

УДК 614.841.45

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ПЕЧІ НА РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ВИРОБІВ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.1.4-14>

Новак С. В^{1*}, ORCID iD 0000-0001-7087-318X

Добростан О. В^{1.}, ORCID iD 0000-0001-8908-0729

Абрамов О. О^{2.}

*E-mail: novak.s.fire@gmail.com

¹Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

²Випробувальний центр ТОВ «ТЕСТ», Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 16.03.2022

Пройшла рецензування: 15.04.2022

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

будівельні конструкції;
вогнестійкість; випробування;
засоби вимірювання температури;
пластинчасті термометри;
стрижневі термопар;
стандартний температурний
режим

АНОТАЦІЯ

Через відмінність у конструкціях засобів вимірювальної техніки, які застосовують згідно з національним і європейським стандартами для вимірювання температури в печі, не можна виключати невідповідності у створенні цими засобами однакового теплового впливу на зразки конструкцій для випробування, що може впливати на результати перевірки будівельних конструкцій і виробів на вогнестійкість, які проведено за національними та європейськими принципами. Така невизначеність зумовила проведення дослідження впливу параметрів засобів вимірювання температури в печі на результати випробувань будівельних конструкцій і виробів на вогнестійкість. У дослідженні ставилося за мету оцінювання збіжності результатів випробувань будівельних конструкцій і виробів на вогнестійкість, отриманих із застосуванням різних засобів вимірювання температури в печі (стрижневих термопар і пластинчастих термометрів), параметри яких наведено в національному і європейському стандартах (ДСТУ Б В.1.1-4-98* і EN 1363-1:2020). Для цього було вирішено завдання щодо визначення різниці між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму в печі та оцінки змінення проміжків часу до досягнення граничних станів будівельних конструкцій і виробів за вогнестійкістю у разі використання для вимірювання температури в печі пластинчастих термометрів замість стрижневих термопар. Виявлено, що найбільші значення вказаної вище різниці, які складають десятки відсотків, фіксуються у перші п'ять хвилин вогневого впливу, а з підвищенням цієї тривалості зазначена різниця значно зменшується – до декількох відсотків. Встановлено, що у разі застосування для вимірювання температури в печі пластинчастих термометрів можна прогнозувати отримання менших проміжків часу до досягнення граничних станів конструкцій за вогнестійкістю, ніж під час використання стрижневих термопар. Відмінність між результатами випробувань на вогнестійкість, отриманими із застосуванням пластинчастих термометрів і стрижневих термопар, може бути найбільшою для будівельних конструкцій та виробів з нормованим проміжком часу класифікації за вогнестійкістю, який становить 15 хвилин.

Постановка проблеми. Відповідно до національних і європейських принципів випробувань будівельних конструкцій та виробів на вогнестійкість, які зазначено в ДСТУ Б В.1.1-4-98* [1] і EN 1363-1:2020 [2], для оцінювання вогнестійкості застосовують випробувальне обладнання і засоби вимірювальної техніки, зокрема засоби для визначення температури в печі та зразка конструкції, яку випробовують. У печі створюють стандартний або інший номінальний температурний режим, який контролюють відповідними засобами вимірювання, і протягом вогневого впливу на зразок для випробування певної тривалості визначають його тепловий і (або) напружено-деформований стани. За результатами аналізу цих станів роблять висновок про вогнестійкість конструкції, яку випробовували.

Під час цих випробувань зазвичай застосовують стандартний температурний режим. Номінальна залежність

температури в печі від тривалості вогневого впливу для цього режиму є однаковою для вказаних вище національного та європейського стандартів і визначається за такою формулою:

$$T_s = 345 \lg(8t + 1) + 20, \quad (1)$$

де t – проміжок часу, що відраховується від початку вогневого впливу, хв;

T_s – температура в печі, яка відповідає проміжку часу t , °C.

Для вимірювання температури в печі застосовують різні засоби. Згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98* [1] для цього необхідно використовувати стрижневі термопари з діаметром дроту не більше 1,5 мм з неізованим вимірювальним спаєм. Відповідно до EN 1363-1:2020 [2] цими засобами є пластинчасті термометри, що являють собою збірки, які складаються (див. рис. 1): із вигнутої пластини, виготовленої зі сплаву нікелю, термопари, прикріпленої до неї, і теплоізоляційного матеріалу.

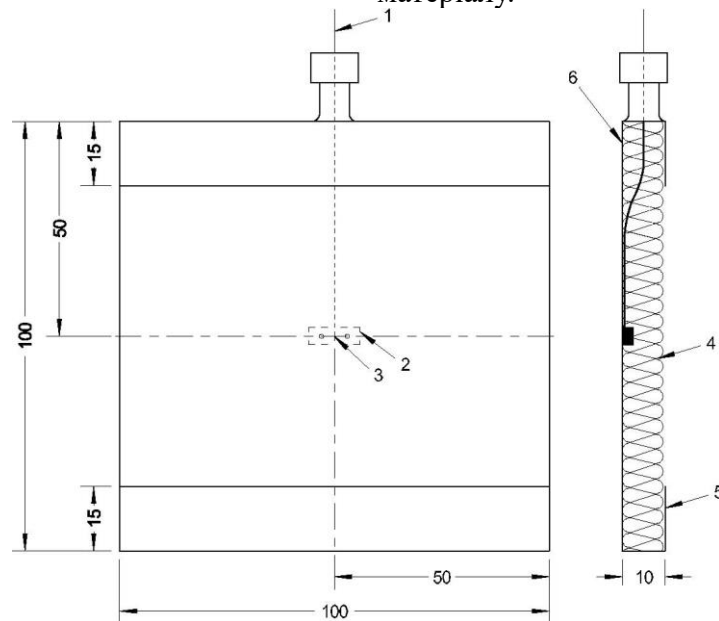


Рисунок 1 – Будова пластинчастого термометра для вимірювання температури в печі відповідно до EN 1363-1:2020 [2]

