

УДК 614.841

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ВОГНИЩА ПОЖЕЖІ ЧЕРЕЗ ВІКОННИЙ ПРОРІЗ БУДІВЛІ НА ЕЛЕМЕНТИ СУМІЖНИХ ОБ'ЄКТІВ

В. В. Ніжник, канд. техн. наук, ст. наук. співр.

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 23.04.2019

Пройшла рецензування: 26.06.2019

### КЛЮЧОВІ СЛОВА:

будівля, відстань, вогнище пожежі, протипожежна, температура, тепловий вплив, теплопередача.

### АНОТАЦІЯ

Наведено результати експериментального визначення зміни температури на елементах суміжних об'єктів від теплового впливу вогнища пожежі через віконний проріз будівлі. Проведено обробку отриманих експериментальних даних за статистичними показниками (абсолютними, відносними та середньоквадратичними відхиленнями, дисперсіями, а також критеріями Граббса та Фішера). Побудована залежність температури на поверхні елементів суміжної будівлі від відстані розташування такої будівлі від осередку горіння та тривалості теплового впливу.

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції розвитку будівництва призводять до щільної забудови населених пунктів. У зв'язку з цим, дотримання безпечних протипожежних відстаней має бути чи не головною умовою для забезпечення пожежної безпеки поряд розташованих споруд. На сьогодні актуальною проблемою є наукове обґрунтування розрахункового методу визначення протипожежних відстаней. Враховуючи викладене, виникає необхідність в застосуванні наукових підходів визначення протипожежних відстаней між спорудами.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У роботі [1] проведено аналіз методів та підходів щодо визначення необхідного значення протипожежних відстаней між будівлями і спорудами та встановлена актуальність в обґрунтуванні підходів щодо визначення протипожежних відстаней розрахунковими методами. У роботі [2] наведено метод розрахункового визначення протипожежних відстаней, згідно із яким за суттєву характеристику приймається значення теплового потоку. Цей критерій оцінюють за законами променистого теплообміну. Недоліком такого підходу є те, що на сьогоднішній день відсутня статистична база критичних значень по тепловому потоку для різних речовин і матеріалів. Тепловий потік від пожежі є суттєво змінним у часі, а також тепловий потік не є прямою характеристикою, яка є причиною виникнення та поширення пожежі. У роботі [3] розглядається стохастична модель теплового випромінювання від полум'я нафтопродуктів, що горять в резервуарах. Автор запропонував метод розрахунку температури самозаймання парів нафтопродуктів в резервуарі продовж

заданого проміжку часу, тобто використав суттєву характеристику – значення температури. Але ця робота не набула подальшого розвитку щодо створення критеріальної та методичної бази для визначення протипожежних відстаней. У роботі [4] проведені дослідження щодо визначення протипожежних відстаней між житловими будівлями із використанням програмного забезпечення FDS (Fire Dynamics Simulator). Значення протипожежних відстаней визначалися за значенням температури на поверхні фасаду суміжної будівлі. При цьому не досліджувалися закономірності зміни температури на поверхні фасаду залежно від відстані їх розташування від осередку горіння та тривалості теплового впливу.

Таким чином, встановлення даних щодо зміни температури на поверхні фасаду будівлі від відстані її розташування від осередку горіння та тривалості теплового впливу є актуальною науковою задачею

**Формулювання цілі дослідження.** Метою даної роботи є визначення даних щодо зміни температури на поверхні фасаду будівлі від теплового впливу пожежі у суміжній будівлі через віконний проріз залежно від відстані його розташування від осередку горіння та тривалості теплового впливу.

Для досягнення поставленої мети сформовані наступні задачі:

– провести експериментальне визначення даних щодо зміни температури на поверхні фасаду будівлі від теплового впливу пожежі у суміжній будівлі через віконний проріз;

– провести обробку отриманих експериментальних даних за статистичними показниками (абсолютними, відносними та

середньоквадратичними відхиленнями, дисперсіями, а також критеріями Граббса та Фішера);

– побудувати залежність температури на поверхні фасаду будівлі від відстані розташування такої будівлі від осередку горіння та тривалості теплового впливу.

**Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Для отримання даних щодо зміни температури на поверхні фасаду будівлі від теплового впливу пожежі у суміжній будівлі через віконний проріз залежно від відстані розташування будівлі одна відносно іншої та тривалості теплового впливу проведено експериментальне дослідження. Суть методу цього дослідження полягає в імітуванні пожежі в середині будівлі із не горючим фасадом, в якості якого обрано фрагмент будівлі розмірами 4,5 м х 4,5 м х 5,6 м. Пожежна навантага, що згорає,

розташована у приміщенні фрагменту будівлі із віконним прорізом у зовнішній стіні, у кількості, що забезпечує у такому приміщенні продовж 30 хв температурний режим близький до стандартного температурного режиму [5]. Тепловий вплив від осередку горіння на фасад суміжної будівлі відбувається через віконний проріз розміром 2,4 м х 1,2 м. За фасад суміжної будівлі, що піддається впливу від осередку горіння, використовували досліджувані зразки з деревини, що імітували фрагмент будівлі та мали розміри 250 мм х 250 мм х 250 мм. На поверхні досліджуваних зразків, що направлена в бік осередку горіння, розташовували термопари. Досліджувані зразки розташовували відносно віконного прорізу фрагменту будівлі, в якому імітували пожежу, на відстанях 2 м, 4 м та 6,8 м [6]. Місця розташування досліджуваних зразків зображені на рисунку 1.

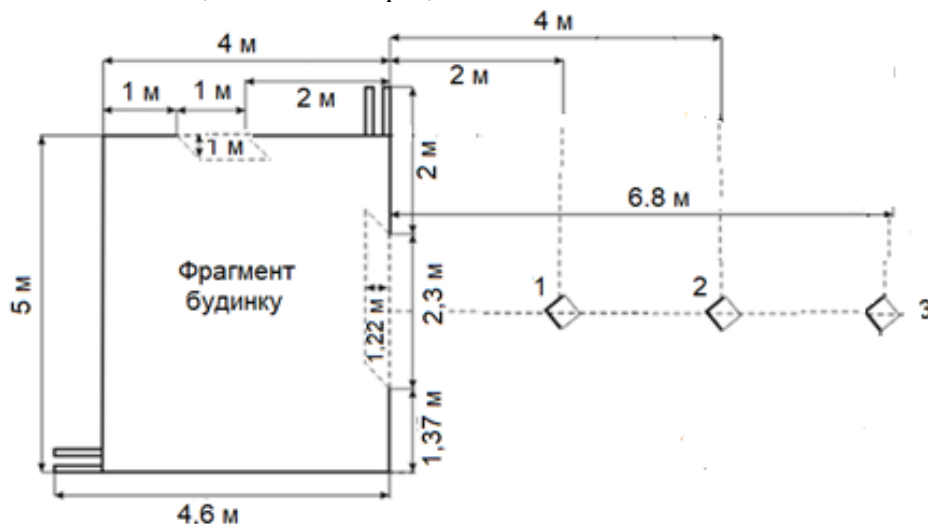


Рисунок 1 – Місця розташування досліджуваних зразків (1, 2, 3)

За результатами проведення трьох експериментів отримані дані щодо зміни температури на поверхні досліджуваних зразків залежно від відстані їх розташування від осередку горіння та тривалості теплового впливу, які наведено на рисунку 2.

