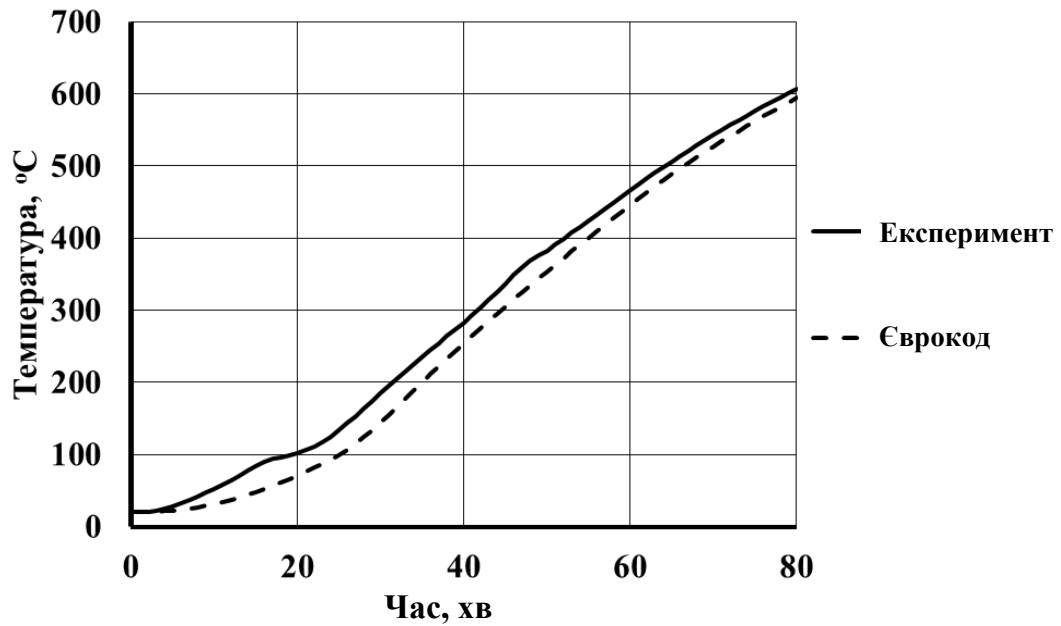


Рисунок 4.3 - Експериментальні дані для пінобетону густиною $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ товщиною 20 мм і розрахунок за даними з Єврокод [34] (випробування 4)

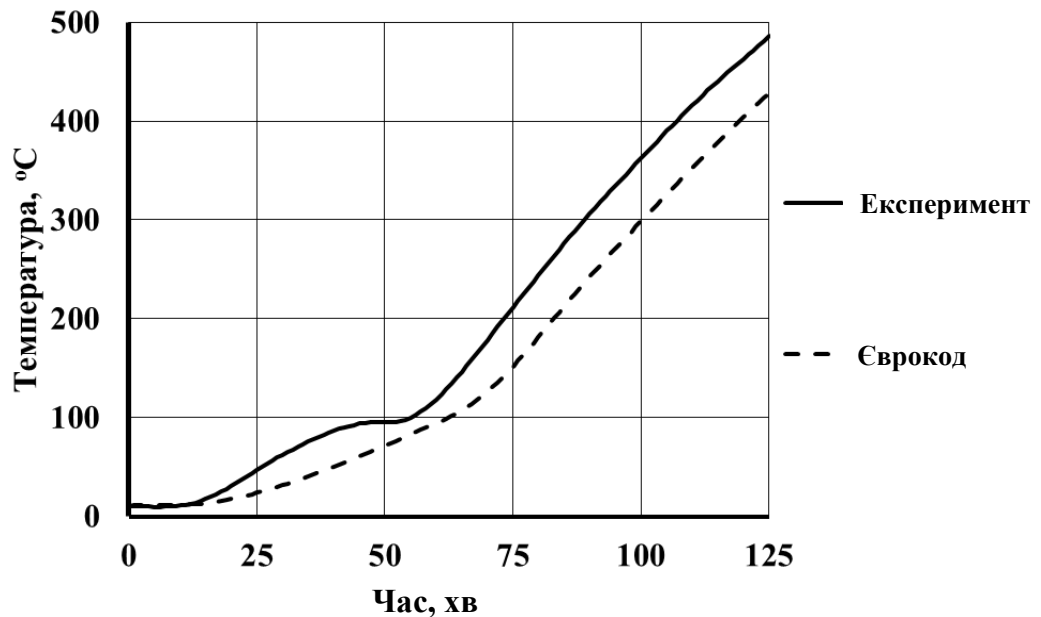


Рисунок 4.4 - Експериментальні дані для пінобетону густиною $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ товщиною 40 мм і розрахунок за даними з Єврокод [34] (випробування 3)

Загальне допустиме співпадіння результатів випробування 3 та 4 становить до 10 %, що дає можливість підтвердити вірність експериментальних даних. Результати порівнянь експериментальних та розрахункових даних випробування 6 не допустимі та потребують окремого розгляду.

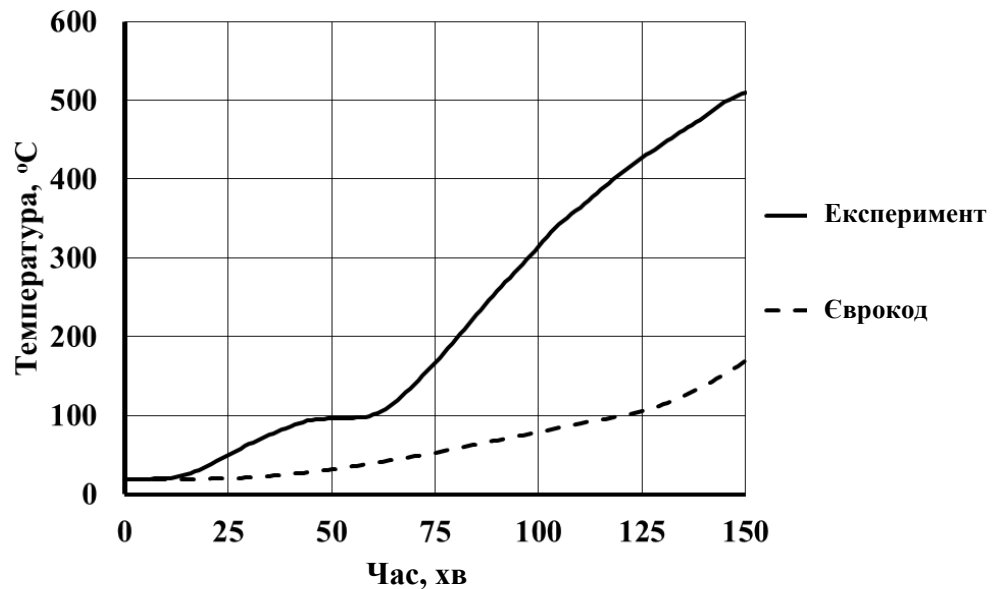


Рисунок 4.5 - Експериментальні дані для пінобетону густиною $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ товщиною 60 мм і розрахунок за даними з Єврокод (випробування 6)

У табл. 4.1, 4.2 наведені дані значень коефіцієнта теплопровідності і питомої теплоємності газобетону (густина 400 кг/м^3 , 500 кг/м^3 , 600 кг/м^3) і пінобетону (густина 800 кг/м^3), прийняті при рішеннях ПЗТ.

Таблиця 4.1

Значення коефіцієнта теплопровідності газобетону та пінобетону за визначених значень температури

T, °C	λ , Вт/(м°C)			
	$\rho = 400 \text{ кг/м}^3$	$\rho = 500 \text{ кг/м}^3$	$\rho = 600 \text{ кг/м}^3$	$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$
20	0,100	0,120	0,150	0,185
200	0,115	0,132	0,160	0,195
400	0,145	0,160	0,180	0,210
600	0,190	0,200	0,210	0,240
800	0,240	0,252	0,263	0,285
1000	0,305	0,310	0,320	0,340
1200	0,400	0,405	0,410	0,420

На рис. 4.6, 4.7 наведені відповідні залежності від температури.

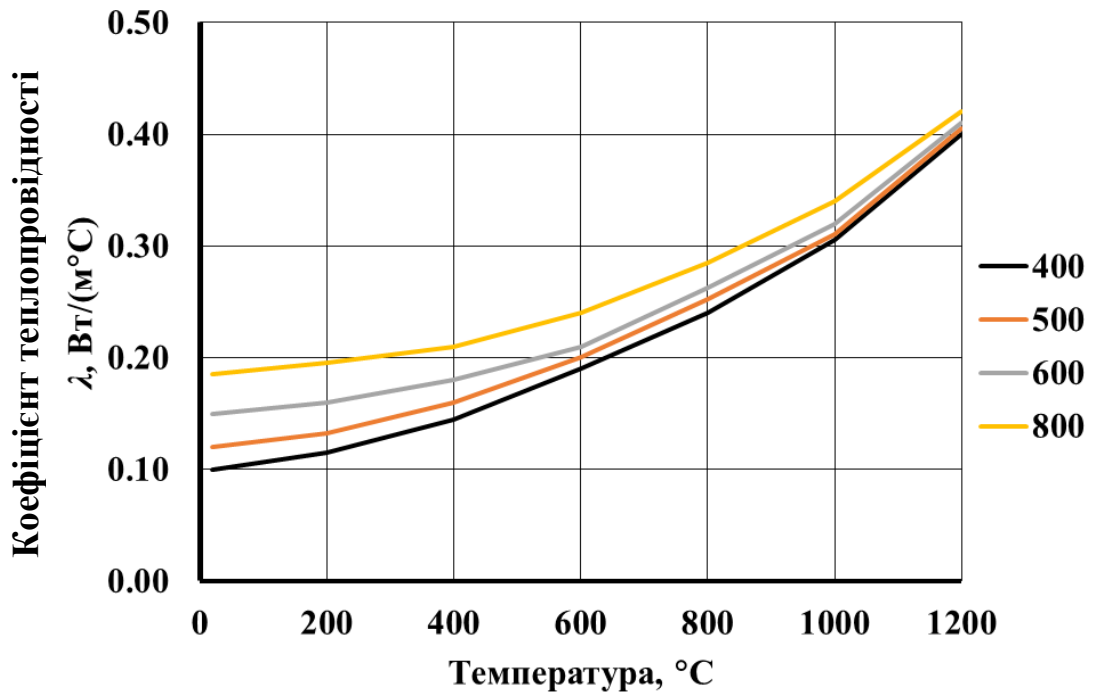


Рисунок 4.6 - Залежності коефіцієнта теплопровідності газобетону (густина 400 кг/м^3 , 500 кг/м^3 , 600 кг/м^3) і пінобетону (густина 800 кг/м^3) від температури.

Таблиця 4.2

Значення питомої теплоємності газобетону та пінобетону за визначених значень температури

T, °C	Cp, кJ/(м ³ ·°C)			
	$\rho = 400 \text{ кг/м}^3$	$\rho = 500 \text{ кг/м}^3$	$\rho = 600 \text{ кг/м}^3$	$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$
20	$4,68 \cdot 10^5$	$5,85 \cdot 10^5$	$7,02 \cdot 10^5$	$9,36 \cdot 10^5$
95	$4,68 \cdot 10^5$	$5,85 \cdot 10^5$	$7,02 \cdot 10^5$	$9,36 \cdot 10^5$
100	$4,212 \cdot 10^6$	$5,265 \cdot 10^6$	$6,32 \cdot 10^6$	$8,424 \cdot 10^6$
200	$5,616 \cdot 10^5$	$7,02 \cdot 10^5$	$8,42 \cdot 10^5$	$1,1232 \cdot 10^6$
1200	$4,68 \cdot 10^5$	$5,85 \cdot 10^5$	$7,02 \cdot 10^5$	$9,36 \cdot 10^5$

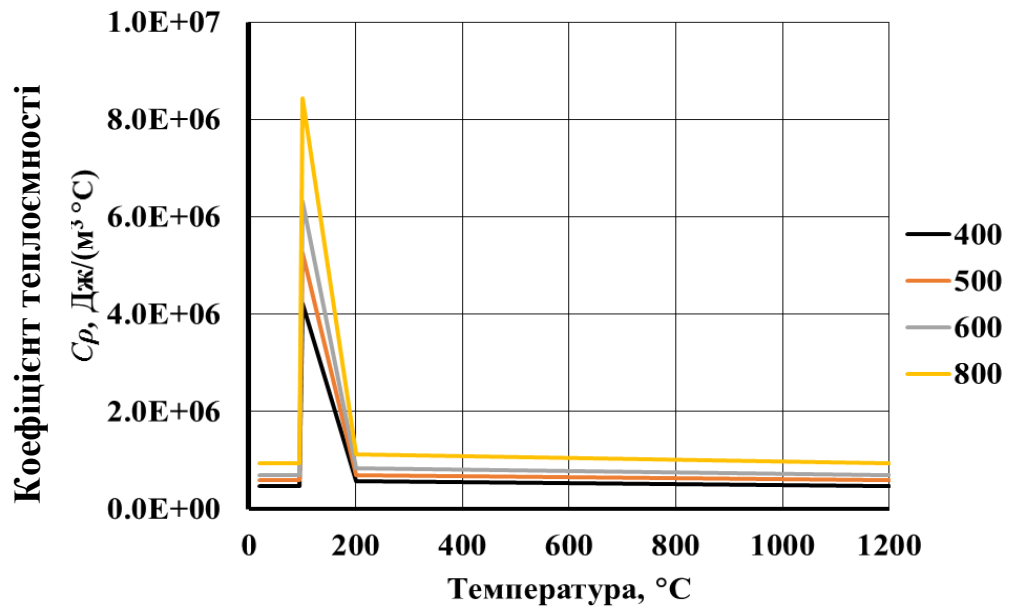


Рисунок 4.7 - Залежності питомої теплоємності газобетону (густина 400 кг/м³, 500 кг/м³, 600 кг/м³) і пінобетону (густина 800 кг/м³) від температури.

При рішеннях ПЗТ для клею задавали значення ТФХ викладені підприємством виробником [125], а саме:

$$\lambda = 0,8 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}, \text{ } c_p = 4,19 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3\text{ } ^\circ\text{C)}.$$

Теплофізичні характеристики сталі ($\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$) брали з Єврокод 3 [34], які наведені на рис. 4.8, 4.9.

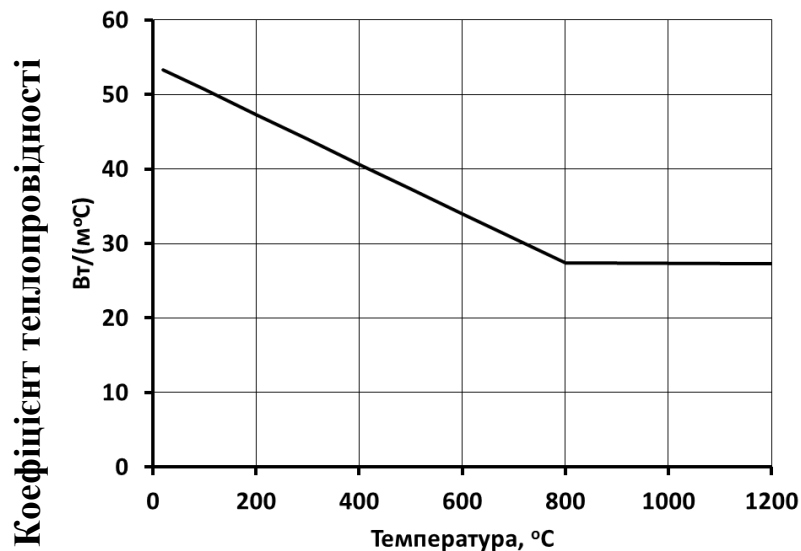


Рисунок 4.8 - Залежність коефіцієнта теплопровідності сталі від температури [32]

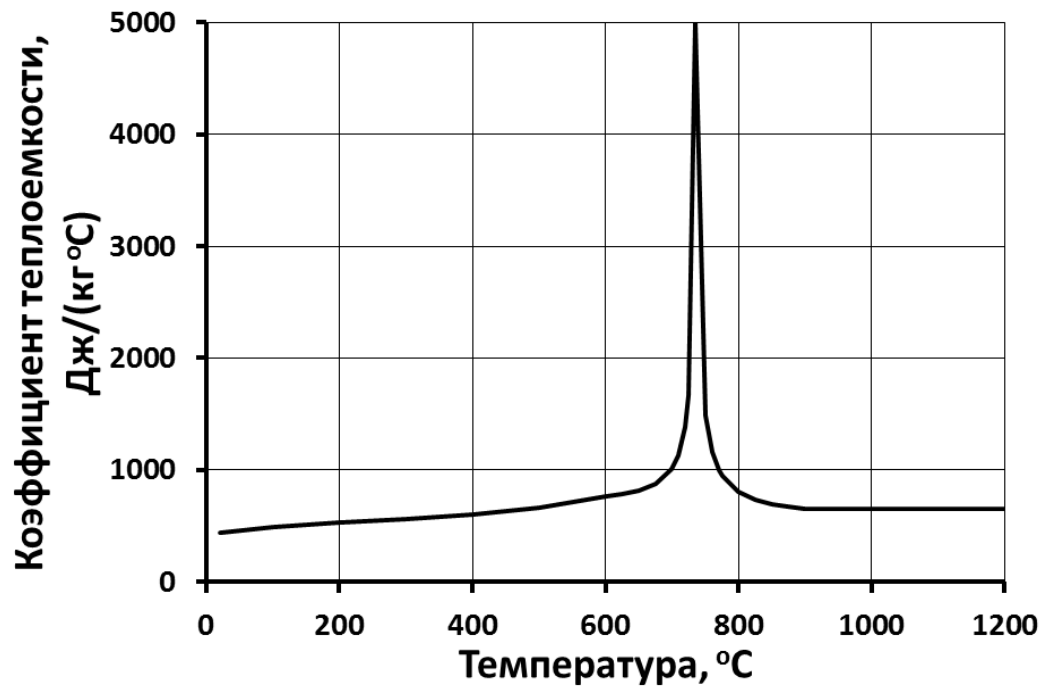


Рисунок 4.9 - Залежність питомої масової теплоємності сталі від температури [32]

Для теплоізоляції задавали такі значення ТФХ:

$$\lambda_{20} = 0,03 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C}), \lambda_{500} = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C}), \lambda_{1200} = 0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C}), C_p = 10^5 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{ }^\circ\text{C}).$$

При рішеннях ПЗТ значення коефіцієнта тепловіддачі на поверхнях стінок, що обігриваються і не обігриваються, брали з Єврокод 2 [114]. Рішення ПЗТ проводили методом кінцевих різниць за неявною схемою апроксимації.

З аналізу рис. 4.1 – 4.2 та 4.3 – 4.5 випливає наступний висновок: має місце відмінність між експериментальними і розрахунковими даними за прогрівом сталевих пластин з ВЗП із пінобетону. Значна відмінність спостерігається для зразка П-4 пінобетону товщиною 60 мм (рис. 4.6).

На рис. 4.10, 4.11 приведена залежність часу досягнення сталевую пластину температур 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C в залежності від товщини вогнезахисного покриття з пінобетону побудована за експериментальними даними та аналогічна залежність побудована за розрахунковими даними для зразків конструктивних систем П-1, П-2, П-4 (рис. 4.3 – 4.5).