1 – термопара в оболонці з ізованим вимірювальним спаєм; 2 – сталева смужка, прикріплена точковим зварюванням або гвинтами; 3 – вимірювальний спай; 4 – теплоізоляційний матеріал (орієнтований у напрямку зразка для випробування); 5 – смужка зі сплаву нікелю товщиною $(0,7 \pm 0,1)$ мм; 6 – бік «А»

Джерело: розроблено авторами

Через відмінність в конструкціях засобів вимірювальної техніки, які застосовують за національним і європейським стандартами (ДСТУ Б В.1.1-4-98* [1] і EN 1363-1:2020 [2]) для вимірювання температури в печі, не можна виключити невідповідності у створенні в печі із застосуванням цих засобів однакового теплового впливу на зразки конструкцій для випробування, що може впливати на результати оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій і виробів. Така невизначеність зумовила проведення дослідження впливу параметрів засобів вимірювання температури в печі на результати випробувань будівельних конструкцій та виробів на вогнестійкість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За напрямом оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій та виробів проведено значну кількість досліджень, які опубліковані у вітчизняних і зарубіжних виданнях. Було визначено вплив параметрів конструкцій на їхню вогнестійкість, застосовуючи експериментальні методи, які ґрунтуються на оцінюванні теплового стану конструкцій в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом (формула (1)).

Так, у роботі [3] наведено результати дослідження впливу параметрів системи вогнезахисту на вогнестійкість сталевих колон. Показано, що застосування вогнезахисних екранів призводить до значного підвищення вогнестійкості цих конструкцій, а ефективність застосування екранів більша у разі наявності на поверхні колони пасивного покриття, ніж реактивного матеріалу. Під час розвідок [4] визначено дані щодо вогнестійкості сталевих конструкцій, захищених реактивним покриттям, які необхідні для його практичного застосування. Результати дослідження впливу зовнішнього покриття на ефективність реактивних вогнезахисних матеріалів для сталевих конструкцій надано в роботі [5]. У науковій праці [6] встановлено особливості залежності температури сталевих конструкцій з комбінованою системою вогнезахисту від

тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом. Визначено, що у разі застосування комбінованої системи вогнезахисту закономірним є підвищення тривалості досягнення критичної температури сталі порівняно з пасивною та реактивною системами вогнезахисту, що зумовлено ефективним поєднанням фізико-хімічних властивостей пасивного і реактивного вогнезахисних матеріалів. У роботі [7] наведено дані щодо поведінки сталевих колон з частковим пошкодженням вогнезахисту в умовах вогневого впливу, які дають змогу прогнозувати вогнестійкість таких сталевих конструкцій. За результатами дослідження, опублікованого в [8], визначено особливості розподілу температури на необігрівній поверхні сталевих повітроводів в умовах вогневого впливу і характеристики вогнестійкості сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту. Показано, що найбільші значення температура має на необігрівній поверхні повітроводу біля місця його ущільнення у вертикальній огорожувальній конструкції. В роботі [9] надано результати дослідження вогнестійкості кабельних проходок, у конструкції яких застосовано реактивний вогнезахисний матеріал, визначено вплив конструкційних параметрів цих кабельних проходок на їхню вогнестійкість.

Слід зауважити, що зазначені вище дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій і виробів були проведені із застосуванням випробувальних печей різної конструкції і різних засобів для вимірювання температури в печі. Так, у роботах [3; 6; 8–9], використовували стрижневі термопари, а в інших – пластинчасті термометри. Для отримання відтворюваних результатів оцінювання вогнестійкості важливо, щоб теплові впливи на зразки конструкцій, які підлягають випробуванню, забезпечували печами, були у заданих межах.

Основним джерелом інформації щодо теплового впливу на зразок, який випробовують на вогнестійкість,

є температура газоподібних продуктів у печі [10]. Температура, індикацію якої подає відносно проста термопара, використовується для контролювання параметрів у печі, насправді визначається складною рівновагою між конвекційним перенесенням теплоти від газоподібних продуктів у печі та теплообміном випромінюванням між стінками печі й зразком для випробування. На цю рівновагу впливають такі параметри, як теплова інерція стінок печі та зразка для випробування, а також характеристики випромінювальної здатності (вміст кіптяви, дійсні розміри, геометричні параметри полум'я) печі. Відповідно показ термопар в печі залежить складним чином від теплових властивостей печі. Оскільки термопари в печі використовують для контролювання параметрів у ній, те саме стосується і теплового впливу на зразок для випробування.

У роботі [11] наведено порівняння результатів оцінювання теплового впливу на зразки для випробування у повномасштабній (стандартній) печі (4 м шириною, 5 м довжиною і 3 м глибиною) і середньомасштабній (нестандартній) печі (1,2 м шириною, 1,8 м довжиною і 0,5 м глибиною) як для вертикальної, так і для горизонтальної орієнтації зразка. Згідно з отриманими результатами тепловий вплив у середньомасштабній печі дещо вищий (до 15 %), ніж у повномасштабній, а різниця у тепловому впливі для обох напрямків є незначною (до 4 %).