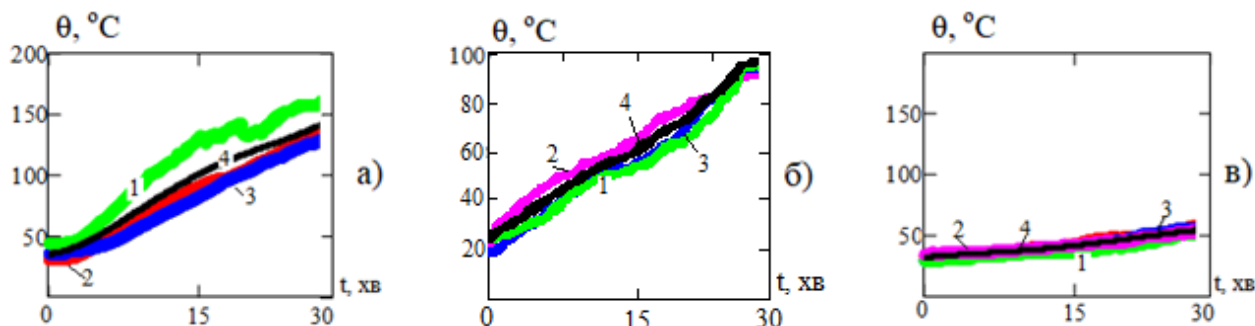


Рисунок 2 – Залежність температури на поверхні досліджуваних зразків від відстані їх розташування від осередку горіння та тривалості теплового впливу: а) дані для досліджуваного зразка 1; б) дані для досліджуваного зразка 2; в) дані для досліджуваного зразка 3; 1, 2, 3 – дані окремого експерименту; 4 – усереднені дані

Отримані експериментальні дані свідчать про те, що продовж 30 хвилинного впливу джерела теплового випромінювання через віконний проріз на досліджуваний зразок температура на поверхні зразка монотонно зростає та досягає максимальних значень 161°C, 94°C та 55°C відповідно для відстаней від осередку горіння 2 м, 4 м та 6,8 м.

Отримані дані за кожним окремих експериментом оцінені, використовуючи абсолютні, відносні та середньоквадратичні відхилення, а також критерії Граббса та Фішера.

Критерій Граббса використано для визначення наявності в отриманих експериментальних даних викидів та квазिवикидів. Для встановлення того, чи є найбільший результат визначення значення температури  $\theta_i$  зразка для  $i$ -го експерименту за певної тривалості теплового впливу в ранжованому ряду  $\theta_{imax}$  викидом чи квазिवикидом, розраховували значення критерія Граббса,  $G_{imax}$  за формулою:

$$G_{imax} = \frac{\theta_{imax} - \bar{\theta}_i}{\sigma_i} \quad (1)$$

де  $\bar{\theta}_i$  і  $\sigma_i$  – відповідно середнє значення та середньоквадратичне відхилення температури  $\theta_i$  за певної тривалості теплового впливу.

Для перевірки значимості відхилення найменшого значення температури  $\theta_i$  в упорядкованому ряду,  $\theta_{imin}$ , розраховували значення критерія Граббса,  $G_{imin}$  за формулою (2). Середньоквадратичні відхилення розраховували за формулою (3):

$$G_{imin} = \frac{\theta_i - \theta_{imin}}{\sigma_i} \quad (2)$$

$$\sigma = \left( \sum_{i=1}^n \frac{(\theta_i - \bar{\theta}_1)^2}{n} \right)^{-0.5} \quad (3)$$

де  $n$  – кількість експериментів ( $n = 3$ )

Розраховані таким чином значення  $G_{imax}$  та  $G_{imin}$  порівнювали з 5% ( $G_{кр.5\%}$ ) та 1% ( $G_{кр.1\%}$ ) критичними значеннями, заданими в таблицях [7], які відповідно становлять 1,715 та 1,764.