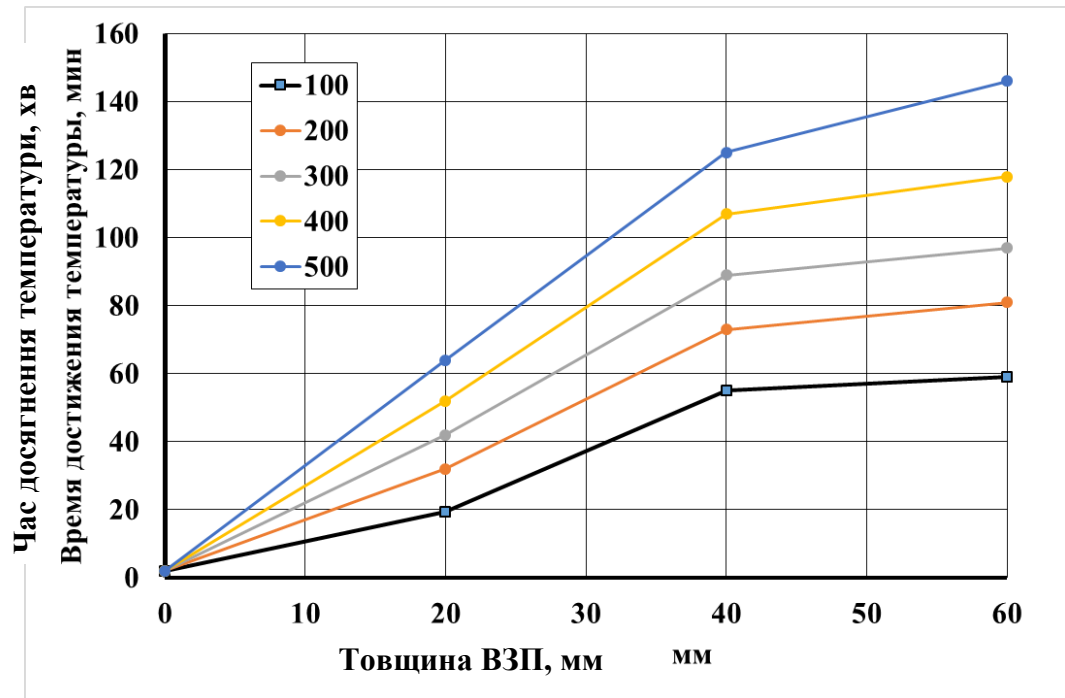


Рисунок 4.10 - Експериментальна залежність часу досягнення температур 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C від товщини ВЗП з пінобетону

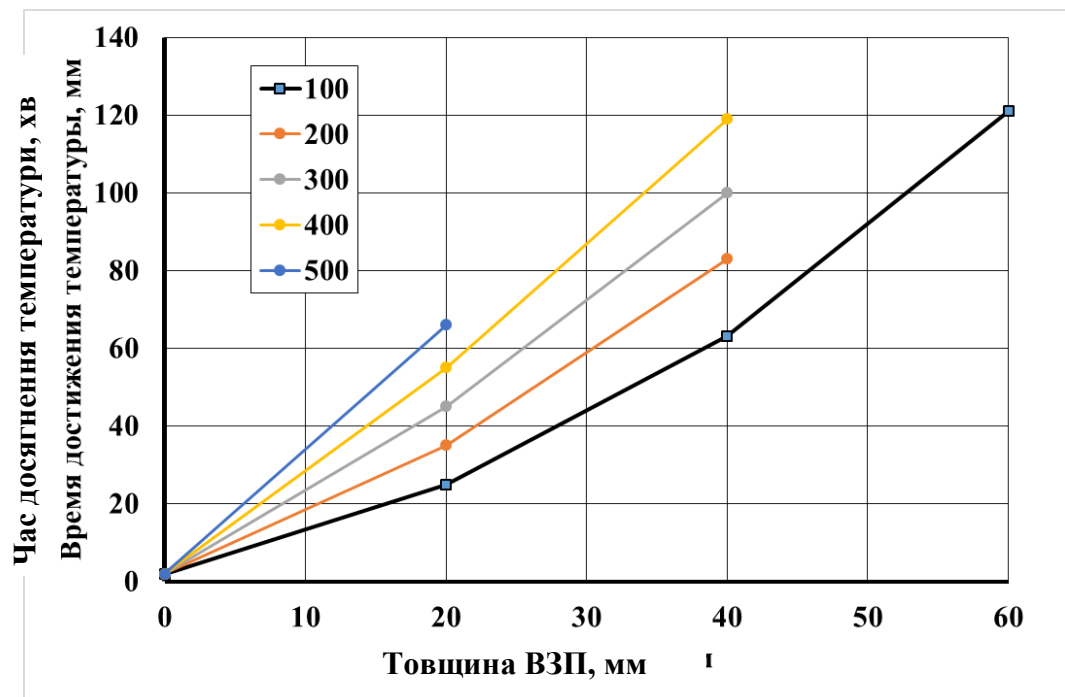


Рисунок 4.11 - Розрахункова залежність часу досягнення температур 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C від товщини ОЗП з пінобетону.

З аналізу рис. 4.11 випливає, що залежність часу досягнення від товщини ВЗП носить монотонний характер. Такий хід залежності не відповідає наведеному на рис. 4.10. Експериментальні точки, що відповідають

товщині 60 мм, випадають з такої закономірності. Тому можна вважати, що значення температур, отримані для цієї товщини, є помилковими і їх не слід враховувати в подальших розрахунках.

Відносно газобетону густиною 400кг/м^3 та 500кг/м^3 визначено таке, у експериментальних даних випробувань дослідних зразків має місце відносне співпадіння результатів. Наявність таких даних можна пояснити не відповідністю заявлених ТФХ газобетонів з обумовленими сертифікатами виробника. Зважаючи на максимальну відповідність експериментальних та розрахункових даних для газобетону густиною 500кг/м^3 представлені експериментальні дані, отримані для газобетону густиною 400кг/м^3 , недоцільно використовувати для подальших розрахунків.

Таким чином, для забезпечення прийнятної точності оцінки вогнезахисної здатності газобетону густиною 500кг/м^3 (рис. 4.2) і пінобетону густиною 800кг/м^3 (рис.4.3 і рис.4.4) слід провести ідентифікацію їх ТФХ шляхом розв'язання обернених задач теплопровідності (далі - ОЗТ) за наявними експериментальними даними.

Проведений аналіз та перевірка отриманих експериментальних даних за прогрівом сталевих пластин з вогнезахисним покриттям з газобетону і пінобетону з використанням математичного моделювання прогріву пластин і наявних даних в Єврокод 6 [34] показав, що випробування зразків типу Г-1, П-1, П-2 (табл.4.1) можуть бути використані для ідентифікації теплофізичних характеристик вогнезахисних покриттів. Для забезпечення прийнятної точності оцінки вогнезахисної здатності газобетону і пінобетону слід проводити ідентифікацію їх теплофізичних характеристик шляхом розв'язання обернених задач теплопровідності за наявними експериментальними даними випробувань:

- зразка Г-2, газобетон марки D500, товщиною 40 мм, густиною 500кг/м^3 (рис. 4.2, випробування 1, табл.4.1),

- зразків П-1 і П-2, пінобетон марки D800, товщиною 20 і 40 мм, густиною 800кг/м^3 (рис. 4.3, 4.4, випробування 3, 4, табл.4.1).

4.2. Ідентифікація теплофізичних характеристик газобетону і пінобетону за експериментальними даними з прогріву сталевих пластин з вогнезахисним покриттям

На рис. 4.12, 4.13 наведено залежності від температури коефіцієнта теплопровідності газобетону густиною 500кг/м^3 та пінобетону густиною 800кг/м^3 , отримані рішенням ОЗТ. На цих рисунках пунктирною лінією показані залежності, наведені в Єврокодi 6 [34]. Для цих рішень ОЗТ залежності питомої об'ємної теплоємності ідентичні тим, які наведені на рис. 4.7.

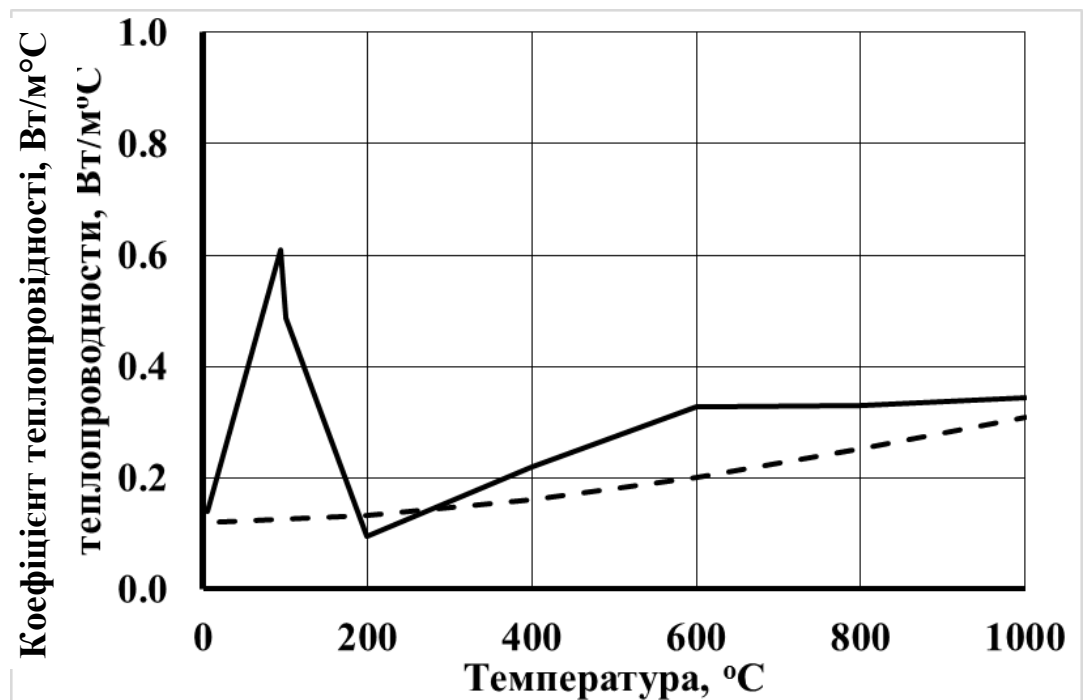


Рисунок 4.12 - Залежність коефіцієнта теплопровідності газобетону густиною 500кг/м^3 від температури, що отримана рішенням ОЗТ

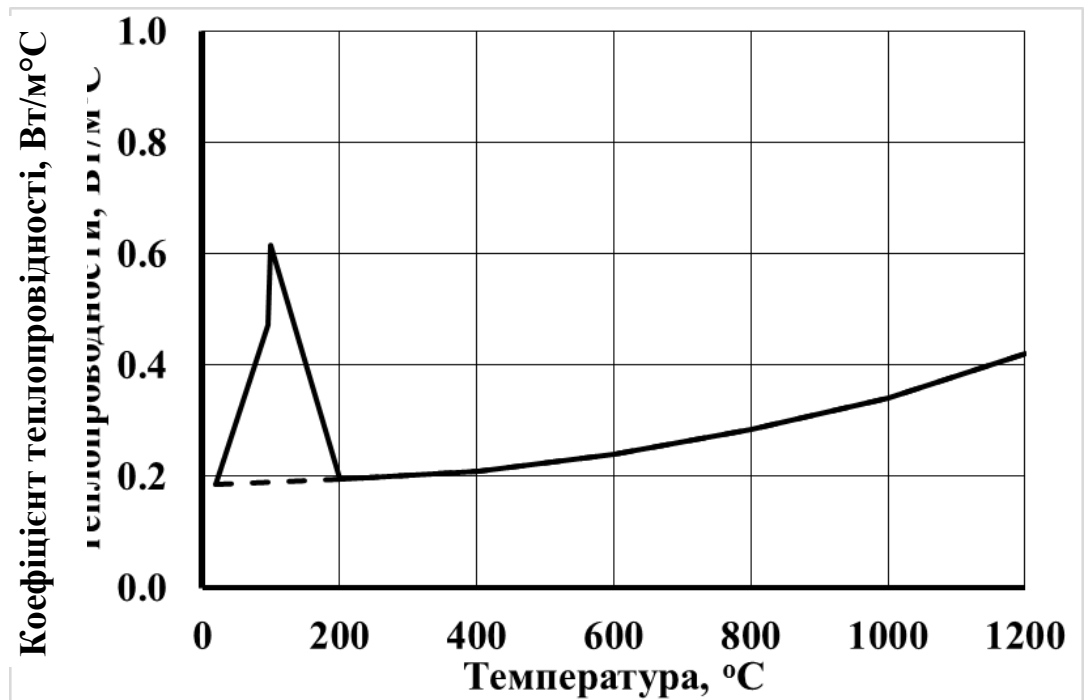


Рисунок 4.13 - Залежність коефіцієнта теплопровідності пінобетону густиною 800кг/м^3 від температури, що отримана рішенням ОЗТ

На малюнках 4.14, 4.15 суцільними лініями наведені розрахункові залежності температури сталевих пластин з ВЗП від часу вогневого впливу, отримані при вирішенні ОЗТ. З цих рисунків випливає, що має місце хороша збіжність розрахункових залежностей, отриманих рішенням ОЗТ, з експериментальними даними. Для рішення, отриманого для газобетону, середньоквадратичного відхилення розрахункових температур від експериментальних складає 6°C . Для пінобетону це відхилення дорівнює 17°C . Означене свідчить про те, що знайдені рішенням ОЗТ теплофізичні характеристики газобетону і пінобетону можуть бути використані для оцінки їх вогнезахисної здатності з прийнятною точністю.

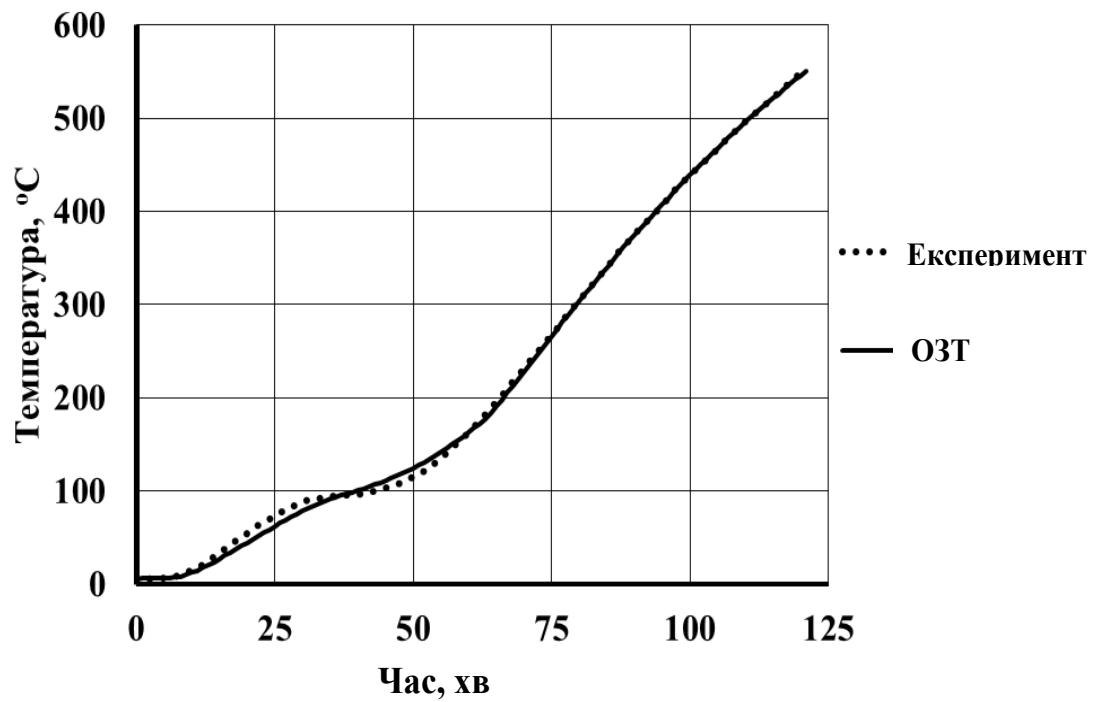


Рисунок 4.14 - Експериментальні та розрахункові залежності від часу та температури сталевієї пластини з ВЗП з газобетону густиною 500кг/м^3 товщиною 40 мм.

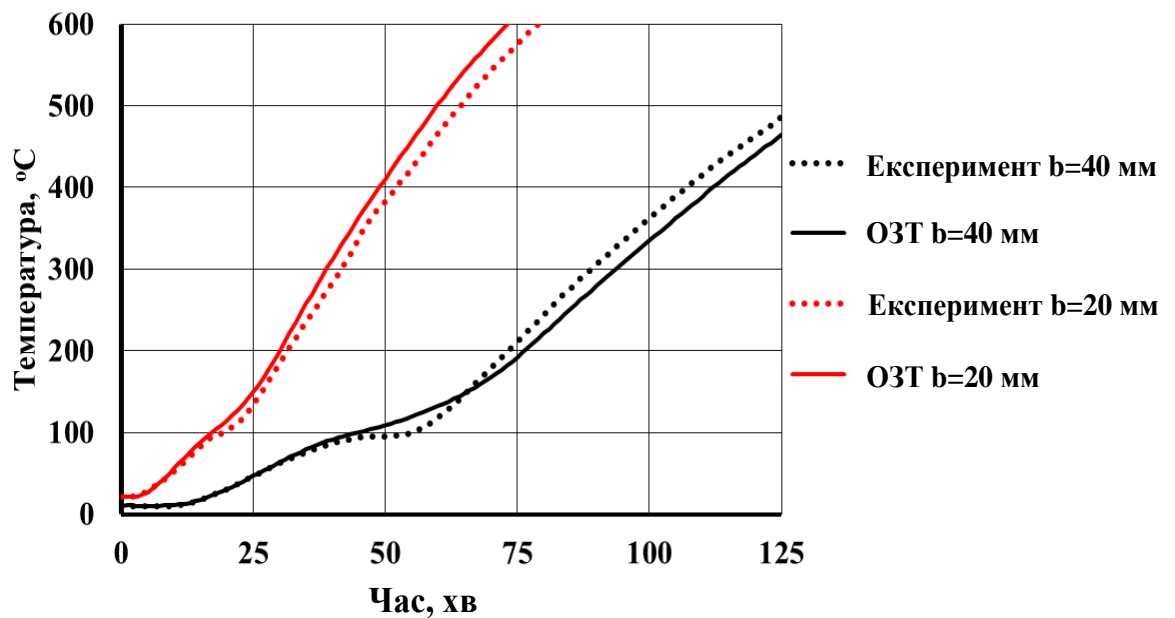


Рисунок 4.15 - Експериментальні та розрахункові залежності від часу та температури сталевих пластин з ВЗП з пінобетону густиною 800кг/м^3 товщиною 20 і 40 мм.

З огляду на означене, можливо зробити наступний висновок: отримані рішенням обернених задач теплопровідності з використанням

експериментальних даних теплофізичні характеристики газобетону і пінобетону та залежності теплопровідності від температури для газобетону і пінобетону отримані за експериментальними даними прогріву сталевих пластин з вогнезахисним покриттям, істотно відрізняються в області температур від 20°C до 200°C від теплофізичних характеристик, наведених в Єврокод 6 [34].

4.3. Розрахунок вогнезахисної здатності газобетону і пінобетону для забезпечення вогнестійкості будівельних конструкцій

Будівельні конструкції мають великий спектр класифікацій. Однак, основними загально прийнятими будівельними конструкціями слід визначати: металеві, залізобетонні, дерев'яні та кам'яні. Забезпечення вогнестійкості яких є однією з основних проблем у будівництві. Один з простіших засобів вогневого захисту – облицювання вогнестійкими матеріалами з відповідними теплофізичними властивостями до яких в повній мірі відносяться ніздрюваті бетони. Застосування для означеної цілі газобетонів та пінобетонів неодноразово науково обґрунтовано. У даній роботі за основу взято експериментальні дослідження вогнезахисних покриттів (далі – ВЗП) газобетону (густиною 500кг/м³) та пінобетону (густиною 800кг/м³) у вигляді плиток з встановленими конструктивними чинникам (густиною, міцністю, габаритними розмірами).