У науковій праці [12] розглянуто експлуатаційні характеристики шести різних типів засобів вимірювання температури у вертикальних і горизонтальних випробувальних печах, таких як: термопари в захисній оболонці, конструкція яких відповідає ASTM E119:2020 [13]; пластинчасті термометри; спрямовані полум'яні термометри; термопари з неізолюваним вимірювальним спаєм; заземлені та незаземлені термопари з оболонкою із нікель-хромового сплаву. Показано, що термопари із заземленою і незаземленою оболонкою із нікель-

хромового сплаву забезпечують порівнянні результати з термопарами з неізолюваним вимірювальним спаєм і є найбільш придатними, якщо бажаний швидкий час відгуку (мала теплова інерційність). Через швидкий час відгуку та хорошу довговічність ці заземлені та незаземлені термопари добре підходять для вимірювання температури у випробувальних печах. Прогнозований і вимірюваний падаючі теплові потоки у печах, керованих термопарами з неізолюваним вимірювальним спаєм або заземленими і незаземленими термопарами, добре узгоджуються.

Результати, наведені в роботі [14], показують, що під час керування випробувальними печами за допомогою термопар малого діаметра з оболонкою тепловий вплив на зразок конструкції сильно відрізняється в різних печах. Керування печами за показами пластинчастих термометрів значно зменшує цю різницю і зближує рівні теплового впливу на зразки, які випробовують у різних печах.

Незважаючи на практичну значущість результатів наведених вище досліджень, не розглянуто в достатній мірі вплив параметрів засобів вимірювання температури в печі на результати випробувань будівельних конструкцій і виробів на вогнестійкість, що зумовлює необхідність проведення дослідження в цьому напрямі.

Формулювання цілей досліджень. За мету ставилась оцінка збіжності результатів випробувань будівельних конструкцій та виробів на вогнестійкість, отриманих із застосуванням різних засобів вимірювання температури в печі (стрижневих термопар і пластинчастих термометрів), параметри яких наведено в національному та європейському стандартах (ДСТУ Б В.1.1-4-98* [1] і EN 1363-1:2020 [2]).

Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

– визначити різницю між показами пластинчастих термометрів і стрижневих

термопар в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму в печі;

– оцінити змінення проміжків часу до досягнення граничних станів будівельних конструкцій і виробів за вогнестійкістю у разі використання для вимірювання температури в печі пластинчастих термометрів замість стрижневих термопар.

Методи дослідження. Застосовано експериментальний метод, який ґрунтується на положеннях європейського стандарту EN 1363-1:2020 [2].

У горизонтальну піч, ширина, глибина та висота вогневої камери якої становлять відповідно 1800 мм, 1800 мм і 2500 мм, на відстані (100 ± 10) мм від обігрівної поверхні покриття печі встановлювали такі засоби вимірювання температури в печі:

– дві стрижневі термопари з діаметром дроту 1,2 мм з неізолюваним вимірювальним спаєм;

– два пластинчасті термометри (далі – промислові пластинчасті термометри), які відповідають конструкції, наведеній на рис. 1, і виготовлені в промислових умовах;

– два пластинчасті термометри (далі – модифіковані пластинчасті термометри), які відповідають конструкції, наведеній на рис. 1, за винятком того, що замість термопар в оболонці з ізолюваним вимірювальним спаєм (рис. 1, позиція 1) було застосовано термопару з неізолюваними проводами з діаметром дроту 1,2 мм.

Пластинчасті термометри були орієнтовані таким чином, щоб їх бік «А» було повернуто до підлоги печі.

У печі створювали стандартний температурний режим таким чином, щоб найбільш наближеними до значень T_s , визначених за формулою (1), для тривалості вогневого впливу в інтервалі $0 < t \leq 5$ були покази стрижневих термопар, а для більшої тривалості – покази промислових пластинчастих термометрів.

Під час вогневого впливу вимірювали температуру в печі із застосуванням всіх

наведених вище стрижневих термопар і пластинчастих термометрів. За результатами цього вимірювання для кожного проміжку часу вогневого впливу визначали середні значення показів T_{na} , отриманих двома стрижневими термопарами ($T_{na,1}$, $T_{na,2}$), середні значення показів T_{en} , отриманих двома промисловими пластинчастими термометрами ($T_{en,1}$, $T_{en,2}$), і середні значення показів $T_{en,la}$, отриманих двома модифікованими пластинчастими термометрами ($T_{en,mod,1}$, $T_{en,mod,2}$). Для кожного проміжку часу вогневого впливу визначали різницю між значеннями температури в печі, отриманими із застосуванням пластинчастих термометрів і стрижневих термопар, за такими формулами:

$$\delta_{T,en} = 100 (T_{en} - T_{na}) / T_{na}; \quad (2)$$

$$\delta_{T,en,mod} = 100 (T_{en,mod} - T_{na}) / T_{na}, \quad (3)$$

де $\delta_{T,en}$ – різниця між середніми значеннями показів температури в печі, отриманими із застосуванням промислових пластинчастих термометрів і стрижневих термопар, %;

$\delta_{T,en,mod}$ – різниця між середніми значеннями показів температури в печі, отриманими із застосуванням модифікованих пластинчастих термометрів і стрижневих термопар, %.