Таблиця 1 – Максимальні абсолютні, відносні та середньоквадратичні відхилення значень температур

| Номер досліджуваного зразка | Абсолютні відхилення, °C | Відносні відхилення, % | Середньоквадратичні відхилення, °C |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------------|
| 1                           | 2,0                      | 3,0                    | 2,0                                |
| 2                           | 5,8                      | 10,4                   | 5,6                                |
| 3                           | 2,8                      | 5,0                    | 2,3                                |

Якщо після порівняння  $G_{imax}$  або  $G_{imin}$  з їх критичними значеннями виявляли, що ці розраховані значення коефіцієнтів становлять більше ніж 5%-ве критичне значення ( $G_{кр.5\%}$ ) і менше (або дорівнює) 1%-го критичного значення ( $G_{кр.1\%}$ ), тоді значення  $\theta_{imax}$  або  $\theta_{imin}$  вважали квазिवикидом. Якщо розраховане значення  $G_{imax}$  або  $G_{imin}$  більше 1%-го критичного значення ( $G_{кр.1\%}$ ), то відповідно  $\theta_{imax}$  або  $\theta_{imin}$  вважали викидом. Якщо розраховані значення  $G_{imax}$  та  $G_{imin}$  є меншими (або рівними) за критичні значення 5% ( $G_{кр.5\%}$ ), то вважали, що експериментальні дані не містять викидів та квазिवикидів.

За результатами оцінки експериментальних даних на наявність викидів та квазिवикидів за критерієм Граббса встановлено, що експериментальні дані для досліджуваних зразків 1 (рис. 3) та 2 не містять викидів та квазिवикидів. А експериментальні дані для досліджуваного зразка 3 містять викиди та квазिवикиди. Експериментальні дані, які є викидами або квазिवикидами за критерієм Граббса, не враховували під час подальшого оброблення результатів.

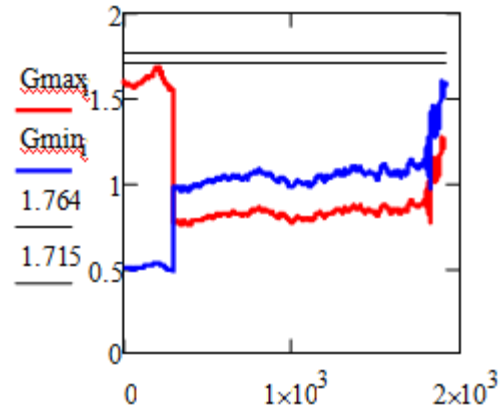


Рисунок 3 – Дані щодо оцінки наявності викидів та квазिवикидів за критерієм Граббса для досліджуваного зразка 1

Максимальні абсолютні, відносні та середньоквадратичні відхилення значень температури, визначені для всієї тривалості теплового впливу, представлені у таблиці 1.

Із аналізу отриманих розрахункових даних випливає, що абсолютні відхилення експериментальних даних кожного експерименту від усереднених значень не перевищують 5,8°C, що у відсоткових показниках становить 10,4%, а максимальне середньоквадратичне відхилення становить 5,6°C, що вказує на задовільну збіжність отриманих експериментальних даних.

З метою перевірки належності даних, отриманих в кожному експерименті, до однієї генеральної сукупності за критерієм Фішера визначені дисперсії температур (S) експериментальних даних від середнього значення за такою формулою [7]

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n_i} (\theta_i - \bar{\theta}_i)^2 \quad (4)$$

На рисунку 4 наведено дисперсії температур від тривалості теплового впливу для досліджуваного зразка 1.

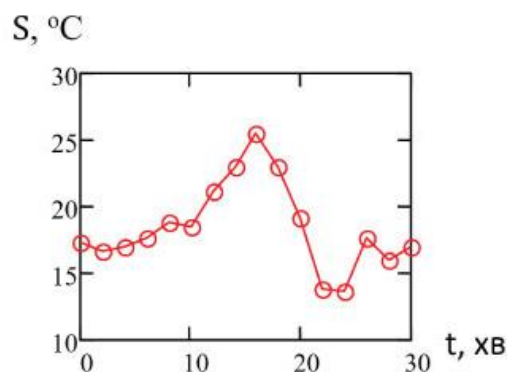


Рисунок 4 – Дисперсії температур від тривалості теплового впливу для досліджуваного зразка 1