4.3.1. Розрахунок вогнезахисної здатності газобетону

Залежність мінімальної товщини самонесучої стіни з газобетону та мінімальної межі вогнестійкості протипожежної перешкоди

На рис. 4.16 приведена залежність мінімальної товщини самонесучої стіни з газобетону та вогнестійкості протипожежної перешкоди [37]. При цих розрахунках вирішували серію прямих задач теплопровідності (далі - ПЗТ).

Ознакою настання граничного стану конструкції з вогнестійкості за втратою теплоізолюючої здатності визначено перевищення середньої температури на необігрівальній поверхні зразка на 140°C над початковою середньою температурою зразків [36], яка фактично обумовлена значенням у 20°C – температурою навколишнього середовища. Таким чином, перевищення середньої температури на стороні стіни, що не обігривається відповідає значенню у 160°C , що враховано при рішенні ПЗТ.

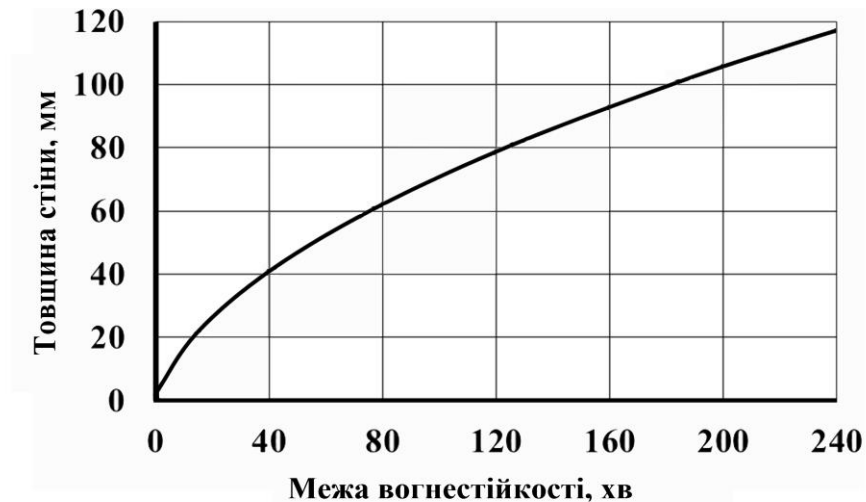


Рисунок 4.16 - Залежність мінімальної товщини самонесучої стіни з газобетону від нормованої межі вогнестійкості протипожежної перешкоди.

Залежності мінімальної товщини вогнезахисного покриття з газобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталеві конструкції

На рис. 4.17 – 4.19 наведено залежності мінімальної товщини ВЗП з газобетону, приведеної товщини профілю, вогнестійкості (проектної) несучої сталеві конструкції за критичних (проектних) температур сталі 350°C , 500°C , 750°C [32]. При цих розрахунках вирішували серію ПЗТ для необмеженої двошарової стінки: ВЗП і метал. Теплофізичні характеристики сталі бралися з Єврокод 3 [32]. Розглядали діапазони приведених товщин профілю від 2,5 до 50 мм, межа вогнестійкості до 240 хв, критична температура сталі 350°C , 500°C , 750°C .

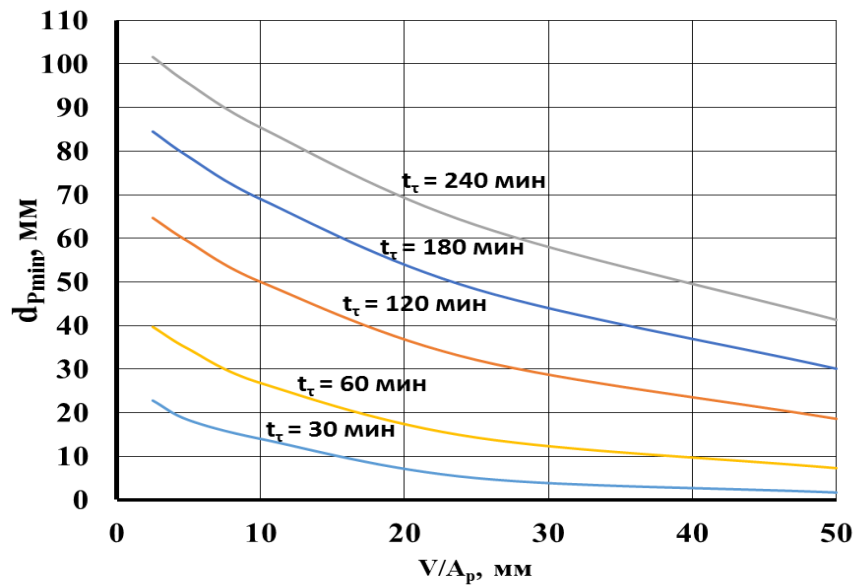


Рисунок 4.17 - Залежність мінімальної товщини ВЗП з газобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталеві конструкції за критичної температури сталі 350°C.

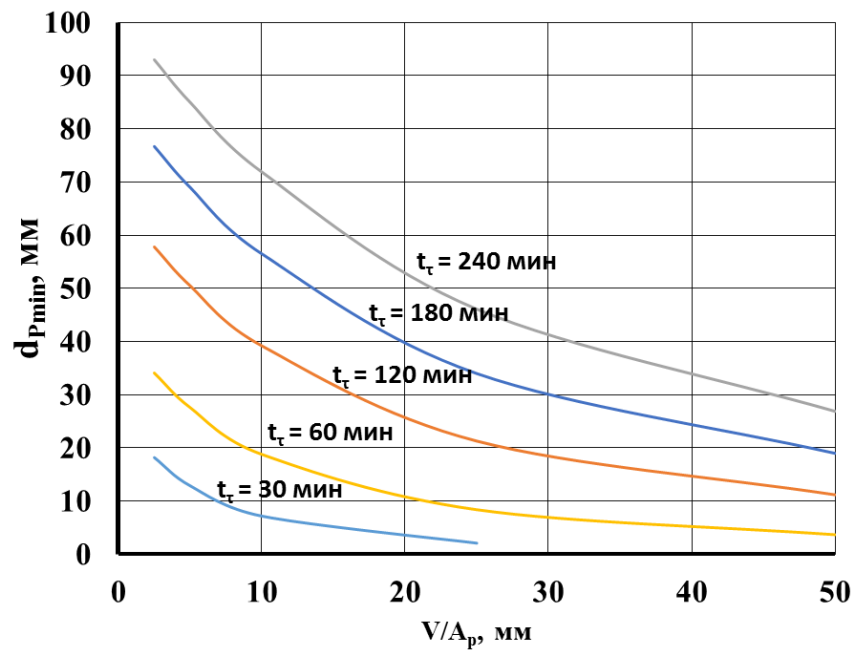


Рисунок 4.18 - Залежність мінімальної товщини ВЗП з газобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталеві конструкції за критичної температури сталі 500°C.

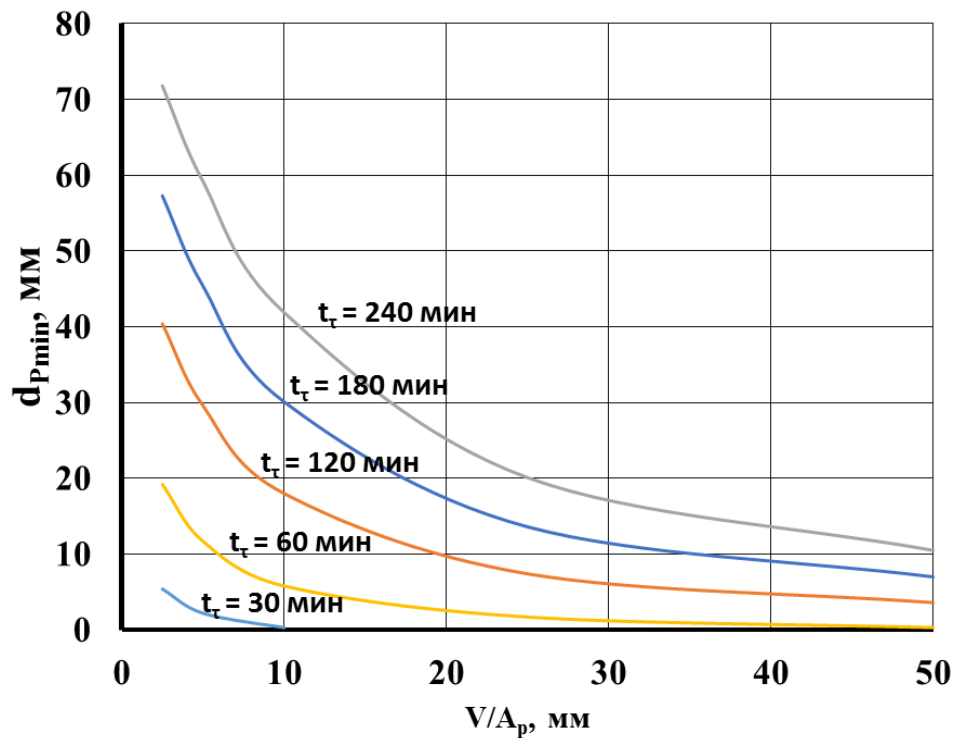


Рисунок 4.19 - Залежність мінімальної товщини ВЗП з газобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталеві конструкції за критичної температури сталі 750°C .

4.3.2. Розрахунок вогнезахисної здатності пінобетону

При розрахунках вогнезахисної здатності пінобетону густиною 800 кг/м^3 були використані такі ж положення, як і при розрахунках для газобетону густиною 500 кг/м^3 .

Залежність мінімальної товщини самонесучої стіни з пінобетону та мінімальної межі вогнестійкості протипожежної перешкоди

На рис. 4.20 приведена залежність мінімальної товщини самонесучої стіни з пінобетону та вогнестійкості протипожежної перешкоди.

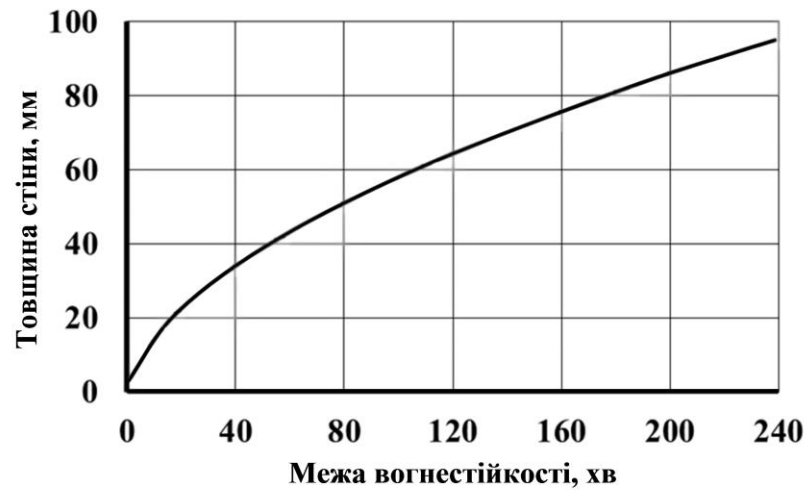


Рисунок 4.20 - Залежність мінімальної товщини самонесучої стіни з пінобетону та вогнестійкості протипожежної перешкоди.

Залежності мінімальної товщини вогнезахисного покриття з пінобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталевій конструкції

На рис. 4.21 – 4.23 наведено залежності мінімальної товщини ВЗП з пінобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталевій конструкції за критичних температур сталі 350°C, 500°C, 750°C.

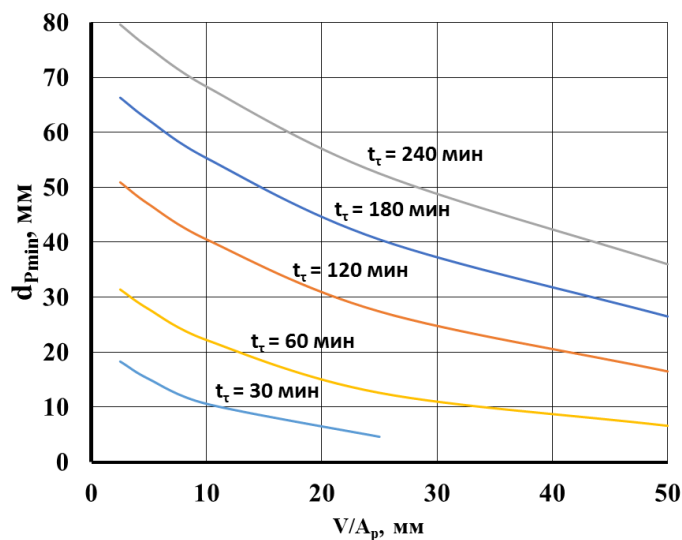


Рисунок 4.21 - Залежність мінімальної товщини ВЗП з пінобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталевій конструкції за критичної температури сталі 350°C.

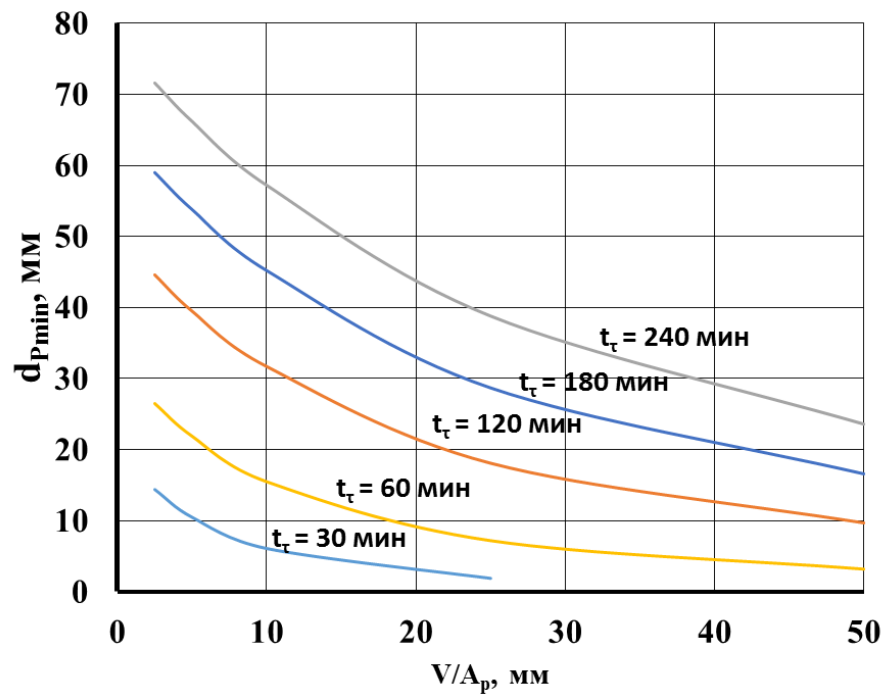


Рисунок 4.22 - Залежність мінімальної товщини ВЗП з пінобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталевій конструкції за критичної температури сталі 500°C.

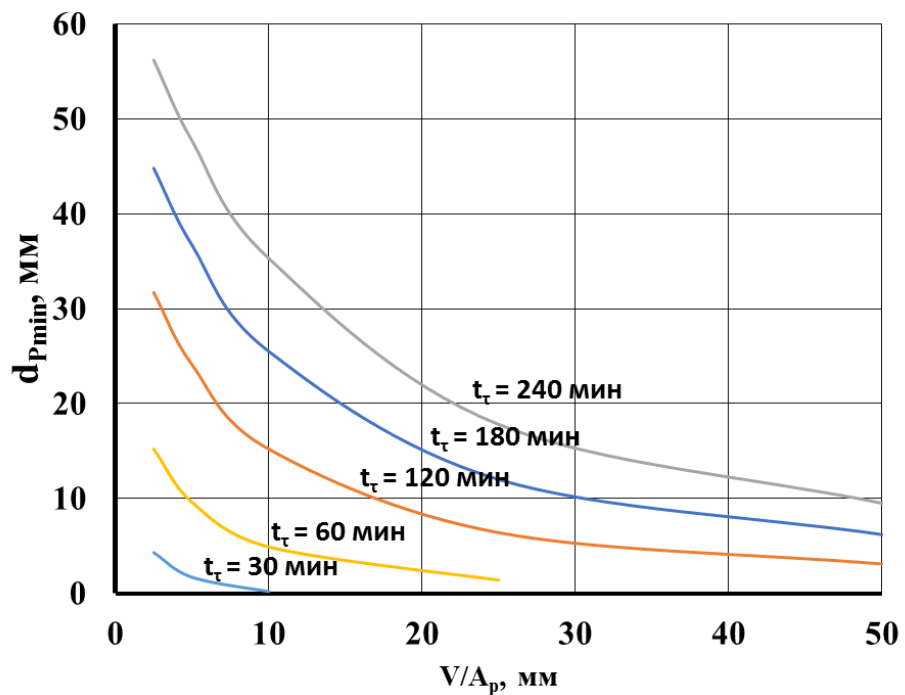


Рисунок 4.23 - Залежність мінімальної товщини ВЗП з пінобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталевій конструкції за критичної температури сталі 750°C.

З огляду наведених даних 4.16 - 4.23 можливо зазначити, що застосування пінобетону в якості вогнезахисного матеріалу переважає над

застосуванням газобетону. Так, для газобетону густиною 500 кг/м^3 та пінобетону густиною 800 кг/м^3 при однакових параметрах міцності (В 2,5) та товщині експериментальних зразків (40 мм) теплопровідність газобетонних плиток порівняно з плитками виготовленими з пінобетону при дії температурного впливу збільшується швидше. Зазначене пояснюється різними структурами ніздрюватості визначених бетонів. Як наслідок, товщина захисного шару для газобетону має більше значення, а ніж для пінобетону, зокрема:

- для нормованої межі вогнестійкості 240 хв сталевій конструкції (при критичній температурі 500°C і приведеної товщині профілю 20 мм) значення мінімальної товщини вогнезахисного покриття із газобетону і пінобетону відповідно становлять: 53 і 44 мм;

- для нормованої межі вогнестійкості конструкції 240 хв значення мінімальної товщини самонесучої стіни із газобетону і пінобетону відповідно становлять 116 і 92 мм (рис.4.24).

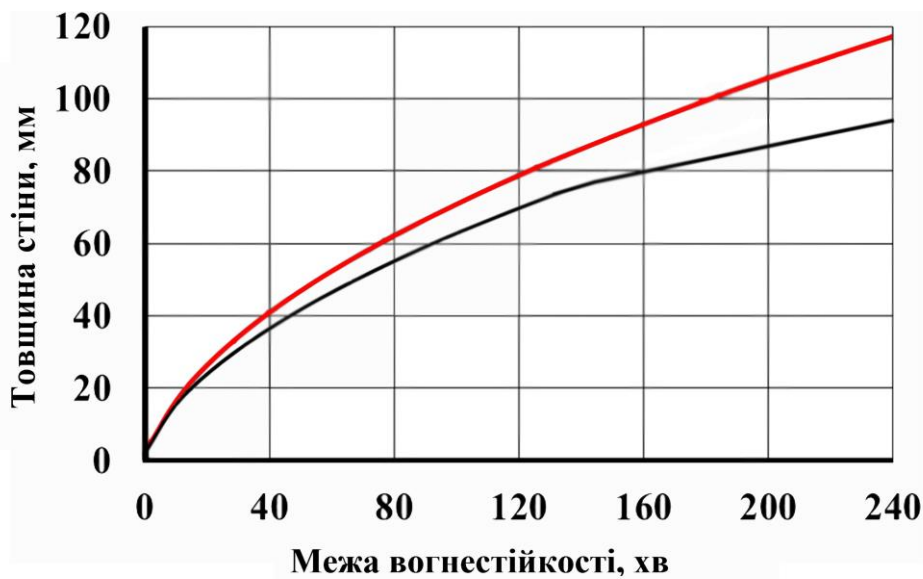


Рисунок 4.24 - Порівняння залежності мінімальної товщини самонесучої стіни із пінобетону та газобетону та вогнестійкості протипожежної перешкоди.