За отриманими даними щодо різниці $\delta_{T,en}$ і $\delta_{T,en,mod}$ оцінювали змінення проміжків часу до досягнення граничних станів будівельних конструкцій і виробів за вогнестійкістю під час використання пластинчастих термометрів замість стрижневих термопар.

Виклад основного матеріалу.

Визначення різниці між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар проведено для двох значень тривалості вогневого впливу за стандартного температурного режиму в печі, які становлять 30 хв і 90 хв. У першому досліді, тривалістю 30 хв, піч оснащували залізобетонним покриттям із класом вогнестійкості REI 30 без вогнезахисного облицювання, в другому досліді, тривалістю 90 хв, – залізобетонним

покриттям із класом вогнестійкості REI 90 з вогнезахисним облицюванням.

Результати вимірювання температури в печі та визначення різниці $\delta_{T,en}$ і $\delta_{T,en,mod}$ між пластинчастими термометрами і стрижневими термопарами для цих дослідів наведено в табл. 1, 2 і на

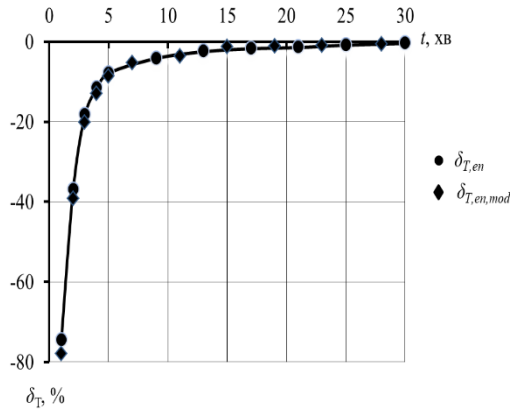


Рисунок 2 – Залежність різниці між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар від проміжку часу вогневого впливу для дослідів № 1

рис. 2, 3. У цих таблицях також надано дані щодо відхилення $(T_{en} - T_s)$ показів промислових пластинчастих термометрів від стандартної температури і відхилення (d_b) площі під кривою температури $T_{en}(t)$ від площі під кривою стандартного температурного режиму $T_s(t)$ [2].

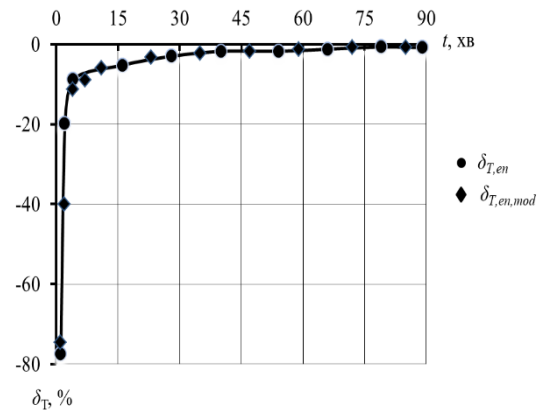


Рисунок 3 – Залежність різниці між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар від проміжку часу вогневого впливу для дослідів № 2

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1 – Дані щодо температури в печі та різниці між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар, отримані в досліді № 1

Проміжок часу t , хв	Експериментальні дані, °C						Середня температура, °C			Відхилення		Різниця, %	
	$T_{na,1}$	$T_{na,2}$	$T_{en,1}$	$T_{en,2}$	$T_{en,mod,1}$	$T_{en,mod,2}$	T_{na}	T_{en}	$T_{en,mod}$	$T_{en} - T_s, °C$	$d_b, \%$	$\delta_{T,en}$	$\delta_{T,en,mod}$
0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-10	–	0	0
1	547	465	124	135	94	130	506	130	112	-220	-62,92	-74,41	-77,87
2	593	534	344	368	328	357	564	356	343	-89	-19,91	-36,82	-39,22
3	608	552	471	479	459	468	580	475	464	-27	-5,43	-18,10	-20,09
4	649	591	548	549	536	544	620	549	540	5	0,85	-11,53	-12,90
5	662	607	586	585	576	584	635	586	580	9	1,58	-7,72	-8,59
6	673	618	608	607	597	607	646	608	602	4	0,73	-5,89	-6,74
7	680	626	623	623	613	624	653	623	619	-3	-0,44	-4,59	-5,28
8	689	636	636	636	627	638	663	636	633	-9	-1,46	-4,00	-4,53
9	708	657	655	655	647	658	683	655	653	-8	-1,18	-4,03	-4,40
10	732	678	670	670	662	675	705	670	669	-8	-1,24	-4,96	-5,18
11	748	698	698	698	691	704	723	698	698	5	0,79	-3,46	-3,53
12	759	707	715	715	708	720	733	715	714	10	1,36	-2,46	-2,59
13	770	721	728	728	721	733	746	728	727	11	1,49	-2,35	-2,48
14	778	732	739	739	732	745	755	739	739	11	1,47	-2,12	-2,19
15	782	734	748	748	742	754	758	748	748	9	1,28	-1,32	-1,32
20	810	768	779	780	775	786	789	780	781	-2	-0,24	-1,20	-1,08
25	841	800	814	815	811	820	821	815	816	0	-0,01	-0,73	-0,61
30	869	830	846	848	846	853	850	847	850	5	0,62	-0,29	0,00

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 2 – Дані щодо температури в печі та різниці між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар, отримані в досліді № 2