Дані щодо оцінки належності дисперсій температур до однієї генеральної сукупності за критерієм Фішера представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Дані щодо оцінки належності дисперсій температур до однієї генеральної сукупності за критерієм Фішера

| Номер досліджуваного зразка | Табличне значення критерію Фішера | Розрахункове значення критерію Фішера |
|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1                           | 6,39 (для 5%)                     | 0,513                                 |
| 2                           |                                   | 1,392                                 |
| 3                           |                                   | 0,485                                 |

Оскільки розрахункове значення критерію Фішера менше за табличне, то із статистичною ймовірністю 0,95 можна стверджувати, що отримані дані температур не заперечують нуль гіпотезі, а їх розбіжність можна вважати не суттєвою. Таким чином дані, що отримані за результатами експериментального дослідження, є вибірками з однієї генеральної сукупності, що підтверджує загальну збіжність кожного окремого експерименту.

З урахуванням вищевказаного, для подальшого оброблення експериментальних даних застосовували середні значення температури, отримані за даними 3-х експериментів для кожного зразка і певної тривалості теплового впливу, з урахуванням наявності викидів та квазивикидів для зразка 3. Дані щодо цих значень температури наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Дані щодо температури на поверхні досліджуваних зразків залежно від відстані їх розташування від осередку горіння та тривалості теплового впливу

| Відстань від осередку горіння L, м | Тривалість теплового впливу t, хв |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                    | 3                                 | 6   | 9   | 12  | 15  | 18  | 21  | 24  | 27  | 30  |
|                                    | Температура $\theta$ , °C         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0*                                 | 451                               | 698 | 783 | 788 | 771 | 768 | 795 | 843 | 883 | 864 |
| 2,0                                | 33                                | 39  | 50  | 65  | 78  | 89  | 98  | 105 | 117 | 126 |
| 4,0                                | 32                                | 38  | 45  | 52  | 57  | 63  | 70  | 80  | 89  | 96  |
| 6,8                                | 32                                | 34  | 36  | 39  | 40  | 42  | 45  | 48  | 52  | 55  |

Примітка: \* Наведені значення температури для L = 0 відповідають даними вимірювання температури полум'я у віконному прорізі

Проведено апроксимацію зазначених в таблиці 3 даних щодо тривалості теплового впливу (t) із застосуванням рівняння числової регресії (5), яке встановлює співвідношення між

тривалістю теплового впливу, температурою поверхні досліджуваних зразків і відстанню від осередку горіння, та визначено значення п'яти констант цього рівняння, які надано у таблиці 4.

$$t = a_0 + a_1L + a_2\theta + a_3L\theta + a_4\theta L^2 + a_5L^2 \tag{5}$$

де  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  – константи рівняння числової регресії.

Таблиця 4 – Результати визначення констант рівняння числової регресії

| Значення констант рівняння числової регресії |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| $a_0$  | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ |
| -13,72                                       | 6,57  | 0,48  | -0,18 | 0,04  | -1,39 |

Залежність температури поверхні досліджуваних зразків від тривалості теплового впливу і відстані від осередку горіння, виходячи з рівняння (5), визначається таким виразом:

$$\theta = \frac{t - a_0 - a_1L - a_5L^2}{a_2 + a_3L + a_4L^2} \tag{6}$$

За цією формулою побудовано розрахункові залежності температури від тривалості теплового впливу для значень відстані 2 м, 4 м та 6,8 м, які наведено на рисунку 5. На цьому ж рисунку наведено (позначені кружками) експериментальні дані (табл. 3). Із порівняння розрахункових і експериментальних даних випливає, що найбільше відхилення розрахункових значень температури від експериментальних має місце для зразка, розташованого на відстані L, яка становить 4 м, найменше – для зразка, розташованого на відстані  $L = 2$  м. При цьому максимальне відхилення дорівнює 10,4%.