4.4. Висновки за розділом

1. Підтверджено адекватність «Методики експериментальних

випробувань з визначення вогнезахисної здатності покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовуються для вогнезахисту будівельних конструкцій».

2. Визначено теплофізичні характеристики пінобетону густиною 800 кг/м³.

3. Шляхом математичного моделювання прогріву дослідних зразків за допомогою ОЗТ отримано:

- залежності мінімальної товщини самонесучої стіни з газобетону густиною 500 кг/м³ та пінобетону густиною 800 кг/м³ та мінімальної межі вогнестійкості протипожежних перешкод рішенням обернених задач теплопровідності з використанням даних щодо їх теплофізичних характеристик;

- залежності мінімальної товщини вогнезахисного покриття з газобетону густиною 500 кг/м³ та пінобетону густиною 800 кг/м³ приведеної товщини профілю та вогнестійкості для будівельних конструкцій із сталі, рішенням обернених задач теплопровідності з використанням даних щодо їх теплофізичних характеристик.

4. Визначено, що застосування пінобетону в якості вогнезахисного матеріалу доцільніше від застосування газобетону враховуючи значення мінімальної товщини від 10 до 20мм.

РОЗДІЛ 5. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Результати теоретично - експериментальних досліджень

Результатом роботи є:

- визначення та підтвердження теплофізичних характеристик пінобетону;
- визначення вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття з пінобетону та газобетону;
- встановлення, на основі отриманих даних щодо вогнезахисної здатності, залежності мінімальної товщини вогнезахисного покриття з пінобетону та газобетону, приведеної товщини профілю металеві конструкції та мінімальної межі вогнестійкості будівельних конструкції;
- встановлення розрахунковим методом, на основі існуючих та визначених теплофізичних характеристик газобетону та пінобетону, мінімальних товщин самонесучих кам'яних стін із ніздрюватих бетонів, що забезпечують встановлену мінімальну межу вогнестійкості протипожежної перешкоди.

Означені результати теоретично-експериментальних досліджень вогнезахисного покриття з автоклавного газобетону марки D500 та пінобетону марки D800 із визначеними конструктивними чинниками (густиною $\rho=500$ кг/м³, міцністю $B=2,5$ та густиною $\rho=800$ кг/м³, міцністю $B=2,5$ відповідно) представлені у вигляді:

- графіків залежності мінімальної товщини самонесучої стіни із газобетону, пінобетону та вогнестійкості протипожежної перешкоди;

- номограм залежності мінімальної товщини вогнезахисного покриття із газобетону, пінобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості металевих конструкцій за критичних (проектних) температур сталі у 350⁰С, 500⁰С, 750⁰С.

Визначені теплофізичні характеристики пінобетону під дією температур пожежі є підґрунтям розширення довідкової бази спрощених розрахункових

моделей для ніздрюватих бетонів запропонованих ДСТУ-НБ EN1996-1-2-2:2010 (Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість) [34].

В ході роботи рішенням обернених задач теплопровідності з використанням експериментальних даних та теплофізичних характеристик газобетону і пінобетону, залежності теплопровідності від температури для газобетону і пінобетону встановлено певну теплофізичну залежність, а саме: отриманні дані прогріву сталевих пластин з вогнезахисним покриттям істотно відрізняються в області температур від 20°C до 200°C від теплофізичних характеристик, що наведені в Єврокод 6 [34]. Слід відмітити, що коефіцієнт теплопровідності з температурної позначки 20°C різко зростає з відмітки $0,2 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ до $0,62 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ і так само падає до відмітки $0,2 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ при досяжності температурної позначки близької до 200°C .

У ході підготовки та проведення серії вогневих випробувань напрацьовано і запатентовано нову технологію пасивного вогнезахисту, що полягає у вогнезахисті будівельних конструкцій вогнезахисним покриттям на основі вогнезахисних плит із пінобетону та високотемпературного в'язучого елементу (додаток В).

Експериментальними дослідженнями підтверджено працездатність та високу ефективність запропонованої системи вогнезахисту. При цьому, кріплення вогнезахисного покриття до поверхонь конструкцій, що захищаються від можливого температурного впливу пожежі, теоретично може бути застосоване і для інших видів вогнезахисних плит відмінних від запропонованих у роботі пінобетонних. Застосування визначеного клеєвого способу вогнезахисного облицювання може істотно зменшити витратну частину та трудомісткість процесу каркасного кріплення вогнезахисних плит.

5.2. Рекомендації щодо застосування вогнезахисного покриття

Застосування експериментально випробуваного та теоретично обґрунтованого вогнезахисного покриття це економічно вдале технічне рішення щодо підвищення вогнестійкості конструкцій у будівництві. Запропоноване вогнезахисне покриття може бути використане при устрої внутрішнього оздоблення металевих конструкцій житлових, громадських та промислових будівель та може забезпечити межу вогнестійкості будівельних конструкцій від 30 до 240 хвилин (REI 30 – REI 240) хвилин та нульову межу поширення вогню (M 0) відповідно до нормованого ступеню вогнестійкості будівлі. Зазначений спосіб захисту будівельних конструкцій від пожежі пройшов апробацію на випробувальному полігоні Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту.

Серед плитних вогнезахисних матеріалів в Україні використовуються матеріали на основі базальтових, магнезитових, вермикулітових, перлітових складових та похідних від них.

На ринку України найбільше поширення мають:

- теплоізолювальні плити на основі вермикуліту ПВВ, виробництва «Укрвермикулит» (Україна);
- плити з силікату кальцію «Skamol «Super isol» виробництва «Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH» (Германія);
- силікатні теплоізоляційні плити Promaect L 500, виробництва «Promatect GmbH» (Германія);
- вогнезахисні плити з перліто-вермикулітні «Ендотерм», виробництва НПП «Спецматеріали» (Україна).

Кожний з цих вогнезахисних матеріалів має свої переваги та недоліки у співвідношенні «ціна – якість – зручність монтажу – дизайн – супутні ефекти та переваги». При цьому, теплофізичні характеристики різняться у прийнятних значеннях, що наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Окремі порівняльні характеристики плитних вогнезахисних матеріалів

Характеристика	Плитний матеріал				
	Super isol	ПВВ	Promatect	Ендотерм	Пінобетон
Густина, кг/м ³	1200	700	500	950	800
К-нт теплопровідності, Вт/мК	0,47	0,13	0,09	0.015	0,18
Спосіб кріплення	каркасний	каркасний	каркасний	каркасний	клеєвий
Товщина (R60), мм	30	40	20	20	20
Середня ціна 1 м ² (R60)	1083 грн.	801 грн.	1404 грн.	147 грн.	15 грн.

Монтаж вогнезахисних систем, як правило, здійснюють каркасним способом із закріпленням вогнестійких плит гвинтами-саморізами по сталевих профілях. Недоліком такого кріплення є значне збільшення площі конструкції, тривалість та складність монтажу, залежність конструкції вогнезахисту від якості вузлових з'єднань, обов'язкове вироблення акту проведення скритих робіт. Велика кількість арматурних випусків при виконанні значного обсягу підготовчих та монтажних робіт підвищує небезпеку травматизму та трудомісткість робіт, що у свою чергу значно підвищує ціну та знижує економічний ефект при використанні подібного способу кріплення. Інша ситуація при використанні запропонованого - клеєвого способу, який дозволяє уникнути перелічених недоліків та значно зменшує собівартість робіт з монтажу вогнезахисної системи.

Крім того, аналіз цін на плитні матеріали в Україні, який наведено у

табл. 5.1, засвідчує значну економічну вигоду у разі застосування пінобетонних плит у якості вогнезахисного матеріалу. Так вартість 1 м² пінобетонних плит у середньому на 60 % менше ніж ринкова вартість інших вогнезахисних плитних матеріалів. При цьому вартість металевих елементів каркасу, кріплення, проведення підготовчих робіт та монтажу існуючих вогнезахисних систем на основі плитних матеріалів значно перевищує економічні витрати порівняно з використанням плитних матеріалів з пінобетону та клейового способу кріплення до будівельних конструкцій.

Таким чином є підстави стверджувати, що застосування запропонованого у даній роботі способу вогнезахисного покриття, яке складається з пінобетонних плиток та клейового композиційного матеріалу є економічно вигідним та технологічно вдалим інженерним рішенням з вогневого захисту будівельних конструкцій.

В основу запропонованого способу закладено використання в якості внутрішнього оздоблення плит із пінобетону, які щільно монтують на поверхню будівельних конструкцій за допомогою високотемпературного композитного клею, з метою забезпечення вогнестійкості конструкцій, а також підвищення швидкості монтажу та його технологічності, поліпшення якості внутрішнього оздоблення, зниження ціни на вогнезахист будівельних конструкцій.

Ця задача вирішується тим, що у способі захисту будівельних конструкцій від пожежі шляхом їх внутрішнього оздоблення вогнестійким матеріалом в якості вогнестійкого матеріалу використовують плити з пінобетону товщиною 15-50 мм, а для монтажу плит використовують високотемпературний однокомпонентний композитний клей, який наносять на поверхню будівельної конструкції шаром 1-2 мм.

Використання плит з пінобетону в якості вогнезахисного покриття забезпечує швидкість монтажу, зручність використання завдяки легкості обробки та розкрою, значну економію коштів та технологічну простоту.

Сучасні високотемпературні композитні клеї, наприклад,

високотемпературний в'язучий самозатвердний однокомпонентний композитний клей, розроблений «УкрНДІЕлектротерм» [95], - це системи неорганічних елементів з присадками на основі оксидів металів, не містить органічних добавок, не виділяє токсичних чи шкідливих речовин у процесі нанесення, експлуатації та при пожежі. Має антикорозійні та антисептичні властивості. Не потребує застосування спеціальних ґрунтувальних сумішей. Є зручним у використанні і має високу температуру застосування – до 1250⁰С.

Застосування високотемпературних композитних клеїв для монтажу плит з пінобетону значно спрощує та надійно забезпечує вогнезахист будівельних конструкцій, оскільки вони є не горючими матеріалами і не створюють вибухонебезпечних сумішей, не токсичні і не шкідливі для здоров'я людини та навколишнього середовища. Недоліком композитних в'язучих можливо вважати термін їх висихання, що складає 22 - 24 годин. Однак, у технологічному процесі можливе використання термічного або хімічного прискорення, що знижує час висихання до 2 – 3 годин.

Технологічно спосіб здійснюють таким чином.

Для якісного нанесення в'язучого матеріалу, прискорення висихання та зменшення гігроскопічності пінобетону робоча поверхня плиток необхідного розміру і товщини (від 15 до 50 мм) попередньо покривається тонким шаром композиційного матеріалу розбавленим теплою водою з розрахунку не більше 5% від об'єму розпилювачем та просушуються.

Кріплення визначеного пасивного захисту до будівельної конструкції здійснюється шляхом нанесення (за допомогою штукатурного шпателя) композиційного матеріалу товщиною 1 – 2 мм на попередньо оброблену сторону плитки пінобетону та послідовним її притисканням до поверхні конструкції. Для прискорення закріплення плиток на поверхні конструкції проводиться підсихання в'язучого елемента термічним або хімічним шляхом. Вогнезахист набирає своїх теплофізичних властивостей після заключного висихання клеючої маси, що складає 22-24 години за температурою (20±2). Також можлива подальша декоративна обробка поверхні

Перед нанесенням поверхня конструкції що захищається має бути суха, очищена від пилу, жиру, мастил, старої фарби та інших забруднень.

Процес облицювання має відбуватись у приміщеннях з температурним режимом від +5 до +60 С та вологістю повітря не більше 85%.

Під час експериментальних випробувань у даній роботі досліджували вогнестійкість будівельної системи на основі сталевих плит (СтЗпс товщиною $5 \pm 0,2$ мм) при стандартному температурному режимі із застосуванням плит з газобетону марки D-500 та плит з пінобетону марки D-800 різної товщини, часткові данні яких наведено у табл.5.2.

Таблиця 5.2

Данні експериментальних досліджень систем пасивного вогнезахисту

№	характеристика плит	середній час вогнезахисту (хв)
1	Газобетон (густина 500 кг/м^3 , товщина 40 мм, міцність В2,5)	111
2	Пінобетон (густина 800 кг/м^3 , товщина 20 мм, міцність В2,5)	70
3	Пінобетон (густина 800 кг/м^3 , товщина 40 мм, міцність В2,5)	127

Таким чином, реалізація запропонованого способу захисту будівельних конструкцій від пожежі забезпечує проектну вогнестійкість металевих конструкцій, полегшує монтаж вогнезахисних систем та зменшує економічні витрати з вогнезахисту.

5.3. Впровадження результатів дослідження

Результати дисертаційної роботи отримали практичне застосування, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Результати досліджень використані органами господарської діяльності та впроваджені на наступних об'єктах будівництва і реконструкції:

1. ТзОВ «СПЕЦБУД-МОНОЛІТ», використані залежності вогнестійкості та ширини несучої стіни при проведенні розрахунку та влаштуванні протипожежних перешкод на об'єкті: «Реконструкція виробничих будівель майнового комплексу під торговельний центр за адресою: вул. Здолбунівська, 7-Г, Дарницького р-ну м. Києва» (додаток Г.1);

2. ТзОВ «СТОЛИЧНІ БУДТЕХНОЛОГІЇ», дослідження газобетонних блоків марки D500 використані при будівництві житлового комплексу з вбудовано-прибудованими нежитловими торгово-офісними приміщеннями та підземним паркінгом на вул. Урицького, 16-А у Солом'янському районі м. Києва (додаток Г.2).

3. Проектувальниками «Українського центру сталевих будівництва» для проведення попередніх розрахунків вогнезахисних систем використовуються залежності мінімальної товщини вогнезахисного покриття із пінобетону та газобетону, зведеної товщини профілю та межі вогнестійкості металевих конструкцій (додаток Г.3);

4. Експериментальна методика з визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів використана Регіональним випробувальним центром ТзОВ «Донстройтест» для встановлення попередніх значень вогнезахисної здатності вогнезахисних штукатурок та вогнезахисних плит (додаток Г.4);

5. Запропонована «Методика експериментальних випробувань визначення вогнезахисної здатності покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовується для вогнезахисту будівельних конструкцій» використана Українським науково-дослідним інститутом цивільного захисту в науково-дослідній роботі за шифром «Ефективність вогнезахисних покриттів» (додаток Г.5).

5.4. Висновки за розділом

1. Впроваджена у практику методологія експериментальних випробувань із визначення часу вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів.

2. Використовуються номограми залежності мінімальної товщини вогнезахисного покриття із пінобетону та газобетону, зведеної товщини профілю та межі вогнестійкості металевих конструкцій.

3. Знайшла застосування у практичній діяльності запропонована графічна залежність мінімальної товщини самонесучої стіни з пінобетону та газобетону від нормованої межі вогнестійкості протипожежної перешкоди, та практично реалізована в якості улаштування протипожежних стін.

4. Результати дисертаційної роботи отримали практичне застосування, що підтверджується відповідними актами впровадження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі наведені результати розв'язання актуальної наукової задачі, що полягає у розкритті закономірностей теплофізичних характеристик та вогнезахисної здатності пінобетонів та газобетонів із різними конструктивними характеристиками, як наукового підґрунтя для удосконалення інженерних методів розрахунку вогнестійкості металевих конструкцій із вогнезахисними системами на основі даних матеріалів. При цьому одержані такі основні результати:

1. Проведений аналіз сучасного стану щодо нормування вогнестійкості будівельних конструкцій, техніко-економічних характеристик вогнезахисних матеріалів та методів визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних систем та встановлено: перспективними та економічно обґрунтованими є застосування вогнезахисних систем на основі ніздрюватих бетонів. При цьому інженерні методи оцінки проектування таких вогнезахисних систем розвинені недостатньо, оскільки відомості про вогнезахисну здатність покриттів із пінобетонів в умовах пожежі із стандартним та реальним температурними режимами пожежі суттєво обмежені.

2. Розроблена методика із визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів та проведені експериментальні дослідження температур нагрівання фрагментів будівельних систем з покриттями із пінобетону, газобетону в умовах стандартного температурного режиму. Правильність отриманих результатів підтверджена порівнянням експериментальних та теоретичних досліджень.

3. Експериментально підтверджено та теоретично обґрунтовано час вогнезахисної здатності пінобетонних та газобетонних плиток за визначених конструктивних чинників: густини (ρ), коефіцієнту міцності при стиску (B) та товщини (b), а саме:

- газобетон марки D400; $\rho=400$ кг/м³; $B=2,5$; $b=40$ мм - 116 хв;
- газобетон марки D500; $\rho=500$ кг/м³; $B=2,5$; $b=20$ мм - 111 хв;

- пінобетон марки D800; $\rho=800$ кг/м³; $V=2,5$; $b=20$ мм - 70 хв;
- пінобетон марки D800; $\rho=800$ кг/м³; $V=2,5$; $b=40$ мм - 127 хв;
- пінобетон марки D800; $\rho=800$ кг/м³; $V=2,5$; $b=60$ мм - не менше 150 хв.

4. Визначені залежності коефіцієнту теплопровідності та питомої теплоємності пінобетону густиною 800кг/м³ від температури.

5. Встановлені залежності мінімальної товщини вогнезахисних покриттів з газобетону і пінобетону, приведеної товщини профілю та вогнестійкості сталевих конструкцій за критичних температур руйнування; мінімальної товщини протипожежних стін із газобетону і пінобетону та вогнестійкості протипожежних перешкод. Залежності представлені у вигляді відповідних номограм і графіків.

6. Розширена довідникова база проектування вогнезахисних систем на основі плиток із пінобетону та газобетону для металевих конструкцій.

7. На підставі отриманих результатів та аналізу ринку вогнезахисних матеріалів встановлено, що застосування вогнезахисного покриття з пінобетонних плиток та клейового композиційного матеріалу дозволяє отримати суттєвий економічний ефект і є фінансово вигідним (дешевшим у 8-10 разів порівняно з аналогами) та технологічно вдалим інженерним рішенням з вогневого захисту будівельних конструкцій.