Проміжок часу t , хв	Експериментальні дані, °C						Середня температура, °C			Відхилення		Різниця, %	
	$T_{na,1}$	$T_{na,2}$	$T_{en,1}$	$T_{en,2}$	$T_{en,mod,1}$	$T_{en,mod,2}$	T_{na}	T_{en}	$T_{en,mod}$	$T_{en} - T_s$, °C	d_b , %	$\delta_{T,en}$	$\delta_{T,en,mod}$
0	16	16	16	16	16	16	16	16	16	-4	–	0	0
1	533	486	101	129	118	141	510	115	130	-234	-67,07	-77,43	-74,58
2	621	596	332	371	352	378	609	352	365	-93	-20,92	-42,24	-40,02
3	642	620	494	517	499	522	631	506	511	3	0,64	-19,89	-19,10
4	658	634	564	579	563	584	646	572	574	28	5,08	-11,53	-11,22
5	657	636	584	595	579	600	647	590	590	13	2,27	-8,82	-8,82
6	670	642	597	609	592	614	656	603	603	0	-0,02	-8,08	-8,08
7	692	666	610	624	607	629	679	617	618	-9	-1,40	-9,13	-8,98
8	714	686	634	649	632	654	700	642	643	-4	-0,61	-8,36	-8,14
9	729	705	655	671	653	675	717	663	664	0	0,02	-7,53	-7,39
10	740	713	670	685	669	690	727	678	680	-1	-0,14	-6,74	-6,47
11	748	723	684	698	682	702	736	691	692	-2	-0,22	-6,05	-5,91
12	757	732	696	710	694	714	745	703	704	-2	-0,35	-5,57	-5,44
13	767	743	706	720	704	723	755	713	714	-4	-0,60	-5,56	-5,50
14	774	752	716	730	715	733	763	723	724	-5	-0,73	-5,24	-5,11
15	781	761	726	740	725	742	771	733	734	-6	-0,75	-4,93	-4,86
20	831	809	779	793	779	796	820	786	788	5	0,59	-4,15	-3,96
25	864	840	819	831	819	834	852	825	827	10	1,28	-3,17	-2,99
30	885	862	843	855	844	858	874	849	851	7	0,86	-2,80	-2,58
40	910	890	876	887	877	889	900	882	883	-3	-0,37	-2,06	-1,89
50	944	922	912	922	914	926	933	917	920	-1	-0,12	-1,71	-1,39
60	973	952	944	953	945	957	963	949	951	3	0,33	-1,45	-1,19
70	994	973	969	979	971	980	984	974	976	6	0,58	-0,97	-0,81
80	1000	981	979	989	982	990	991	984	986	-4	-0,44	-0,66	-0,45
90	1021	1002	998	1008	1002	1009	1012	1003	1006	-3	-0,30	-0,84	-0,59

Джерело: розроблено авторами

Із аналізу отриманих експериментальних даних випливає таке. Відхилення ($T_{en} - T_s$) показів промислових пластинчастих термометрів від стандартної температури T_s є найбільшим для проміжку часу вогневого впливу, який становить 1 хв. Для дослідів № 1 і № 2 це найбільше значення відповідно становить -220 °C і -234 °C. З підвищенням тривалості вогневого впливу значення цього відхилення зменшується і для $t > 5$ хв відхилення ($T_{en} - T_s$) не перевищує 11 °C і 10 °C відповідно для дослідів № 1 і № 2. Значення відхилення d_b не перевищують допустимі величини, які встановлені в EN 1363-1:2020 для тривалості вогневого впливу більшої ніж 5 хв. Найбільші значення цього відхилення для $t > 5$ хв

становлять $1,49$ % і $-1,40$ % відповідно для дослідів № 1 і № 2.

Стосовно різниці між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар під час створення стандартного температурного режиму в печі слід зазначити, що з підвищенням тривалості вогневого впливу ця різниця значно зменшується (рис. 2, 3). Для дослідів № 1 та № 2 найбільші значення різниці $\delta_{T,en}$ й $\delta_{T,en,mod}$ відповідно становлять $-77,9$ % і $-77,4$ % і мають місце для проміжку часу вогневого впливу, який дорівнює 1 хв. Для тривалості вогневого впливу в інтервалі $5 < t \leq 10$ різниця $\delta_{T,en}$ і $\delta_{T,en,mod}$ не перевищує $-6,74$ % і $-9,13$ %, відповідно для дослідів № 1 і № 2. Для інтервалу $10 < t \leq 30$ різниця $\delta_{T,en}$ і $\delta_{T,en,mod}$ відповідно не перевищує $-3,53$ % і $-6,05$ %. Для

$30 < t \leq 60$ (для дослідів № 2) різниця δT_{en} і $\delta T_{en,mod}$ не перевищує $-2,06\%$, а для $60 < t \leq 90$ – становить від $-0,45\%$ до $-0,97\%$.

Різниця між показами промислових і модифікованих пластинчастих термометрів є незначною. Максимальне значення цієї різниці має місце для тривалості вогневого впливу 1 хв і становить $3,47\%$ і $2,85\%$ відповідно для дослідів № 1 і № 2. Більша кількість значень показів модифікованих пластинчастих термометрів знаходиться між показами промислових пластинчастих термометрів і стрижневих термопар ($T_{en} < T_{en,mod} < T_{na}$). Це свідчить про можливість застосування під час створення стандартного температурного режиму в печі модифікованих пластинчастих термометрів.