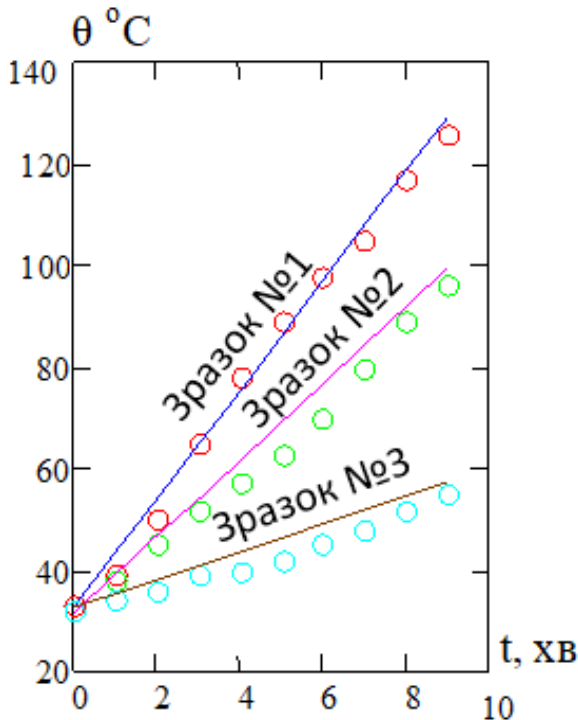


Рисунок 5 – Залежність температури на поверхні фасаду будівлі від тривалості теплового впливу: 1 -  $L = 2$  м, 2 -  $L = 4$  м та 3 -  $L = 6,8$  м

На рисунку 6 наведено розрахункові залежності (отримані за формулою (6)) температури на поверхні фасаду будівлі від відстані до осередку горіння для різної тривалості теплового впливу (12 хв, 21 хв, 30 хв). На цьому ж рисунку наведено (позначені кружками) експериментальні дані щодо цієї температури (табл. 3) для 30 хвилинного температурного впливу.

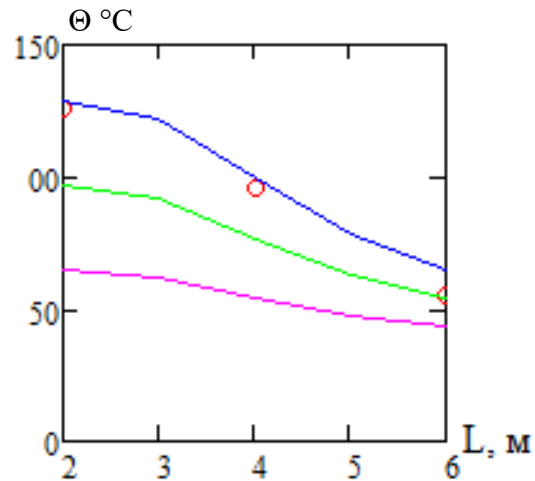


Рисунок 6 – Розрахункові залежності (отримані за формулою (6)) температури на поверхні фасаду будівлі від відстані до осередку горіння для різної тривалості теплового впливу (12 хв, 21 хв, 30 хв)

**Висновки.** Таким чином, за результатами дослідження теплового впливу вогнища пожежі через віконний проріз будівлі на елементи суміжних об'єктів можна зробити такі висновки:

- визначено експериментальні дані щодо зміни температури на поверхні фасаду будівлі від теплового впливу пожежі у суміжній будівлі через віконний проріз. Встановлено, що продовж 30 хвилинного теплового впливу вогнища пожежі через віконний проріз будівлі на елементи суміжних об'єктів температура на поверхні цих елементів монотонно зростає та досягає максимальних значень 161°C, 94°C та 55°C відповідно для відстаней від осередку горіння 2 м, 4 м та 6,8 м;
- побудовано залежність, із застосуванням рівняння числової регресії, температури на

поверхні фасаду будівлі від відстані розташування такої будівлі від осередку горіння та різної тривалості теплового впливу (12 хв, 21 хв, 30 хв). Відмінність розрахункових даних,