8. На підставі отриманих експериментальних та теоретичних досліджень розроблені попередні рекомендації щодо застосування технології вогнезахисного покриття із пінобетонних плиток з кріпленням на основі високотемпературного композиційного матеріалу для забезпечення нормованої межі вогнестійкості будівельних конструкцій, які знайшли впровадження на реальних об'єктах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналіз методів проектування кам'яних конструкцій та їх вплив на розвиток пожежі / А. П. Половко [та ін.] // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – Л., 2010. – № 17 – С. 132-137.
2. Аппен А. А. Температурустойчивые неорганические покрытия / А. А. Аппен. –Л.: Химия, 1976 – 295 с.
3. Архитектурные конструкции гражданских зданий: здания и их части. Фундаменты и цоколи. Стены. Перегородки. Перекрытия и полы. Крыши / Дехтяр С. Б.[и др.]– [2-е изд. перераб. и доп.]. – К. : Будівельник, 1987. – 222 с.
4. Бартелеми Б. Огнестойкость строительных конструкций / Б. Бартелеми, Ж. Крюппа. – М. : Стройиздат, 1985. – 216 с.
5. Беляев Н. М. Методы нестационарной теплопроводности / Н. М. Беляев, А. А. Рядно. – М. : Высш. шк., 1978. – 328 с.
6. Болдырев А.С. Строительные материалы: справочник / А. С. Болдырев, П. А. Золотов, А. Н. Люсов. – М.: Стройиздат, 1996. – 567 с.
7. Борис А. П. Экспериментальное определение огнезащитной способности газобетона / А. П. Борис, Р. Б. Веселивский, А. П.Половко // Чрезвычайные ситуации: образование и наука: Международный научно-практический журнал. – Гомель: ГИИ МЧС РБ, 2014. – Том 9. – № 2. – С. 57-60.
8. Борис О. П. Експрес-методика оцінки вогнезахисної здатності / О. П. Борис, Т. Б. Юзьків, А. П. Половко // Науковий вісник УкрНДІЦЗ. – Київ: 2012. – № 2(26). – С. 95-99.
9. Борис О. П. Огнезащитные покрытия для металлических конструкций / О. П. Борис, А. П. Половко /. Материалы научно-практической конференции. – Гомель: 22-23 мая 2014. – С. 29-30.
10. Борис О.П. Оцінка вогнезахисної здатності пінобетонних плиток / О. П. Борис, Т. Б. Юзьків, А. П. Половко // Науковий вісник УкрНДІЦЗ. – Київ: 2013. – № 1(27). – С. 113-119.
11. Бровко Д. В. Реконструкція галерей за умови переходу на полегшені

огороджуючі конструкції / Д. В. Бровко, Н. І. Посмашна, В. В. Хворост // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. пр. – Кривий Ріг : Видавничий центр Криворізького технічного університету. – 2010. – Вип. 25. – Режим доступу до ресурсу: http://knu.edu.ua/Files/25_2010/13.pdf.

12. Валовой О. І. Ефективні методи реконструкції промислових будівель та інженерних споруд / Валовой О. І. – Кривий Ріг : Мінерал. – 2003. – 270 с.

13. Ваничев А. П. Приближенный метод решения задач теплопроводности при переменных константах / А. П. Ваничев // Изв. АН СССР ОТН. – М. : 1946. – Вып.12. – С. 1767-1774.

14. Веселівський Р. Б. Огнестойкость легких ограждающих конструкций / Р. Б. Веселівський, А. П. Половко // Материалы XXII международной научн-практ. конф.: Актуальные проблемы пожарной безопасности.- Москва: ФГУ НИИ ПБ МЧС РФ, 2010. – С.219-222.

15. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення ДСТУ 3021-95 – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1996. – 74 с. – (Державний стандарт України).

16. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002, NEQ): ДСТУ Б В.1.1-17:2007. – [Чинний від 2007-22-06] – К. : Мінрегіонбуд України, 2007. – 60 с. – (Національний стандарт України).

17. ГОСТ 26020-83. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент.

18. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие положения.

19. ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.

20. ГОСТ 8239-89. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент.

21. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Методы определения огнезащитной эффективности. Общие требования.

22. Давыдов С. В. Огнестойкость легких ограждающих конструкций с

применением эффективных материалов / С. В. Давыдов, В. Н. Зигерн-Корн // Пути повышения огнестойкости строительных материалов и конструкций. – М. : МДНТП. – 1982. – С.73-75.

23. Данкевич І. П. Дослідження температурного режиму пожежі у модельному приміщенні / І. П. Данкевич [та ін.] // Вісник НУ “Львівська політехніка” : зб. наук. пр.– Львів : НУ “Львівська політехніка”. – 2013. – № 742. – С. 46–51. – (Серія : Теорія і практика будівництва).

24. Демчина Б. Г. Вогнетривкість енергоефективних будівельних конструкцій / Б. Г. Демчина // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : РДТУ, 1999. – Вип. 2. – С.89-92.

25. Демчина Б. Г. Застосування пінобетону як вогнезахисного матеріалу/ Б. Г. Демчина, А. П. Половко, О. П. Борис // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – Львів, 2010. – №16. – С. 25-28.

26. Демчина Б. Г. Нові підходи до розрахунку границь вогнетривкості будівельних конструкцій / Б. Г. Демчина // Вісник КиївЗНДІЕП. Конструкции гражданских зданий. – Київ : Вид. КиївЗНДІЕП, 1999. – С.59-64.

27. Демчина Б. Г. Новые подходы к расчету огнестойкости многоэтажных зданий / Б. Г. Демчина, А. П. Половко, Р. Б. Веселівський // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: Материалы междунауч.-практ. конф. - Гомель: ГИИ МЧС Республики Беларусь, 2010. – С.171-173.

28. Демчина Б. Г. Розрахунок границь вогнетривкості багатошарових конструкцій / Б. Г. Демчина, М. Й. Коляков, В. С. Лундяк // Будівельні конструкції. – Київ : НДІБК, 1999. – Вип. 50. – С.75-76.

29. Демчина Б. Г. Експериментальне дослідження вогнестійкості двошарових огорожувальних конструкцій з конструктивно-теплоізоляційного пінобетону Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону / Б. Г. Демчина [та ін.]: Збірник наукових праць 6-ї науково-технічної конференції. Випуск 74. Книга 1. – К.: ДП НДІБК, 2011. – С. 262-269.

30. Демчина Б.Г. Сучасні тенденції у дослідженнях вогнестійкості

будівельних конструкцій // Пожежна безпека : збірник наукових праць. – Львів, 2001. – С 383-385.

31. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / пер. с англ. К. Г. Бомштейна; под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с. : ил. – перевод, изд.: An Introduction to Fire Dynamics / D. Drysdale. – John Wiley and Sons, Chichester, 1985.

32. ДСТУ – Н Б EN 1993-1-2:2010 (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій - Частина 1-2. Основні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість) відповідає EN 1993-1-2:2005, IDT.

33. ДСТУ-Н EN 1991-1-2:2010 (Єврокод 1. Дії на конструкції – Частина 1-2: Загальні дії – Дії на конструкції під час пожежі) з технічною поправкою EN 1991-1-2:2002/AC:2009 відповідає EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire.

34. ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2010 (Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій - Частина 1-2. Загальні положення. - Розрахунок конструкцій на вогнестійкість) (EN 1996-1-2:2005, IDT)

35. Зайцев А. М. Расчет огнестойкости элементов строительных конструкций / А. М. Зайцев, Г. Н. Крикунов, А. И. Яковлев. – Воронеж : Изд. Воронеж. ун., 1982. – 115 с.

36. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги: ДСТУ Б.В.1.1-4-98*. – [Чинний від 1999-03-01]. – К. : Держбуд України, 2005. – 22 с. – (Національний стандарт України).

37. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва : ДБН В.1.1-7-2002 – [Чинний від 2003-01-05]– К. : Держбуд України, 2003. – 42 с. – (Державні будівельні норми України).

38. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд. Будівельних конструкцій та основ: ДБН В.1.2-14-2009 – [Чинний від 2009-01-12]– К. : Держбуд України, 2009. – 54 с. – (Державні будівельні норми України).

39. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова,

- А. С. Сукомел [4.-е изд. перераб. и доп.]– М. : Энергоиздат, 1981. – 416 с. : ил.
40. Качкар Є.В. Обґрунтування параметрів тришарових перегородок з мінераловатними плитами для будівель та споруд з урахуванням їх вогнестійкості : автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.02 / Є. В. Качкар; Укр. НДІ пожеж. безпеки. - К., 2009. - 22 с. - укр.
41. Кашеев И. Д. Свойства и применение огнеупоров : справочное издание / Кашеев И. Д. – М. : Теплотехник, 2004. – 352 с.
42. Коломацкий А. Теплоизоляционный пенобетон / А. Коломацкий, С. Коломацкий. – Строительные материалы. 2002. – С. 18-19.
43. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31-2006 – [Чинний від 2007-04-01] – К. : Мінбуд України, 2006.– 65 с. – (Державні будівельні норми України).
44. Конструкції будинків і споруд. Конструкції металеві будівельні. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.6-75:2008– [Чинний від 2010-01-01] – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 15 с. – (Національний стандарт України).
45. Крейт Ф. Основы теплопередачи / Крейт Ф., Блэк У.; пер. с англ. – М. : Мир, 1983. – 512 с. : ил.
46. Круковский П. Г. Определение теплофизических характеристик вспучивающегося огнезащитного покрытия по данным огневых испытаний / П. Г. Круковский, С. В. Цвиркун // Науковий вісник УкрНДІПБ – Київ, 2005. – № 1 (11). – С.5 – 16.
47. Круковский П. Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) / П. Г. Круковский. – Киев, Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998 – 218 с.
48. Круковский П. Г. Расчетно-экспериментальный подход к анализу процессов тепломассообмена (методология и примеры применения) / П. Г. Круковский. // Промышленная теплотехника (приложение к журналу), 2003., т.25, №4 – с. 396-398.
49. Круковский П. Г. Универсальный программно-методический подход к решению обратных задач тепломассопереноса (программа FRIEND) / П. Г.

Круковский // В кн. Идентификация динамических систем и обратные задачи. Труды II Межд. конф., С. – Петербург, 1994, т. 1, – с. А.8.1 - А.8.12.

50. Круковский П.Г. Расчетно-экспериментальный подход к анализу процессов теплообмена (методология и примеры применения) // Промышленная теплотехника (приложение к журналу). – Институт технической теплофизики НАН Украины, 2003. – № 4. – С. 396-398.

51. Круковский П. Г. Розробка й апробація методичного забезпечення застосування розрахунково-експериментального підходу для визначення залежності товщини перегородок від межі вогнестійкості / П.Г. Круковский, Є. В. Качкар // Пожежна безпека: теорія і практика. – Черкаси: АПБУ, 2009. – № 3. – С. 97-113.

52. Мазілін О. М. Аналіз методів оцінювання вогнезахисної здатності матеріалів / О. М. Мазілін, С. В. Новак, Л. М. Нефедченко // Науковий вісник УкрНДІПБ МНС України. – 2011. – №1 (23). – С. 107–112.

53. Методические рекомендации по экспресс-определению теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов. – Киев : НИИСМИ, 1984. –16 с.

54. Новак С.В. Математическое моделирование процессов теплообмена в огнестойких конструкциях [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.14.05 / Новак Сергей Викторович ; Нац. акад. наук Украины, Ин-т проблем машиностроения. – Х., 1996. – 183 л.

55. Новак С.В. Расчетно-экспериментальный метод определения теплозащитной способности огнезащитных покрытий строительных металлических конструкций / С.В. Новак, И. А. Харченко, П.Г. Круковский // Теплообмен ММФ-96: III Минский междунар. форум. – Минск: АНК «ИТМО им. А.В. Лыкова» АНБ, 1996. – Т. IX, ч. 1. – С. 153-157.

56. НПБ 236-97. Нормы пожарной безопасности. Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности.

57. Опекунов В. В. Строительное материаловедение. Лабораторный

практикум / В. В. Опекунов, Г. Е. Минюк, Д. Н. Савеня – Гродно : ГрГУ им. Я.Купали, 2011 – 136 с.

58. Основы пожарной теплофизики / Башкирцев М. П. [и др.]. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Стройиздат, 1984. – 200 с. : ил.

59. Пащенко А. А. Полифункциональные элементоорганические покрытия / под общ. ред. А.А. Пащенко. – К.: Вища школа, 1987 – 198 с.

60. Пожарная опасность жилых и гражданских зданий из легких конструкций / А. И. Яковлев [и др.] // Огнестойкость строительных конструкций : сб. науч. труд – М. : ВНИИПО, 1984. – Вып.2. – С. 85–91.

61. Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення ДСТУ 3855-99 – [Чинний від 2000-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1996. – 28 с. – (Державний стандарт України).

62. Пожежна безпека. Терміни та визначення понять: ДСТУ 2272-2006. – [Чинний від 2006-09-06]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 30 с. – (Національний стандарт України).

63. Половко А. П. Вогневі випробування фрагментів стін за допомогою печі для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлів їх стикових сполучень / В. С. Фіцик, Б. Г. Демчина, А. П. Половко // Теорія і практика будівництва : Вісник ДУ “Львівська політехніка”. – Львів : ДУ “Львівська політехніка”, 2007. – №600. – С.302-305.

64. Половко А. П. Дослідження вогнестійкості фрагмента огорожувальної конструкції із монолітного пінобетону / Демчина Б. Г. Половко А. П., Фіцик В. С., // Теорія і практика будівництва : Вісник ДУ “Львівська політехніка”. – Львів : ДУ “Львівська політехніка”, 2008. – № 627. – С.76-80.

65. Половко А. П. Огнестойкость стеновых ограждающих конструкций с применением энергоефективных технологий. / А.П. Половко, Б.Г. Демчина, В.С. Фіцик // Инновационные защиты от чрезвычайных ситуаций”. Материалы

Международной научно-практической конференции. Минск, 2008. С.187-189.

66. Половко А. П. Розподіл стаціонарного температурного поля в багатошаровій конструкції / А. П. Половко, Л. Д. Величко, О. І. Башинський // Пожежна безпека : збірник наукових праць. Львів, 2008. – №12. – С. 114-119.

67. Половко А. П. Вогнезахист металевих конструкцій / А. П. Половко, Р. Б. Веселівський, О. П. Борис // Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні: Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2010. – (Електронне видання).

68. Половко А. П. Вогнезахист металевих конструкцій / А. П. Половко, О. П. Борис // Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні: Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 16-19.

69. Половко А. П. Вогнезахист несучих металевих конструкцій / А. П. Половко, О. П. Борис, Р. Б. Веселівський // Матеріали 13-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників. Київ: ІДУЦЗ НУЦЗУ, 2011. – С. 370-374.

70. Половко А. П. Дослідження вогнестійкості легких огорожувальних конструкцій/ А. П.Половко, Р. Б. Веселівський, О. П. Борис // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Дніпропетровськ, 2010. – № 52. – С. 212-214.

71. Половко А. П. Застосування горючих утеплювачів, як проблема забезпечення безпеки людей у будівлях та спорудах / А. П. Половко, О. П. Борис // Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні: Матеріали 6-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 238-241.

72. Половко А. П. Исследование применения пеногазобетона в качестве материала для ограждающих конструкций / А. П. Половко, А. П. Борис // Материалы XXII международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». – Москва: ФГУ НИИ ППО, 2010. – С.226-229.

73. Половко А. П. Пассивные огнезащитные материалы металлических конструкций / А. П. Половко // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сборник материалов VII международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов). – В 2-х ч. Ч.1. – Минск: КИИ, 2013. – С. 17-18.

74. Посібник з основ теорії горіння / Прокоф'єв О. І. [та ін.]. – Львів : Вид. НУ “Львівська політехніка”, 2002. – 115 с.

75. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов / [ЦНИИСК им. Кучеренко]. – М.: Стройиздат, 1985. – 33 с.

76. Про удосконалення нормативно-методичної бази з питань вогнестійкості будівельних конструкцій і протипожежних перешкод / Інформ. лист Держпожбезпеки. – 2009. – № 2.

77. Пушкаренко А. С. Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур / А. С. Пушкаренко, О. В. Васильченко. – Харків: АПБУ, 2001. – 166 с.

78. Ройтман В. М. Возможности прогнозирования и регулирования огнестойкости строительных материалов и конструкций в условиях пожара на основе кинетического подхода / В. М. Ройтман // Пути повышения огнестойкости строительных материалов и конструкций : материалы семинара. – М. : Знание, 1982. – С.63-68.

79. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М.: Пожарная безопасность и наука, 2001. – 382 с.

80. Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительном деле / Ройтман М. Я. – [2-е изд.]. – М. : Издательство министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1961. – 368 с.

81. Романенко П. Н. Гидродинамика и теплообмен в пограничном слое [Текст] : справочник / П. Н. Романенко. - М. : Энергия, 1974. - 464 с. : ил. - 1.55.

82. Романенко П. Н. Теплопередача в пожарном деле / Романенко П. Н., Бубырь Н. Ф., Башкирцев М. П. – М.: Научно-исследовательский и редакционно-издательский отдел, 1969. – 425 с.

83. Романенков И. Г. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов / И. Г. Романенков, В. Н. Зигерн-Корн. – М.: Стройиздат, 1984. – 240 с.

84. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи : ДБН В.1.1-2:2006 – [Чинний від 2007-01-01]– К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с. – (Державні будівельні норми України).

85. Современные методы оптимизации композиционных материалов / [Вознесенский В. А. и др.]. – К.: Будівельник, 1983. – 144 с.

86. Статистика [Електронний ресурс]: за даними Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту. – Режим доступу до інф.: <http://undicz.mns.gov.ua/content/statistics.html>. – Назва з екрану.

87. Страхов В.Л. Огнезащита строительных конструкций / В. Л. Страхов, А. М. Крутов, Н.Ф. Давыдкин [под ред. Ю.А. Кошмарова]. – М.: ТИМР, 2000. – 433 с. (Руководство по пожарной безопасности подземных сооружений: В 5 т.; Т. 2).

88. Сучасні тенденції у дослідженнях вогнестійкості будівельних конструкцій / Б. Г. Демчина [та ін.] // Пожежна безпека – 2001 : збірник наукових праць. – Львів : Сполом, 2001. – С.383-385.

89. Удосконалення методу визначення вогнезахисної здатності покриттів металевих конструкцій : Автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.02 / С. В. Цвіркун; Укр. НДІ пожеж. безпеки. - К., 2006. - 20 с. - укр.

90. Цой П. В. Методы расчета задач тепломассопереноса / Цой П. В. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – С.43-58.

91. Шналь Т.М. Аналіз методів проведення натурних випробувань на вогнестійкість будівель та споруд / Т. М. Шналь, І. П. Синенько, Д. А. Ясінський // Вісник НУ “Львівська політехніка”: зб. наук. пр. – Львів: НУ “Львівська політехніка” 2010. – № 664. – С. 357–362. – (Серія : Теорія і

практика будівництва).

92. Шналь Т. М. Вогнестійкість та вогнезахист металевих конструкцій / Т. М. Шналь. – Львів: Львівська політехніка, 2001. – 176 с.

93. Яковлев А.И. Пожарная опасность жилых и гражданских зданий из легких конструкций / А. И. Яковлев [и др.] //Сборник Огнестойкость строительных конструкций вып.2.– М.: ВНИИПО, 1984. – с.85-91.

94. Яковлев А. И. Огнестойкость легких наружных стен производства Финляндия / А. И. Яковлев // Огнестойкость строительных конструкций. – М. : ВНИИПО, 1986. – С. 74–76.

95. Boris A.P. An Experimental Study of Fire Retardant Coverings for Metal Structures/ A. P. Boris, A. P. Polovko, R. B. Veselivskii // Bezpieczeństwo I Technika Pożarnicza Safety & Fire Techique – Józefów: 2014 – vol. 35 issue 3 – pp.123-128.

96. BS 476 Parts 20-23:1987 Fire tests on Building Materials and Structures (except furnace is diesel fired).

97. BS 476:Part 20:1987 Method for determination of the fire resistance of elements of construction.

98. Demchyna B. G. Advances in the fire-resistance theory for multilayered structures / B. G. Demchyna, M. I. Kolyakov, V. S. Lundyak // Bespieczeństwo pożarowe budowli. II Miedzynarodowa konferencja. – Warszawa, 1997. – S.27-29.

99. EN 13381-4:2002. Метод испытаний по определения вклада в огнестойкость элементов строительных конструкций - Часть 4: применение огнезащитных покрытий для стальных строительных конструкций.

100. EN 1363 Вогнестійкість Частина 1: Загальні вимоги Частина 2: Альтернативні й додаткові вимоги.

101. EN 1363-1: 1999 “Fire resistance tests- Part 1: General requirements”. (Випробування на вогнестійкість. Частина 1: Загальні вимоги).

102. ДСТУ- Н Б В.1.2-13:2008 Система надійності та безпеки у будівництві. Настанова. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT).