Як впливає з отриманих результатів (табл. 1, 2 та рис. 2, 3), закономірним є наявність в інтервалі проміжку часу вогневого впливу до 5 хв значної різниці між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар. Це пов'язано з більшою тепловою інерцією пластинчастих термометрів порівняно зі стрижневими термопарами через застосування в їх конструкції смужки зі сплаву нікелю товщиною $(0,7 \pm 0,1)$ мм (рис. 1, позиція 5) і відмінностями в їх конструкціях. Вимірювальний спай стрижневих термопар безпосередньо піддається тепловому впливу від газового середовища в печі всією його поверхнею. Вимірювальний спай термопар у пластинчастих термометрах не піддається тепловому впливу безпосередньо від газового середовища в печі. Частина поверхні цього спаю контактує зі смужкою із сплаву нікелю, яка безпосередньо піддається тепловому впливу від газового середовища в печі (рис. 1, позиція 6 – бік «А»), інша поверхня вимірювального спаю контактує з теплоізоляційним матеріалом (рис. 1, позиція 4). Це призводить до такого. Після вмикання пальників у печі на перших хвилинах вогневого впливу для забезпечення нормованих значень температури T_s (зокрема, для проміжку часу

1 хв величина цієї температури становить $349\text{ }^{\circ}\text{C}$) відбувається інтенсивне підвищення температури газового середовища в печі. Через наявність теплової інерції значення температури вимірювального спаю термопар менші, ніж реальні (дійсні) величини температури газового середовища в печі. Водночас різниця між показами термопар і дійсними значеннями температури газового середовища в печі більша для пластинчастих термометрів, ніж для стрижневих термопар. З підвищенням тривалості вогневого впливу через суттєве зниження швидкості підвищення температури газового середовища в печі величина цієї різниці значно зменшується. Також значно зменшується різниця між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар. Для проміжку часу, більшого ніж 5 хв, ця різниця не перевищує $9,13\%$, а для тривалості вогневого впливу 30 хв і 90 хв вона відповідно становить $-2,8\%$ і $-0,84\%$ (табл. 2).

Слід зазначити, що застосування різних засобів вимірювання температури в печі призводить до різної інтенсивності теплового впливу на зразки будівельних конструкцій і виробів, що підлягають випробуванню на вогнестійкість. Основним параметром, який визначає інтенсивність цього теплового впливу, є температура газового середовища в печі. У разі створення стандартного температурного режиму із застосуванням пластинчастих термометрів, через те, що різниця між показами термопар і дійсними значеннями температури газового середовища в печі більша для пластинчастих термометрів, ніж для стрижневих термопар, інтенсивність теплового впливу на зразки конструкцій більша, ніж під час використання стрижневих термопар. Найбільша різниця між величинами інтенсивності теплового впливу на зразки конструкцій під час випробування на вогнестійкість із застосуванням пластинчастих термометрів і стрижневих термопар має місце для інтервалу $0 < t \leq 5$. Для іншої тривалості вогневого впливу ця різниця незначна.

З цього випливає, що під час застосування для вимірювання температури в печі пластинчастих термометрів можна прогнозувати отримання менших проміжків часу до досягнення граничних станів будівельних конструкцій і виробів за вогнестійкістю, ніж під час використання стрижневих термопар. Результати випробувань на вогнестійкість, отримані із застосуванням пластинчастих термометрів, є дійсними для випробувань із використанням стрижневих термопар, а не навпаки. Відмінність між результатами випробувань на вогнестійкість, отриманими із застосуванням пластинчастих термометрів і стрижневих термопар, може бути найбільшою для будівельних конструкцій і виробів з мінімальними класами вогнестійкості R 15, E 15, EI 15, EW 15, REI 15 [15]. З підвищенням проміжку часу класифікації за вогнестійкістю ця відмінність суттєво зменшується.

Наведене вище оцінювання збіжності результатів випробувань будівельних конструкцій і виробів на вогнестійкість, отриманих із застосуванням стрижневих термопар і пластинчастих термометрів, може вважатися за доцільне з практичного погляду. Це дає змогу оцінити прийнятність результатів випробувань, отриманих згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98* [1] (із застосуванням стрижневих термопар), для проведення класифікації за вогнестійкістю за EN 13501-2:2016 [15] для будівельних конструкцій і виробів, які піддавали цим випробуванням. Відповідно до цього європейського класифікаційного стандарту визначення класів за вогнестійкістю виконують за результатами випробувань, отриманими за EN 1363-1:2020 [2] (із застосуванням пластинчастих термометрів). Однак варто зауважити, що під час проведеного дослідження з'ясовано проміжок часу класифікації за вогнестійкістю, для якого відмінність між результатами випробувань на вогнестійкість, отриманими із застосуванням пластинчастих термометрів і стрижневих термопар, є найбільшою, але

кількісної оцінки цієї відмінності не проведено. Крім того, розглядали засоби вимірювання температури в печі, які розташовували на певній відстані від горизонтальної будівельної конструкції (покриття печі), а у разі їхнього встановлення біля вертикальної будівельної конструкції не можна виключати можливість отримання інших результатів. Така невизначеність накладає обмеження на використання отриманих результатів, що може трактуватися як недолік проведеного дослідження. Неможливість зняти зазначені обмеження в рамках цього дослідження обґрунтовує напрями подальших розвідок, які, зокрема, можуть бути орієнтовані на проведення кількісної оцінки відмінності між даними щодо проміжків часу настання граничних станів за вогнестійкістю горизонтальних і вертикальних будівельних конструкцій та виробів, отриманими під час випробування із застосуванням пластинчастих термометрів і стрижневих термопар.

Висновки та напрями подальших досліджень. Визначено дані щодо різниці між показами пластинчастих термометрів і стрижневих термопар у разі створення стандартного температурного режиму в печі під час випробування будівельних конструкцій і виробів на вогнестійкість. Виявлено, що покази пластинчастих термометрів менші, ніж стрижневих термопар, і найбільші значення різниці між ними, які складають десятки відсотків, фіксуються у перші п'ять хвилин вогневого впливу, а з підвищенням цієї тривалості зазначена різниця значно зменшується – до декількох відсотків. Максимальна величина різниці становить – 77,9 % і має місце для проміжку часу вогневого впливу, який дорівнює 1 хв. Для тривалості вогневого впливу в інтервалах $5 < t \leq 10$, $10 < t \leq 30$, $60 < t \leq 90$ різниця не перевищує –9,13 %, –6,05 % і –0,97 % відповідно.

Доведено, що під час створення стандартного температурного режиму в печі різниця між показами промислових пластинчастих термометрів і

модифікованих пластинчастих термометрів, в яких замість термопар в оболонці з ізолюваним вимірювальним spaєм застосовано термопару з неізолюваними проводами з діаметром дроту 1,2 мм, є незначною (не перевищує 3,47 %), що свідчить про можливість застосування таких модифікованих пластинчастих термометрів для вимірювання температури в печі.

Встановлено, що у разі застосування для вимірювання температури в печі пластинчастих термометрів можна прогнозувати отримання менших проміжків часу до досягнення граничних станів конструкцій за вогнестійкістю, ніж під час використання стрижневих термопар. Результати випробувань на вогнестійкість, отримані із застосуванням пластинчастих термометрів, є дійсними для

випробувань із використанням стрижневих термопар, а не навпаки. Відмінність між результатами випробувань на вогнестійкість, отриманими із застосуванням пластинчастих термометрів і стрижневих термопар, може бути найбільшою для будівельних конструкцій і виробів з нормованим проміжком часу класифікації за вогнестійкістю, який становить 15 хвилин.

Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на проведення кількісної оцінки відмінності між даними щодо проміжків часу настання граничних станів за вогнестійкістю горизонтальних і вертикальних будівельних конструкцій та виробів, отриманими під час випробування із застосуванням пластинчастих термометрів і стрижневих термопар.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. [Чинний від 2006-01-01]. Київ : Держбуд України, 2005. 19 с.
2. EN 1363-1:2020 Fire resistance tests. Part 1 : General Requirements. European Committee for Standardization. Cen-Cenelec Management Centre : Rue de la Science 23, B-1040 Brussels. 2020 CEN. 54 p.
3. Новак С., Дрідж В., Добростан О. Вплив параметрів системи вогнезахисту на вогнестійкість сталевих конструкцій. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2021. № 1(11). С. 64–74.
4. Silva D., A. Bilotta A., Nigro E. Experimental investigation on steel elements protected with intumescent coating. *Construction and Building Materials*. 2019. P. 232–244. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.223>.
5. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coatings for steel structures. *Fire Safety Journal*. 2018. P. 25–38. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.08.006>.
6. Novak S., Drizhd V., Dobrostan O. Thermal state of steel structures with a combined fire protection system under conditions of fire exposure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3/10 (105). P. 17–25.
7. Wei-Yong Wang, Guo-Qiang Li. Behavior of steel columns in a fire with partial damage to fire protection. *Journal of Constructional Steel Research*. 2009. P. 1392–1400. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2009.01.004>.
8. Новак С., Дрідж В., Добростан О. Вогнестійкість сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2020. № 1 (9). С. 52–65.
9. Новак С., Дрідж В., Добростан О., Ілюченко П. Дослідження вогнестійкості кабельних проходок із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150». *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2019. № 2(8). С. 3–14.
10. ENV 1363-3:1998 Fire resistance tests. Part 3 : Verification of furnace performance. European Committee for Standardization. Central Secretariat : rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1998 CEN. 20 p.
11. Sultan M. A., Benichou N., Min B. Y. Heat exposure in fire resistance furnaces : full-scale vs intermediate-scale. *Fire and Materials 2003 International Conference*, San Francisco, Jan. 27–29 2003. P. 43–53.
12. Sultan, M. A. Performance of Different Temperature Sensors in Standard Fire Resistance Test Furnaces. *Fire Technology*. 2010. Vol. 46 (4). P. 853–881. Doi : 10.1007/s10694-010-0166-9.
13. ASTM E119:2020 Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
14. Van De Leur P., Twiit L. Thermal Exposure in Fire Resistance Furnaces. *Fire Safety Science*. № 6. 2000. P. 1087–1098. Doi : 10.3801/IAFSS.FSS.6-1087.
15. EN 13501-2:2016 Fire classification of construction products and building elements. Part 2 : Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. Cen-Cenelec Management Centre : Rue de la Science 23, B-1040 Brussels. 2016 CEN. 79 p.

REFERENCES

1. DSTU B V.1.1-4-98*. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstruksii. Metody vyprobuvan na vohnestiikist. Zahalni vymohy (2005). [Fire protection. Building constructions. Test methods for firefighters. General requirement]. Kyiv : Derzhbud Ukrainy. 19 p. [In Ukrainian].
2. EN 1363-1:2020. Fire resistance tests. Part 1 : General Requirements. European Committee for Standardization. Cen-Cenelec Management Centre : Rue de la Science 23, B-1040 Brussels. 2020 CEN. 54 p. [In English].