103. ДСТУ Б В.1.1-20:2007 Захист від пожежі. Перекриття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-2:1999, NEQ).
104. ДСТУ Б В.1.1-19:2007 Захист від пожежі. Несучі стіни. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-1:1999, MOD)
105. ДСТУ Б В.1.1-14:2007 Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-4:1999, NEQ)
106. EN 771-4 Технічні умови для стінових каменів - Частина 4: Стінові камені з пінобетону (газобетону автоклавної обробки).
107. ISO 9705:1993 (AS ISO 9705-2003) Fire tests – Full scale room test for surface products.
108. Israngkura Na Ayudhya B. Compressive and splitting tensile strength of autoclaved aerated concrete AAC) containing perlite aggregate and polypropylene fiber subjected to high temperatures// Songklanakarın J. Sci. Technol. 33 (5), 555-563, 2011
109. Magnusson S. Rational design methodology foe fire exposed load bearing structures / S. Magnusson, O. Pettersson // Fire Safety Journal. – 1981. – Vol. 3. – Nos. 2-4. – P. 227-241.
110. Na Ayudhya B. “Предел прочности при сжатии и растяжении автоклавного газобетона, содержащего перлит и полипропиленовые волокна при воздействии высоких температур” .
111. Pogoryelski J. A. Oznaczenie wysokotemperaturowej przewodności cieplnej izolacji ogniochronnych z badań ich skuteczności ogniochronnej / J. A. Pogoryelski // Prace ITB. — 1983. – Nr 2. – S.45-54.
112. prEN 12602 Збірні (заводського виготовлення) армовані компоненти пінобетону Додаток С - Стійкість (Опір) при проектуванні вогнестійкості складових і самих конструкцій з пінобетону.
113. prEN12602 Збірні армовані компоненти автоклавного газобетону.
114. ДСТУ-Н EN 1992-1-2:2010 Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT)

115. ДСТУ-Н EN 1994-1-2:2010 Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1994-1-2:2005, IDT).

116. ДСТУ-Н EN 1995-1-1:2010 Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1995-1-2:2004, IDT).

117. prEN 1997 Єврокод 7: Геотехнічне проектування.

118. S. Somi "Влияние влажности на свойства автоклавного газобетона", Восточный Средиземноморский университет, Северный Кипр, 2011 год.

119. Segerlind L. J. Applied Finite Element Analysis / Segerlind L. J. – New York: John Wiley and Sons Inc., 1976. [В наявності переклад: Сегерлинд Л. Д. Применение метода конечных элементов / Сегерлинд Л. Д.; пер. с англ. А. А. Шестакова под ред. Б. Е. Победри. – М. : Мир, 1979. – 394 с.]

120. Somi S. Humidity Intrusion Effects on Properties of Autoclaved Aerated Concrete Submitted to the Institute of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Civil Engineering. Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus - November 2011.

121. ДБН В.2.6-163-2010) Конструкції будинків і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу.

122. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд (EN 1991-1-1:2002, IDT).

123. EN 1998 Єврокод 8: Проектування сейсмостійких конструкцій.

124. ДСТУ-Н Б EN 1999-1-2:2010 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-2. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1991-1-2:2002, IDT).

125. ТУ У24.6-31522416-2004 Высокотемпературные связующие и производные от них материалы.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Атестат та протокол позачергової атестації печі



АТЕСТАТ № 885А

На Випробувальну вогневу піч
заводський номер 1, виготовлену УкрНДПБ МНС України,
що належить НДЦ досліджень і випробувань у сфері пожежної та
техногенної безпеки УкрНДПЦЗ

За результатами позачергової атестації,
проведеної в НДЦ досліджень і випробувань у сфері пожежної та
техногенної безпеки УкрНДПЦЗ 25 червня 2013 р. атестаційною
комісією, створеною наказом начальника УкрНДПЦЗ
10.01.2013 р. за № 04,

у зв'язку з виведенням з резерву,
визнано, що Випробувальна вогнева піч
відповідає вимогам нормативних документів і дозволяється до
використання для проведення експериментальних випробувань з оцінки
часу досягнення граничних станів конструкцій з вогнестійкості
згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98*.

Термін дії атестата до 25 червня 2015 року

Начальник УкрНДПЦЗ



В.С. Кропивницький

ПРОТОКОЛ № 747A

позачергової атестації випробувальної вогневої печі

25 червня 2013 р.

Комісія в складі:

Голова

комісії: заступник начальника інституту Коваленко В.В.

Члени

комісії: заступник начальника центру - начальник відділу випробувань речовин та матеріалів на пожежну небезпеку науково-випробувального центру Добростан О.В.;

заступник начальника центру - начальник відділу пожежної та техногенної безпеки об'єктів науково-дослідного центру протипожежного захисту та техногенної безпеки Скоробагатько Т.М.;

начальник відділу випробувань електротехнічних виробів на пожежну небезпеку науково-дослідного центру досліджень і випробувань у сфері пожежної та техногенної безпеки Іллюченко П.О.;

старший науковий співробітник відділу аварійно-рятувальних технологій і пожежогасіння науково-дослідного центру протипожежного захисту та техногенної безпеки Кухарішин С.Д.;

начальник сектору метрології науково-випробувального центру Шеверев Є.Ю.;

створена на підставі наказу начальника УкрНДЦЗ від 10.01.2013 р. № 4, провела відповідно до програми та методики атестації (далі, програми атестації) позачергову атестацію випробувальної вогневої печі, яка належить УкрНДЦЗ.

Мета атестації – перевірка спроможності печі відтворювати стандартний температурний режим, що регламентується ДСТУ Б В.1.1-4-98* і визнання придатності печі до експлуатації.

Перед атестацією було перевірено дієвість усіх вузлів та пристроїв печі відповідно до паспорта.

1 ЗАСОБИ АТЕСТАЦІЇ

Необхідні засоби атестації (див. таблицю 1.1) є у наявності. Усі засоби вимірювань мають діючі клейма або свідоцтва про повірку.

Таблиця 1.1 - Засоби атестації

№ з/п	Найменування	Заводський номер	Діапазон вимірювання	Клас точності, похибка засобу вимірювальної техніки	Дата наступної атестації або перевірки
1	ІВС "Термоконт"	б/н	Від 0 °С до 1200 °С	± 0,35 %	07.2013
2	Термопари ТХА	б/н	Від 0 °С до 333 °С; від 334 °С до 1200 °С	± 2,5 °С; ± 0,0075·T _{вим}	09.2013
3	Секундомір СОС пр. 2Б-2-000	6307	Від 0 с до 3600 с; від 0 с до 60 с; більше 60 с	2 клас точності; ± (0,4·τ _{вим} / 60) с; ± (0,4+1,5·(τ _{вим} -60)/3540) с	08.2013
4	Лінійка вимірювальна	б/н	Від 0 мм до 1000 мм	± 1,0 мм	11.2013
5	Психрометр аспіраційний МВ-4М	14689	Від мінус 10 °С до 50 °С; від 10 % до 100 %	± 0,2 °С; ± 4 %	02.2014
6	Барометр-анероїд М67	909	Від 600 мм рт. ст. до 800 мм рт. ст.	± 1 мм рт. ст.	02.2014
7	Ваги АД-200	1330	Від 0 г до 200 г	3 клас точності; ± 0,005 г	04.2014
8	Тягонапоромір ТНЖ	36442	Від 0 Па до 100 Па	± 2 Па	04.2014

Для сушіння ватних тампонів використано термошафу СНОЛ (атестат № 830, термін дії до 06.2013 р.), для зберігання ватних тампонів – ексікатор.

2 УМОВИ АТЕСТАЦІЇ

Атестація була проведена 25 червня 2013 року у лабораторному приміщенні на пожежно-випробувальному полігоні УкрНДІЦЗ, де піч розташована постійно, за таких умов:

- температура повітря на відстані 1 м від стінок печі 23,4 °С;
- відносна вологість повітря 65 %;
- атмосферний тиск 741 мм рт. ст.;
- напруга живлення в системі реєстрації температур 220 В;
- напруга живлення в системі подавання пального 380 В.

3 РЕЗУЛЬТАТИ АТЕСТАЦІЇ

3.1 В результаті атестації випробувальної вогневої печі встановлено:

- комплектність печі відповідає паспорту;
- розміри вогневої камери печі: глибина - 850 мм; ширина - 650 мм; висота - 730 мм відповідають паспорту. Значення глибини вогневої камери відповідає вимозі А.1.3 ДСТУ Б В.1.1-4 -98*;

3
- товщина футерівки печі з ПТКВ-220 - 60 мм; теплова інерція футерівки з ПТКВ-220 згідно з довідковими даними за температури 500 °С - $230 \text{ Вт} \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{°С}^{-1}$, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.1.1-4-98*;

- температурний режим в печі забезпечується спалюванням дизельного пального;

- пальне у пальники подається автоматично;

- полум'я дальників у процесі випробувань не торкається зразків, що випробовуються;

- система реєстрації температур забезпечує реєстрацію температур з інтервалом 1 с;

- надлишковий тиск вимірюється тягонапороміром ТНЖ.

Для перевірки цілісності використовуються пристрої, які виконано згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98*.

Пристрій на основі ватного тампону згідно з Б.5.1 ДСТУ Б В.1.1-4-98* складається з ватного тампону та дротяної рамки, що має ручку з тримачем.

Тампон розмірами 100 мм × 100 мм × 20 мм виготовлено з м'якої нефарбованої бавовняної вати. Маса тампона після сушіння 3,5 г.

Тампон закріплюється за допомогою дротяних затискачів в рамці розміром 100 мм × 100 мм, що виготовлена з дроту діаметром 1 мм. Рамка має дротяні обмежувачі завдовжки 25 мм, що встановлені в кутах рамки перпендикулярно площині рамки.

Температурний режим у печі контролювали за допомогою термопар типу ТХА з діаметром дроту 1,2 мм, які встановлено у печі постійно.

Надлишковий тиск контролюється тягонапороміром ТНЖ, який має діапазон вимірювання від 0 до 100 Па, з похибкою ± 2 Па.

Температура на необігрівальній поверхні зразка для атестації у вигляді плити вимірювалась термопарами типу ТХА з діаметром дроту 0,5 мм, які встановлені згідно з вимогами 5.12 програми атестації.

3.2 В результаті перевірки функціонування системи реєстрації температури та системи подавання пального встановлено, що системи знаходиться у робочому стані. Вимоги безпеки виконуються; системи заземлені. Система спалювання пального забезпечує запалювання пальників протягом 60 с.

3.3 Для проведення атестації було використано два зразки для атестації, які відповідають вимогам 4.2.3 програми атестації. Розміри зразка у вигляді плити 800 мм × 800 мм, товщина - 80 мм. Переріз цегляної колони - 0,045 мм², висота колони - 700 мм.

3.4 Термопари Тп1 - Тп5 для вимірювання температури у печі з зразком для атестації у вигляді плити розташовані в печі на відстані (100 ± 10) мм від поверхні передньої стінки печі. При цьому з одного боку печі встановлено 3 термопари, з другого боку - 2 термопари. По висоті печі термопари встановлено рівномірно, відстань від бокових поверхонь стінок печі - 200 мм ± 10 мм.

3.5 Нагрівання печі протягом 95 хв з зразком у вигляді плити проведено згідно з вимогами 5.13 - 5.16 програми атестації, та згідно з 5.13 - 5.16, 5.18 - з зразком у вигляді колони. Час проведення атестації - 95 хв. Результати вимірювання температури у печі з зразком для атестації у вигляді плити наведено у таблиці 3.1; результати вимірювання температури на необігрівальній поверхні зразка у вигляді плити наведено у таблиці 3.2; результати вимірювання температури у печі з зразком у вигляді колони наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.1 – Температурний режим в печі під час атестації з зразком для атестації у вигляді плити

Час випробування, хв	Надлишковий тиск, Па	Температура в печі під час випробування, °С						Стандартний температурний режим у печі за ДСТУ Б В.1.1-4-98		
		Тп1	Тп2	Тп3	Тп4	Тп5	Тf	Номінальні значення температури в печі, °С	Допустимі значення температури в печі, °С	
t _j	P	Тп1	Тп2	Тп3	Тп4	Тп5	Тf	T _{ss}	T _{max}	T _{min}
0	8	39	38	38	37	38	38	20	50	5
5	8	681	602	573	594	635	617	576	663	490
10	8	693	741	667	655	709	693	678	780	577
15	8	751	694	681	722	735	717	739	831	646
20	8	803	759	760	795	814	786	781	859	703
25	8	829	794	808	832	845	822	815	876	754
30	8	847	815	829	851	863	841	842	884	800
35	8	882	859	871	884	890	877	865	904	825
40	8	914	875	893	905	921	902	885	922	848
45	8	927	881	899	915	934	911	902	936	868
50	8	932	893	908	924	939	919	918	949	887
55	8	947	915	926	937	948	935	932	960	905
60	8	972	939	954	968	981	963	945	969	922

5

65	8	987	945	963	982	902	956	957	981	933
70	8	995	959	972	991	1003	984	968	993	944
75	8	1003	971	980	994	1005	991	979	1003	954
80	8	1009	974	983	998	1010	994	988	1013	964
85	8	1014	981	987	1003	1014	1000	997	1022	972
90	8	1018	997	995	1014	1018	1008	1006	1031	981
95	8	1024	1006	1009	1019	1022	1016	1014	1039	989

Примітка: T_f - середня температура в печі.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання температури на необігрівальній поверхні зразка для атестації у вигляді плити

Час t_j , хв	Температура, °C					
	на поверхні зразка					середня за даними термопар Т1-Т5 T_{cp}
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	
0	30	28	30	29	30	29
5	28	30	30	30	29	29
10	31	30	31	30	30	30
15	31	30	31	30	31	31
20	34	32	33	34	33	33
25	37	39	40	35	35	37
30	40	41	42	37	38	40
35	43	44	47	40	41	43
40	50	48	52	46	45	48
45	54	55	57	51	49	53
50	58	61	62	59	57	59
55	63	64	67	65	65	65
60	68	67	71	69	68	69
65	73	69	74	75	73	73
70	75	72	77	78	75	75
75	78	75	79	80	77	78
80	81	77	82	82	79	80
85	85	80	86	87	83	84
90	89	84	91	92	87	87
95	93	88	94	95	89	92

Таблиця 3.3 – Температурний режим в печі під час атестації з зразком для атестації у вигляді колони

Час випробування, хв	Надлишковий тиск, Па	Температура в печі під час випробування, °С						Стандартний температурний режим у печі за ДСТУ Б В.1.1-4-98		
		$T_{п1}$	$T_{п2}$	$T_{п3}$	$T_{п4}$	$T_{п5}$	T_f	Номінальні значення температури в печі, °С	Допустимі значення температури в печі, °С	
t_j								T_s	T_{max}	T_{min}
0	8	29	31	30	30	31	30	20	50	5
5	8	541	495	508	483	525	510	576	663	490
10	8	649	594	627	619	655	629	678	780	577
15	8	754	695	731	725	747	730	739	831	646
20	8	789	753	807	775	784	782	781	859	703
25	8	804	788	849	793	821	811	815	876	754
30	8	835	814	861	829	859	840	842	884	800
35	8	847	823	879	841	875	853	865	904	825
40	8	874	856	895	873	891	878	885	922	848
45	8	897	889	914	901	912	903	902	936	868
50	8	909	902	931	917	929	918	918	949	887
55	8	925	934	957	940	963	944	932	960	905
60	8	929	941	965	949	971	951	945	969	922
65	8	937	950	972	955	982	959	957	981	933
70	8	945	961	980	963	989	970	968	993	944
75	8	963	972	991	975	1007	982	979	1003	954
80	8	975	980	1003	984	1014	991	988	1013	964
85	8	986	993	1012	995	1019	1001	997	1022	972
90	8	997	1004	1017	1009	1024	1010	1006	1031	981
95	8	1005	1012	1023	1015	1028	1017	1014	1039	989

Примітка: T_f - середня температура в печі.

4 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

4.1 Обробку результатів вимірювань температури у печі та на зразку для атестації проведено згідно з 6.1 та 6.2 програми атестації.

Границя допустимої інструментальної похибки θ_1 вимірювально-інформаційної системи дорівнює 0,35 % від вимірювальної величини, при цьому:

на рівні 375 °С $\theta_1 = \pm 1,31$ °С;

на рівні 850 °С $\theta_1 = \pm 2,97$ °С;

на рівні 1100 °С $\theta_1 = \pm 3,85$ °С.

Границя допустимої похибки вимірювання термопарою ТХА згідно з ДСТУ 2837 - 95 (ГОСТ 3044 -95) дорівнює:

- на рівні 375 °С $\theta_2 = \pm 2,81$ °С;
- на рівні 850 °С $\theta_2 = \pm 6,37$ °С;
- на рівні 1100 °С $\theta_2 = \pm 8,25$ °С.

4.1.1 Згідно з формулою (6.1) програми атестації інструментальна похибка вимірювання температури в печі термопарами типу ТХА дорівнює:

- на рівні 375 °С $\theta = 1,1\sqrt{1,31^2 + 2,81^2} = 3,41$ °С < ± 15 °С;
- на рівні 850 °С $\theta = 1,1\sqrt{2,97^2 + 6,37^2} = 7,73$ °С < ± 15 °С;
- на рівні 1100 °С $\theta = 1,1\sqrt{3,85^2 + 8,25^2} = 10,01$ °С < ± 15 °С;

4.1.2 Для вимірювання температури на зразку придатні термопари типу ТХА (у яких похибка вимірювання температур до 333 °С не перевищує 4 °С):

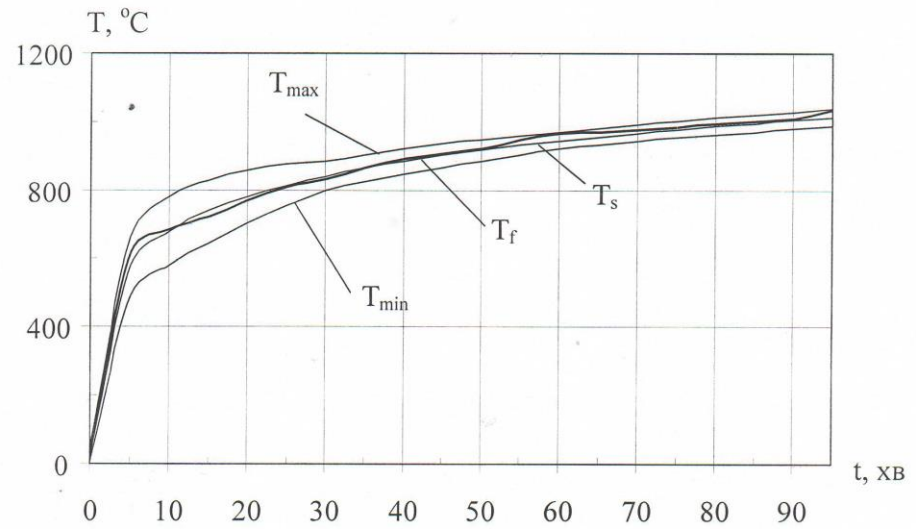
$$\theta = 1,1\sqrt{1,17^2 + 2,5^2} = 3,03$$
 °С < ± 4 °С [1]

4.2 За даними таблиць 3.1 і 3.3 визначено середню температуру у печі; за даними таблиці 3.2 визначено середню температуру на необігрівальній поверхні зразка у вигляді плити. Залежність середніх температур у печі від часу $T_f(°C) = f(t)$, хв, що отримана з зразком для атестації у вигляді плити та графік стандартного температурного режиму з допустимими відхиленнями від нього наведено на рисунку 4.1. Залежність середньої температури у печі від часу $T_f(°C) = f(t)$, що отримана при атестації з зразком у вигляді колони, та графік стандартного температурного режиму з допустимими відхиленнями від нього наведено на рисунку 4.3.