3. Novak, S. V., Drizhd, V. L., Dobrostan, O. V. (2021). Vplyv parametriv systemy vognexaxystu na vognestijkist stalevyh konstrukcij. [Influence of fire protection system parameters on fire resistance of steel structures]. *Naukovyi visnyk : Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. 2021. № 1(11). S. 64–74. [In Ukrainian].
4. Silva, D., Bilotta, A., Nigro, E. (2019). Experimental investigation on steel elements protected with intumescent coating. *Construction and Building Materials*. 2019. P. 232–244. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.223>. [in English].
5. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. (2018). Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coatings for steel structures. *Fire Safety Journal*. 2018. P. 25–38. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.08.006>. [in English].
6. Novak, S., Drizhd, V., Dobrostan, O. (2020). Thermal state of steel structures with a combined fire protection system under conditions of fire exposure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3/10 (105). P. 17–25. [in English].
7. Wei-Yong, Wang, Guo-Qiang, Li. (2009). Behavior of steel columns in a fire with partial damage to fire protection. *Journal of Constructional Steel Research*. 2009. P. 1392–1400. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2009.01.004>. [in English].
8. Novak, S., Drizhd, V., Dobrostan, O. (2020). Vognestijkist stalevyh povitrovodiv z kombinovanoyu systemoyu vognexaxystu. [Fire resistance of steel air ducts with combined fire protection system]. *Naukovyi visnyk : Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. 2020. № 1(9). S. 52–65. [In Ukrainian].
9. Novak, S., Drizhd, V., Dobrostan, O., Ilyuchenko P. (2019). Doslidzhennya vognestijkosti kabelnyh prohodok iz zastosuvannyam reaktyvnogo vognexahysnogo materialu «Endotherm XT-150». [Research of fire resistance of cable punches with the application of reactive fire protection material «Endotherm HT-150»]. *Naukovyi visnyk : Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. 2019. № 2(8). S. 3–14. [In Ukrainian].
10. ENV 1363-3:1998. Fire resistance tests. Part 3 : Verification of furnace performance. European Committee for Standardization. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1998 CEN. 20 p. [in English].
11. Sultan, M. A., Benichou, N., Min, B.Y. (2003). Heat exposure in fire resistance furnaces: full-scale vs intermediate-scale. *Fire and Materials 2003 International Conference*, San Francisco, Jan. 27–29 2003. P. 43–53. [in English].
12. Sultan, M. A. (2010). Performance of Different Temperature Sensors in Standard Fire Resistance Test Furnaces. *Fire Technology*. 2010. Vol. 46 (4). P. 853–881. Doi : [10.1007/s10694-010-0166-9](https://doi.org/10.1007/s10694-010-0166-9). [in English].
13. ASTM E119:2020. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. 2020. 36 p. [in English].
14. Van De Leur P., Twilt L. (2000). Thermal Exposure in Fire Resistance Furnaces. *Fire Safety Science*. № 6. 2000. P. 1087–1098. Doi : [10.3801/IAFSS.FSS.6-1087](https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.6-1087). [in English].
15. EN 13501-2:2016. Fire classification of construction products and building elements. Part 2 : Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. Cen-Cenelec Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels. 2016 CEN. 79 p. [in English].

INFLUENCE OF PARAMETERS OF MEANS OF TEMPERATURE MEASUREMENT IN THE FURNACE ON THE RESULTS OF FIRE RESISTANCE TESTS OF BUILDING STRUCTURES AND PRODUCTS

S. Novak¹, O. Dobrostan¹, O. Abramov²

¹*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

²*Test Center of TEST LLC, Ukraine*

KEYWORDS: ANNOTATION

building
structures; fire
resistance; tests;
temperature
measuring
instruments; plate
thermometers; rod
thermocouples;
standard
temperature
regime

Due to the differences in the design of measuring instruments used according to national and European standards for measuring the temperature in the furnace, it is impossible to exclude inconsistencies in the creation of the same thermal effect on samples of test structures, which may affect the fire resistance test results of building structures and products, which are carried out according to national and European principles. This uncertainty led to a study of the influence of the parameters of the means of measuring the temperature in the furnace on the results of fire resistance tests of building structures and products, the results of which are presented in this article. The study aimed to assess the convergence of the results of fire resistance tests of building structures and products, obtained using different means of measuring the temperature in the furnace (rod thermocouples and plate thermometers), the parameters of which are given in national and European standards (DSTU B B.1.1-4-98* and EN 1363-1:2020). To achieve this goal, the problem of determining the difference between the readings of plate thermometers and rod thermocouples under fire conditions at standard temperature in the furnace and assess the change in time intervals to reach the fire resistance limit states of building structures and products for when used to measure plate temperature thermometers instead of rod thermocouples. It is shown that the highest values of the above difference, which is tens of percent, occur in the first five minutes of fire, and with increasing duration, this difference decreases significantly to several percent. It is established that when using plate thermometers to measure the temperature in the furnace, it is possible to predict shorter intervals before reaching the fire resistance limit states of structures in terms than when using rod thermocouples. The difference between the results of fire resistance tests obtained using plate thermometers and rod thermocouples may be the largest for building structures and products with a normalized period of time of classification for fire resistance, which is 15 minutes.