Залежність температур на поверхні зразка у вигляді плити від часу наведено на рисунку 4.2.

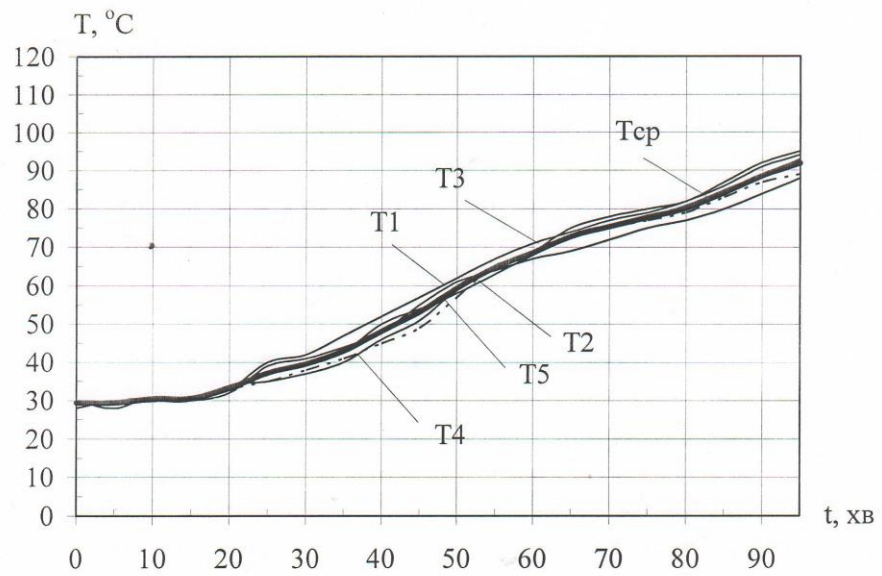
4.3 За даними вимірювань температури у печі протягом 95 хв перевищення середньої температури над початковою на необігрівальній поверхні зразка для атестації у вигляді печі менше ніж 140 °С та перевищення температури у довільній точці поверхні зразка над початковою менше ніж 180 °С (див. таблицю 4.2), при

цьому цілісність зразка не була порушена. Згідно з вимогами ДСТУ Б В.1.1-4-98*⁸ межа вогнестійкості зразка для атестації у вигляді плити не менше 90 хв .



T_f – значення середньої температури в печі під час атестації;
 T_s – номінальне значення температури в печі;
 T_{\min} , T_{\max} – відповідно мінімальне та максимальне допустимі значення температури в печі.

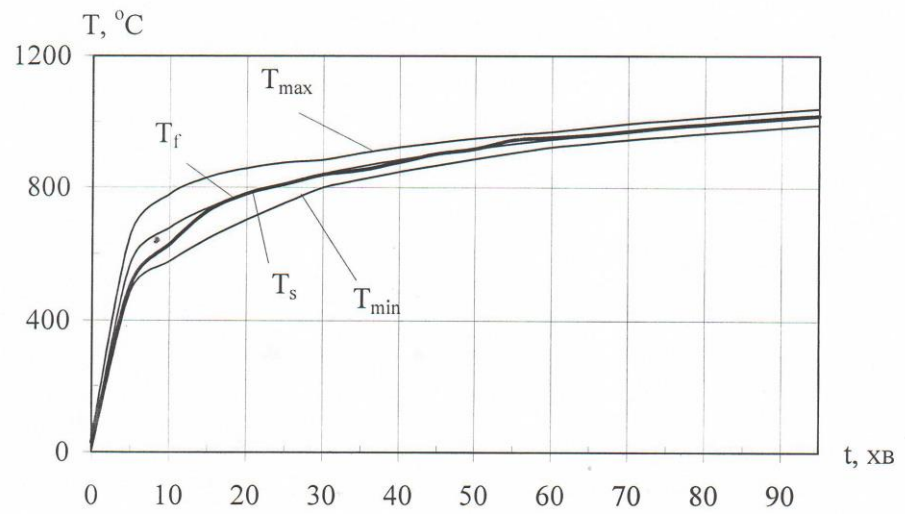
Рисунок 4.1 – Температурний режим в печі під час атестації з зразком для атестації у вигляді плити



T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 — значення температур на необігрівальній поверхні зразка у вигляді плити;

$T_{ср}$ — значення середньої температури на необігрівальній поверхні зразка у вигляді плити;

Рисунок 4.2 - Залежності температури зразка у вигляді плити від часу під час проведення атестації



T_f – значення середньої температури в печі під час атестації;
 T_s – номінальне значення температури в печі;
 T_{\min} , T_{\max} – відповідно мінімальне та максимальне допустимі значення температури в печі.

Рисунок 4.3 – Температурний режим в печі під час атестації з зразком для атестації у вигляді колони

5 РЕКОМЕНДАЦІЇ КОМІСІЇ

5.1 Інструментальна похибка вимірювання температури у печі (див. 4.1.1 протоколу атестації) не перевищує допустиму похибку вимірювання ± 15 °С, яка регламентується 5.3 ДСТУ Б В.1.1-4-98*.

5.2 Інструментальна похибка вимірювання температури на необігрівальній поверхні зразка (див.4.1.2 протоколу атестації) не перевищує допустиму похибку вимірювання ± 4 °С, яка регламентується 5.3 ДСТУ Б В.1.1-4-98*.

5.3 Температурний режим у печі під час атестації з зразком у вигляді плити і з зразком у вигляді колони відповідає стандартному температурному режиму та не виходить за допустимі значення згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98*.


5.4 Випробувальна вогнева піч може бути застосована для проведення експериментальних випробувань з оцінки часу досягнення граничних станів конструкцій з вогнестійкості згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98*.

5.5 Наступну атестацію провести не пізніше 25.06.2015 р.

Атестацію провели:


Голова комісії:

Члени комісії:

 В.В. Коваленко

 О.В. Добростан

 Т.М. Скоробагатько

 П.О. Іллюченко

 С.Д. Кухарішин

 Є.Ю. Шеверєв

Атестацію підготував:

Науковий співробітник відділу випробувань речовин та матеріалів на пожежну небезпеку науково-випробувального центру

 Т.В. Самченко

Провідний інженер відділу випробувань речовин та матеріалів на пожежну небезпеку науково-випробувального центру

 Є.М. Охоцький

ДОДАТОК Б

МЕТОДИКА
експериментальних випробувань з визначення вогнезахисної
здатності
покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовуються для
вогнезахисту будівельних конструкцій



УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник УкрНДЦЗ

В.С. Кропивницький
“ 2013 року



МЕТОДИКА 182

експериментальних випробувань з визначення вогнезахисної здатності
покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовуються для вогнезахисту
будівельних конструкцій

УЗГОДЖЕНО

Начальник науково-випробувального
центру УкрНДЦЗ

Т.М. Скоробагатко

Начальник сектору метрології
УкрНДЦЗ

Є.Ю. ШEVEREV

Київ-2013

ЗМІСТ

1 Сфера застосування.....	3
2 Нормативні посилання.....	3
3 Сутність методу випробувань	3
4 Засоби випробувань.....	4
5 Умови проведення випробувань	6
6 Зразки для випробувань.....	6
7 Підготовка і проведення випробувань.....	8
8 Оцінювання результатів випробувань.....	9
9 Оформлення результатів випробувань.....	10
10 Вимоги безпеки.....	10

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Ця методика встановлює експериментальний метод визначення часу збереження вогнезахисної здатності покриттів із ніздрюватих бетонів за показником втрати теплоізолявальної спроможності.

1.2 Методика може застосовуватись для експериментальної оцінки вогнезахисної здатності інших вогнезахисних матеріалів.

1.3 Методика може застосовуватись при визначенні вихідних даних для розрахунку теплофізичних характеристик вогнезахисних матеріалів.

1.4 Методика не призначена для цілей сертифікації.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цій методиці є посилання на такі нормативні документи:

1. ДБН В.1.1-7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва;
2. ДСТУ Б В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги;
3. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002, NEQ);
4. ДСТУ-Н EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції – Частина 1-2: Загальні дії – Дії на конструкції під час пожежі з технічною поправкою EN 1991-1-2:2002/AC:2009 (EN 1991-1-2:2002 IDT);
5. 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);
6. ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:201X Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій - Частина 1-2. Загальні положення. - Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1996-1-2:2005, IDT);
7. ТУ У24.6-31522416-2004 Высокотемпературные связующие и производные от них материалы;
8. ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 3044-94) Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення.

3 СУТНІСТЬ МЕТОДУ ВИПРОБУВАНЬ

3.1 Основою методу є існуюча методологія щодо визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій за втратою теплоізолювальної спроможності (I) [1] від початку температурного впливу за стандартним (або альтернативним) температурним режимом [2, 3, 4].

3.2 Сутність методу випробувань полягає у визначенні проміжку часу до досягнення основою (із вуглецевої сталі) фрагмента вогнезахищеної будівельної конструкції критичної температури руйнування [5] з початку температурного впливу за стандартним (або альтернативним) температурним режимом через втрату теплоізолювальної здатності вогнезахисного покриття (із ніздрюватого бетону).

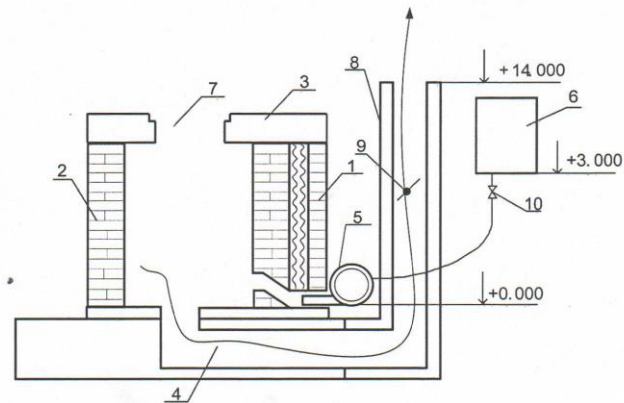
4 ЗАСОБИ ВИПРОБУВАНЬ

4.1 Випробувальне обладнання для проведення експериментальних випробувань фрагментів будівельних конструкцій (випробувальна вогнева піч) та засоби виміральної техніки, що мають використовуватися під час випробувань [2], представлені в таблицях 4.1 та 4.2. Можуть бути використані аналогічні засоби виміральної техніки з метрологічними характеристиками не гіршими, ніж вказані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Випробувальна вогнева піч

Технічні характеристики	Значення
Об'єм вогневої камери	$(0,524 \pm 0,100) \text{ м}^3$
Діапазон робочих температур камери	Від $0 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1200 \text{ }^\circ\text{C}$
Надлишковий тиск у камері	$(10 \pm 2) \text{ Па}$

Вогнева піч повинна відповідати паспорту та забезпечувати стандартний температурний режим згідно з [2]. Функціональна схема вогневої печі представлена на рисунку 4.1.



1, 2- огорожувальні конструкції; 3- горизонтальна з'ємна кришка; 4 - димовий канал;
5 - форсунка; 6 - бак з дизельним паливом; 7- вогнева камера; 8 - димохід; 9 – заслінка
примусового газовідводу; 10 – вентиль

Рисунок 4.1 - Функціональна схема вогневої печі

Під час роботи печі дизельне паливо подається з бака (6) до форсунки (5). Температура у вогневій камері (7) регулюється об'ємом горючої повітряно-паливної суміші за допомогою вентиля (10). Продукти горіння видаляються через димовий канал (4) та димохід (8). Витік продуктів горіння регулюється заслінкою примусового газовідводу (9).

Стіни вогневої камери виготовляються з вогнестійкої шамотної цегли товщиною 250 мм, шару мінеральної вати товщиною 50 мм та звичайної червоної цегли товщиною 120 мм. Опорна конструкція печі - залізобетонна плита з одним чи декількома квадратними отворами розміром (600 ± 10) мм під зразки, що піддаються температурному впливу. Товщина опорної конструкції в місці встановлення зразка має склади (60 ± 10) мм. Горизонтальна та вертикальна з'ємні кришки виготовляються з жаростійкого бетону з перлітовим заповнювачем та армовані двома сітками арматури $\varnothing 16$ мм класу А-III з вічками (150×150) мм. У цих елементах при бетонуванні вмуровуються підйомні петлі для можливості їх монтажу. Контроль надлишкового тиску у печі здійснюється за допомогою тягонапоміру.

Таблиця 4.2 – Засоби вимірювальної техніки

Найменування і тип засобу вимірювання	Діапазон вимірювання	Клас точності, похибка засобу вимірювальної техніки
Інформаційно-вимірювальна система “Термококт”	Від 0 °С до 1200 °С	0,6 %
Термопары ТХА	Від 0 °С до 333 °С; від 334 °С до 1200 °С	$\pm 2,5$ °С; $\pm 0,0075 \cdot T_{\text{вим}}$
Психрометр аспіраційний МВ-4М	Від мінус 10 °С до 50 °С; від 10 % до 100 %	$\pm 0,2$ °С; ± 4 %
Секундомір СОС пр. 2Б-2-000	Від 0 с до 3600 с; від 0 с до 60 с; більше 60 с	2 клас точності; $\pm (0,4 \cdot \tau_{\text{вим}} / 60)$ с; $\pm (0,4 + 1,5 \cdot (\tau_{\text{вим}} - 60) / 3540)$ с
Штангенциркуль ШЦ-1	Від 0 мм до 125 мм	2 клас точності; $\pm 0,1$ мм
Барометр-анероїд М67	Від 600 мм рт. ст. до 800 мм рт. ст.	± 1 мм рт. ст.
Лінійка вимірювальна	Від 0 мм до 1000 мм	$\pm 1,0$ мм
Тягонапоромір ТНЖ-Н	Від 0 Па до 250 Па	$\pm 0,5$ %
Ваги СВП-50	Від 0 кг до 20 кг; від 20 кг до 50 кг	$\pm 0,02$ кг; $\pm 0,04$ кг

5 УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

Умови навколишнього середовища, температурний режим та надлишковий тиск у печі повинні відповідати встановленим вимогам [2].

6 ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ

6.1 Для проведення кожного випробування із визначення вогнезахисної здатності виготовляються по два однакові дослідні зразки фрагментів будівельних конструкцій, що складаються з конструктивної основи, вогнезахисного покриття та в'язучого прошарку. В якості основи застосовують квадратні сталеві пластини (марка Ст3пн) зі стороною (500 ± 5) мм, завтовшки $(5,0 \pm 0,2)$ мм. З обігрівальної поверхні на високотемпературному композитному матеріалі (в'язучий прошарок)

ТИ-1К-А(Х) [7] завтовшки $(2,0 \pm 1,0)$ мм кріпиться вогнезахисне покриття з заданими ваго-габаритними розмірами.

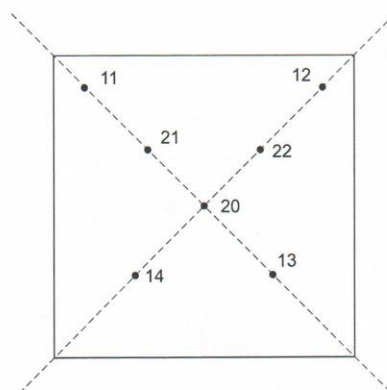
6.2 Клейове кріплення здійснюється за відповідною технологією [7], а саме: композиційний матеріал наноситься шпателем на поверхню вогнезахисного покриття за температурного режиму від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+60^{\circ}\text{C}$ та вологості повітря не більше 85 % та притискається до попередньо очищеної сталевій пластини. Висихання клеючої маси за температури $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ складає не менше 22 годин. Можлива прискорена сушка покриття термічним шляхом.

6.3 Температура на необігрівній поверхні зразка (сталевий лист) вимірюється за допомогою п'ятих термопар, одна з яких прикріплена у геометричному центрі необігрівної поверхні, а інші – в геометричних центрах окремих її чвертей. Допускається, із застосуванням геометричної залежності, використання іншої кількості термопар, але не менше ніж двох.

6.4 Для уточнення результатів випробувань можуть встановлюватися додаткові термопари за принципом геометричної залежності.

6.5 Застосовуються термопари типу ТХА згідно [2], [8]. Схема розміщення термопар представлена на рисунку 6.1.

Рисунок 6.1 – Схема розміщення термопар на дослідному зразку



№ 13, 14, 20, 21, 22 – оптимальне розміщення термопар;
№ 11, 12 – приклад розміщення додаткових термопар.

6.6 Дослідний фрагмент будівельної конструкції встановлюють на отвір опорної конструкції печі через теплоізоляційну вставку з керамічної вати завтовшки (10 ± 2) мм. З необігрівної поверхні основа дослідного зразка (сталева пластина) закривається теплоізоляційною плитою. Теплоізоляційна плита повинна складатися з двох шарів. Нижній шар, що примикає до сталевій пластини, з керамічної вати завтовшки (20 ± 5) мм (наприклад два шари мулітокремнеземистого фетру), а верхній з базальтової плити завтовшки (100 ± 10) мм та густиною (100 ± 20) кг/м³.

6.7 Зразки мають відповідати технічним умовам та бути врівноважені з навколишнім середовищем з відносною вологістю від 45 % до 75 % за температури від 5 °С до 40 °С протягом 48 годин. Допускається природне або штучне сушіння зразків за температури повітря, що не перевищує 60 °С.

6.8 Зразки вважаються врівноваженими з навколишнім середовищем якщо їх маса є сталою та не змінюється в часі протягом двох годин ± 20 г.

7 ПІДГОТОВКА І ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

7.1 Зразок в піч може встановлюватися як у вертикальному, так і в горизонтальному положенні, в залежності від роботи будівельної конструкції в реальних умовах.

7.2 Провести з'єднання термопар від зразка до вимірювальної системи і перевірити їх працездатність.

7.3 Не більше ніж за 3 хв до початку випробування необхідно зареєструвати початкові значення температури в печі та на зразку за показаннями усіх термопар.

7.4 Початком випробування вважається час увімкнення пальників у печі.

7.5 Розпочати реєстрацію температури в печі, на необігрівальній поверхні (або всередині) зразка, надлишковий тиск в печі з інтервалом не більше 1 хв.

7.6 Випробування проводяться не більше встановленого часу [1] або до досягнення необігрівною стороною випробувальної конструкції визначеної критичної температури $T_{кр.}$, що визначається за наступною формулою:

$$T_{кр.} = T_{н.с.} + T_{кр.м.} \quad (1)$$

де: $T_{н.с.}$ – температура навколишнього середовища;

$T_{кр.м.}$ – критична температура матеріалу основи конструкції визначена його теплофізичними характеристиками.

7.7 Випробуванням піддають не менше двох зразків.

7.8 Розбіжність максимального та мінімального значення випробування не повинна перевищувати 20%. У разі розбіжності значень випробувань більше 20% необхідно провести додаткове випробування, а час вогнезахисної здатності визначається, як середнє арифметичне двох менших значень.

7.9 Під час проведення випробувань необхідно вести фото та відео зйомку, фіксуючи поведінку зразка.

8 ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

8.1 За результат випробувань беруть проміжок часу до досягнення критичної температури, що визначена за формулою:

$$T_{кр} = T_{фкр} - \Delta t, \quad (2)$$

де: $T_{фкр}$ - середня критична температура сталевієї пластини під час випробувань, хв (найменше значення часу, що визначене за результатами випробувань двох однакових зразків);

Δt - похибка випробувань, хв.

8.2 Похибка випробувань визначається згідно додатку Г [2].

9 ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

9.1 Результати випробувань оформляються протоколом випробувань або звітом.

9.2 Протокол випробувань або звіт має містити таку інформацію:

- назву та адресу лабораторії, що проводила випробування;
- дату випробувань;
- умови проведення випробувань;

- назву виробника зразків;
- характеристики зразків;
- випробувальне обладнання та засоби виміральної техніки, що використовувалися під час випробувань, відомості про їх атестацію або перевірку;
- результати вимірювань під час випробувань (табличний та графічний способи);
- оцінку результатів випробувань з урахуванням похибки;
- висновки за результатами випробувань;
- підписи осіб, що проводили випробування.

10 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ

10.1 Організація роботи по техніці безпеки та охороні праці, а також загальне керівництво покладається на керівника лабораторії, в якій проводяться випробування, а по окремим ділянкам – на керівника ділянок цієї лабораторії.

10.2 До роботи в лабораторії допускаються особи, що пройшли інструктаж і навчання з безпеки праці та склали залік на допуск до самостійної роботи у відповідності з «Типовим положенням про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці».

10.3 Для закріплення знань з працівниками лабораторії проводять періодичні повторні інструктажі і перевірку знань.

10.4 Всі працівники лабораторії повинні володіти прийомами надання першої долікарської медичної допомоги при нещасних випадках.

10.5 В кожному робочому приміщенні повинна знаходитись повністю укомплектована аптечка першої медичної допомоги.

10.6 Якщо вогнева піч розміщена у приміщенні то це приміщення повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією, котра повинна включатись за 30 хв до початку роботи печі і вимикатись після її закінчення.

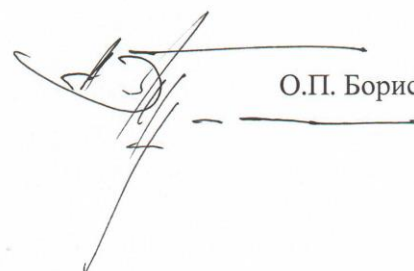
10.7 Працівники лабораторії повинні перед початком робіт надіти спецодяг і мати при собі індивідуальні засоби захисту, що передбачені в робочих інструкціях на проведення робіт.

10.8 В лабораторних приміщеннях повинні знаходитись первинні засоби пожежогасіння. Кожний співробітник лабораторії повинен знати, де вони знаходяться.

10.9 Після закінчення робочого дня кожний працівник лабораторії повинен навести порядок на робочому місці, вимкнути випробувальне обладнання та засоби вимірювальної техніки, систему вентиляції та освітлювальні прилади.

Розробники методики:

Заступник начальника УкрНДІЦЗ
(з протипожежної та техногенної безпеки)



О.П. Борис

ДОДАТОК В

ПАТЕНТ

(на корисну модель)

спосіб захисту будівельних конструкцій від пожежі

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 93839

СПОСІБ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД
ПОЖЕЖІ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.10.2014**.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

M. V. Koviya
М.В. Ковія



(11) **93839**(19) **UA**(51) МПК
E04B 1/94 (2006.01)(21) Номер заявки: **u 2014 09360**(22) Дата подання заявки: **22.08.2014**(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: **10.10.2014**(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: **10.10.2014,**
Бюл. № 19

(72) Винахідник:

Борис Олександр Павлович,
UA

(73) Власник:

Борис Олександр Павлович,
вул. Здолбунівська, 3-г, кв. 39,
м. Київ, 02081, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД ПОЖЕЖІ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб захисту будівельних конструкцій від пожежі шляхом їх внутрішнього оздоблення вогнестійким матеріалом, який відрізняється тим, що як вогнестійкий матеріал використовують плити з пінобетону товщиною 15-50 мм, а для монтажу плит використовують високотемпературний зв'язуючий самозатвердний однокомпонентний композитний клей, який наносять на поверхню будівельної конструкції шаром 1-2 мм.

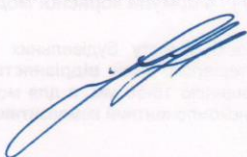
(11) 93839

UA

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
10.10.2014

Уповноважена особа





(підпис)



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93839** (13) **U**
(51) МПК
E04B 1/94 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2014 09360	(72) Винахідник(и):	Борис Олександр Павлович (UA)
(22) Дата подання заявки:	22.08.2014	(73) Власник(и):	Борис Олександр Павлович, вул. Здобунівська, 3-г, кв. 39, м. Київ, 02081 (UA)
(24) Дата, з якої с чинними права на корисну модель:	10.10.2014	(74) Представник:	Чьочь Вікторія Володимирівна, реєстр. №257
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.10.2014, Бюл.№ 19		

(54) СПОСІБ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД ПОЖЕЖИ

(57) Реферат:

Спосіб захисту будівельних конструкцій від пожежі включає внутрішнє оздоблення вогнестійким матеріалом. Як вогнестійкий матеріал використовують плити з пінобетону. Для монтажу плит використовують високотемпературний зв'язуючий самозатвердний однокомпонентний композитний клей, який наносять на поверхню будівельної конструкції.

**U
UA 93839 U**

UA 93839 U

Корисна модель належить до будівництва і може бути використана при устрої внутрішнього оздоблення дерев'яних, металевих, залізобетонних та інших несучих конструкцій житлових, громадських та промислових будівель та забезпечить межу вогнестійкості будівельних конструкцій від 30 до 120 хвилин (REI 30-REI 120) хвилин та нульову межу поширення вогню (M 0) відповідно до нормованого ступеню вогнестійкості будівлі.

У сучасному будівництві для підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій використовують різні вогнезахисні матеріали, наприклад, вогнезахисні фарби, штукатурки, а також плитні (листові матеріали). Серед плитних вогнезахисних матеріалів в Україні використовуються матеріали на основі базальтових, магнезитових, вермікулітових та перлітових складових, вогнезахисний гіпсокартон, плити "PROMATECT" та "ЕНДОТЕРМ". Кожний з цих вогнезахисних матеріалів має свої переваги та недоліки у співвідношенні "ціна - якість - зручність монтажу - дизайн - супутні ефекти та переваги". Монтаж плит, як правило, здійснюють закріпленням їх гвинтами-саморізами по сталевих профілях. Недоліком такого кріплення є значне збільшення площі конструкції, тривалість та трудомісткість монтажу, залежність конструкції вогнезахисту від якості вузлових з'єднань.

Відомий спосіб захисту будівлі від пожежі, де в якості внутрішнього оздоблення та вогнезахисту несучих будівельних конструкцій використовують перліто(вермікуліто)-цементну або цементно-піскову штукатурку товщиною 30-50 мм по двох шарах сітки, закріпленої до сталевих стрижнів діаметром 3,5-5 мм із кроком 600 мм, об'єднаних із робочою арматурою прихованого залізобетонного каркаса [1], що забезпечує нормовану межу вогнестійкості конструкцій будинків третього ступеня вогнестійкості.

Недоліки відомого способу полягають у тривалому часі висихання та високій трудомісткості робіт, пов'язаних з устроєм перліто(вермікуліто)-цементної або цементно-піскової штукатурки по двох шарах металевіт сітки і, як наслідок, збільшення строків будівництва, що значно знижують економічний ефект від використання подібного пасивного вогнезахисту конструктивних систем; підвищеній небезпеці травматизму при виконанні робіт усередині помешкань до завершення опоряджувальних робіт, пов'язаних з наявністю великої кількості арматурних випусків, що виступають за лицьову поверхню несучих конструкцій; наявністю в помешканнях будинку (у процесі його експлуатації) замкнених металевих контурів, що можуть здійснювати несприятливий вплив на здоров'я людей.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення способу шляхом використання як внутрішнього оздоблення плит з пінобетону, які щільно монтуєть на поверхню будівельних конструкцій за допомогою високотемпературного композитного клею, для забезпечення підвищеної вогнестійкості конструкцій, а також підвищення швидкості монтажу, технологічності та поліпшення якості внутрішнього оздоблення будівельних конструкцій.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб захисту будівельних конструкцій від пожежі включає внутрішнього оздоблення вогнестійким матеріалом, згідно з корисною моделлю, як вогнестійкий матеріал використовують плити з пінобетону товщиною 15-50 мм, а для монтажу плит використовують високотемпературний зв'язуючий самозатвердний однокомпонентний композитний клей, який наносять на поверхню будівельної конструкції шаром 1-2 мм.

Використання плит з пінобетону як вогнезахисного покриття забезпечує швидкість монтажу, зручність використання завдяки легкості обробки та розкрою, значну економію коштів та технологічну простоту.

Сучасні високотемпературні композитні клеї, наприклад, високотемпературний зв'язуючий самозатвердний однокомпонентний композитний клей, розроблений УкрНДІЕлектротерм, - це системи неорганічних елементів з присадками на основі оксидів металів, не містить органічних добавок, не виділяє токсичних чи шкідливих речовин у процесі нанесення, експлуатації та при пожежі. Має антикорозійні та антисептичні властивості. Не потребує застосування спеціальних ґрунтувальних сумішей. Є зручним у використанні і має високу температуру застосування - до 1250 °С.

Застосування високотемпературних композитних клеїв для монтажу плит з пінобетону значно підвищує вогнестійкість будівельних конструкцій, оскільки не є горючими матеріалами і не створюють вибухонебезпечних сумішей, не токсичні і не шкідливі для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Заявлений спосіб здійснюють таким чином.

Готують плити з пінобетону необхідного розміру і товщини від 15 до 50 мм робоча поверхня яких попередньо обробляється водно-клеювим розчином.

На поверхню дерев'яної, металевої, залізобетонної чи іншої будівельної конструкції наносять шар 1-2 мм високотемпературного зв'язуючого самозатвердного однокомпонентного композитного клею, після чого монтуєть плити з пінобетону. Можлива подальша декоративна

UA 93839 U

обробка поверхні.

Спосіб захисту будівельних конструкцій від пожежі пройшов апробацію на випробувальному полігоні Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту.

- 5 Під час випробування досліджували вогнестійкість металоконструкцій при стандартному температурному режимі із застосуванням плит з пінобетону марки D-800 різної товщини та плит з газобетону D-500.

Результати наведено у таблиці.

№	Матеріал плит / товщина (мм)	Час до отримання критичної температури на поверхні металу (хв)
1	Газобетон D-500, 40 мм	110
2	Пінобетон D-800, 20 мм	70
3	Пінобетон D-800, 40 мм	125

- 10 Таким чином, реалізація запропонованого способу захисту будівельних конструкцій від пожежі забезпечує високу тривалість вогнезахисту дерев'яних, металевих, залізобетонних та інших будівельних конструкцій, забезпечує підвищену вогнестійкість конструкцій, полегшує монтаж, а застосування доступних вітчизняних матеріалів забезпечує економічну вигоду.

Джерело інформації:

- 15 1. ДБН В 1.1.-7-2002 "Пожежна безпека об'єктів будівництва". - Київ: Держбуд України, 2003. - розділ 2, 4.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 20 Спосіб захисту будівельних конструкцій від пожежі шляхом їх внутрішнього оздоблення вогнестійким матеріалом, який відрізняється тим, що як вогнестійкий матеріал використовують плити з пінобетону товщиною 15-50 мм, а для монтажу плит використовують високотемпературний зв'язуючий самозатвердний однокомпонентний композитний клей, який наносять на поверхню будівельної конструкції шаром 1-2 мм.

25

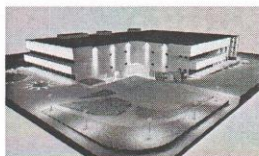
Комп'ютерна верстка С. Чулій

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

ДОДАТОК Г

Впровадження результатів дисертаційного дослідження



Товариство з обмеженою відповідальністю
«СПЕЦБУД-МОНОЛІТ»

Юридична адреса: 01001, м. Київ, вул. Михайлівська, 18В
 Тел.: (044) 583-53-15

Ідентифікаційний код ЄДРПОУ 37633636
 р/р 26001001355799 у АТ «ОТП БАНК» м. Київ
 МФО 300528
 Свідоцтво ПДВ № 200031128
 ПІН 376336326594

«22» 04 2015 р. № 15-98

на № _____ від «_____» _____ 201_ р.

ДОВІДКА

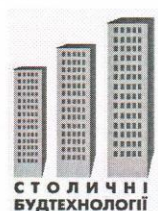
Про провадження результатів дисертаційної роботи
 Бориса Олександра Павловича

Результати дисертаційної роботи Бориса О.П. «Вогнезахисна здатність вогнезахисних покриттів із пінобетонних та газобетонних плиток», зокрема, графік залежності вогнестійкості та ширини несучої стіни з пінобетону марки Д800, було впроваджено при проведенні розрахунку та влаштуванні протипожежних перешкод у об'єкті: «Реконструкція виробничих будівель майнового комплексу під торговельний центр за адресою: вул. Здолбунівська, 7-Г у Дарницькому р-ні м. Києва».

Довідка видана для подання до спеціалізованої вченої ради К 35.87401 Львівського державного університету безпеки життєдіяльності у зв'язку з захистом дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Директор

О.М. Бабенко



Товариство з обмеженою відповідальністю
«СТОЛИЧНІ БУДТЕХНОЛОГІЇ»

Юридична адреса: 01001, м. Київ, вул. Михайлівська, 18В
 Тел.: (044) 583-53-15; 583-53-16

Ідентифікаційний код ЕДРПОУ 35392258
 р/р 26000001352265 у АТ «ОТП БАНК» м. Київ
 МФО 300528
 р/р 26001187083 «Райффайзен Банк Аваль» м. Київ
 МФО 380805
 Свідоцтво ПДВ № 200003232
 ПІН 353922526598

« 11 » 05 2015 р. № 57/294

на № ___ від «_» _____ 201_ р.

ДОВІДКА

Про провадження результатів дисертаційної роботи
 Бориса Олександра Павловича

Результати дисертаційної роботи Бориса О.П. «Вогнезахисна здатність вогнезахисних покриттів із пінобетонних та газобетонних плиток», зокрема, дослідження вогнезахисної здатності несучих стін з газобетонних блоків марки D 500, що використовуються у якості протипожежних перешкод знайшли своє впровадження у реальному об'єкті: «Будівництво житлового комплексу з вбудовано-прибудованими нежитловими торгово-офісними приміщеннями та підземним паркінгом на вул. Урицького, 16-А у Солом'янському районі м. Києва», а саме:

- відокремленні технічних приміщень технічного поверху будівлі у вісях Н-Г 3-4 протипожежною перегородкою з автоклавного газобетону марки D 500;
- влаштуванні протипожежної стіни електрощитової 1-го поверху будівлі у вісях Н-Г 6-7 протипожежною перегородкою з автоклавного газобетону марки D 500.

Довідка видана для подання до спеціалізованої вченої ради К 35.87401 Львівського державного університету безпеки життєдіяльності у зв'язку з захистом дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Директор

В. І. Олійник



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЕВОГО
БУДІВНИЦТВА

БІЗНЕС-ЦЕНТР «ПАНОРАМА», 6 ПОВЕРХ
ВУЛ. ВЕЛИКА ЖИТОМИРСЬКА, 20
КИЇВ 01001, УКРАЇНА
+38-044-590-01-56 | INFO@USCC.COM.UA

Вих.: №55/06.2015 від 12.06.2015р.

Український центр сталевих будівництва спеціалізується у сфері розрахунку вогнестійкості сталевих конструкцій та проектуванні вогнезахисних систем. В межах співпраці з Українським науково-дослідним інститутом цивільного захисту щодо впровадження новітніх технологій вогнезахисту у будівельній галузі співробітниками Центру ретельно вивчені та використовуються при видавництві Каталогу засобів вогнезахисту сталевих конструкцій результати дисертаційної роботи Бориса О.П. на тему «Вогнезахисна здатність вогнезахисних покриттів із пінобетонних та газобетонних плиток» щодо використання ніздрюватих бетонів у якості вогнезахисного покриття.

Крім того, запропоновані до використання емпіричні залежності мінімальної товщини вогнезахисного покриття із пінобетону та газобетону, зведеної товщини профілю та межі вогнестійкості металевих конструкцій (за критичних температур сталі) використовуються проектувальниками нашої організації для попередніх розрахунків вогнезахисних систем.

Вважаємо результати дисертаційної роботи актуальними, розроблений проект змін №1 до імплементованого в Україні Єврокоду 6 доречним.

Виконавчий директор



Шпак С.П.

СТАЛЬ. ПРАВИЛЬНИЙ ВИБІР.

WWW.USCC.COM.UA

Товариство з обмеженою
відповідальністю
"Донстройтест"



83004, м. Донецьк вул. Батищева, 2 а
т. /062/ 349-0-876, 213-0-876
/050/ 470-31-41
<http://www.dstest.com.ua>
E-mail: stroytest@ukr.net

Вих. № 03-04/14 від 17.04.2014 р.

ДОВІДКА

Одним з результатів дисертаційної роботи «Вогнезахисна здатність вогнезахисних покриттів із пінобетонних та газобетонних плиток» що виконана Борисом Олександром Павловичем є експериментальна методика випробувань на вогнестійкість фрагментів вогнезахищених будівельних систем.

На цей час запропонована методика встановлення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів за показником втрати теплоізолювальної спроможності використовується Регіональним випробувальним центром «Донстройтест» для проведення попередніх випробувань вогнезахисних штукатурок та вогнезахисних плит. Її застосування значно знижує фінансові затрати замовників у частині оцінки вогнестійкості та дозволяє отримати орієнтовні теплофізичні данні запропонованих до використання матеріалів без проведення натурних випробувань на вогнестійкість.

Директор




К.В. Калафат

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник УкрНДЦЗ

В.С. Кропивницький

2015 р.

АКТ

про практичне використання та впровадження
результатів дисертаційної роботи
Бориса Олександра Павловича



Комісія в складі: голови – заступника начальника Українського науково-дослідного інституту з цивільного захисту (УкрНДЦЗ) канд. техн. наук, ст. наук. співроб. Коваленка В.В. та членів комісії: начальника науково-дослідного центру технічного регулювання УкрНДЦЗ канд. техн. наук, ст. наук. співроб. Ніжника В.В. та начальника науково-організаційного відділу УкрНДЦЗ канд. техн. наук, ст. наук. співроб. Запольського Л.Л., склали цей акт, яким підтверджується практичне використання та впровадження результатів дисертаційної роботи Бориса О.П. в УкрНДЦЗ.

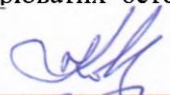
Автором проведені важливі для практики теоретичні та експериментальні дослідження щодо оцінювання вогнезахисної здатності різних типів вогнезахисних покриттів. Зокрема, ним самостійно розроблено «Методику експериментальних випробувань з визначення вогнезахисної здатності покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовуються для вогнезахисту будівельних конструкцій», яка використовується фахівцями УкрНДЦЗ.

Потрібно зазначити, що на теперішній час визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів за стандартизованими методами вимагає значних матеріальних витрат, що ускладнює їх в практичне застосування під час розроблення і впровадження вогнезахисних покриттів. При цьому, запропонована автором методика дозволяє проводити попередню оцінку та контроль вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів із значно меншими матеріальними витратами, що сприяє їх ефективному впровадженню у будівництві.

Крім того, даний напрямок досліджень визнано актуальним на секції пожежної та техногенної безпеки науково-технічної ради ДСНС України, що відбулось 27.08.2015, а подальші теоретичні та експериментальні дослідження передбачено провести у рамках НДР за шифром «Ефективність вогнезахисних покриттів».

Використання результатів дисертаційної роботи Бориса О.П. дозволяє підвищити оперативність та зменшити вартість робіт з оцінювання вогнезахисної здатності покриттів з ніздрюватих бетонів, що застосовуються для вогнезахисту будівельних конструкцій.

Голова комісії

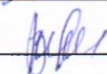


В.В. Коваленко

Члени комісії:



В.В. Ніжник



Л.Л. Запольський