отриманих за цією залежністю, від експериментальних не перевищує 10,4%, що є прийнятним для подальшого застосування отриманих результатів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ніжник В. В. Підходи щодо визначення протипожежних відстаней між будинками та спорудами / Науково-технічний збірник. КНУБА. – К., 2019. – № 53. – С. 215-226.
2. Пожарная профилактика в строительстве / [Грушевский Б. В., Яковлев А. И., Кривошеев И. А. и др.] под ред. В. Ф. Кураленкина. – М.: ВИПТШ, 1985. – 451 с.
3. Басманов А. Е. Теоретические основы предупреждения каскадного распространения пожара в резервуарных парках с нефтепродуктами и повышение эффективности его ликвидации: Дис. ... доктора тех. наук: 21.06.02.
4. Emil Carlsson, Report 5051 - External fire spread to adjoining buildings – A review of fire safety design guidance and related research – Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden, 1999 – 125 p.
5. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги.
6. Nizhnyk V. A Method of Experimental Studies of Heat Transfer Processes between Adjacent Facilities / S. Shchipets, O. Tarasenko, V. Kropyvnytskyi, B. Medvid // International Journal of Engineering & Technology. – 2018 – № 7 (4.3), 288 – 292 p.
7. Інструкція з проведення міжлабораторних порівняльних випробувань у сфері пожежної безпеки, УкрНДІПБ, 2007.

### REFERENCES

1. Nizhnyk V. V. (2019) Pidkhody shchodo vyznachennia protypozhezhnykh vidstanei mizh budynkami ta sporudamy [Approaches to the definition of fire distances between buildings and structures] Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk KNUBA, K., vol. 53, pp. 215-226. (in Ukrainian)
2. Grushevskiy B. V., Yakovlev A. I., Krivosheev I. A. i dr (1985) Pozharnaya profilaktika v stroitel'stve [Fire prevention in construction]. M., VIPTSh, 451 p. (in Russian)
3. Basmanov A. E. Teoretycheskiye osnovy preduprezhdeniya kaskadnogo rasprostraneniya pozhara v rezervuarnykh parkakh s nefteproduktamy u povisheniye efektyvnosti ih lykvydatsyy: Dys. ... doktora tekh. nauk: 21.06.02. (in Russian)
4. Emil Carlsson, Report 5051 - External fire spread to adjoining buildings – A review of fire safety design guidance and related research – Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden, 1999 – 125 p.
5. DSTU B V.1.1-4-98. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstruktsii. Metody vyprobuvannia na vohnestiikist. Zahalni vymohy.
6. Nizhnyk V. A Method of Experimental Studies of Heat Transfer Processes between Adjacent Facilities / S. Shchipets, O. Tarasenko, V. Kropyvnytskyi, B. Medvid // International Journal of Engineering & Technology. – 2018 – № 7 (4.3), 288 – 292 p.
7. Instruktssiia z provedennia mizhlaboratorykh porivniialnykh vyprobuvan u sferi pozhezhnoi bezpeky, UkrNDIPB, 2007.

## STUDIES OF THE THERMAL EFFECT OF A FIRE TORCH IN A WINDOW OPENING OF A BUILDING ON ELEMENTS OF ADJACENT OBJECTS

V. Nizhnyk, *Cand. of Sc.(Eng.), Senior Fellow*

*The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine*

---

### KEYWORDS

building, distance, fire torch, fire prevention, temperature, thermal effect, heat transfer.

### ANNOTATION

The results of experimental determination of temperature change on the elements of adjacent objects from the thermal influence of the fire torch through the window opening of the building are given. The processing of the received experimental data by statistical parameters (absolute, relative and root-mean-square deviations, dispersions, and also Grabbs and Fisher criteria) was carried out. The experimental data obtained show that the temperature of the sample surface increases monotonically over the 30 minute thermal radiation source through the window opening and reaches the maximum values of 161 ° C, 94 ° C and 55 ° C, respectively, for distances from the combustion center of 2 m, 4 m and 6.8 m. According to the results of the evaluation of experimental data for the presence of emissions and quasi-emissions, according to the Grabbs criterion, it has been established that the experimental data for the studied samples 1 (Fig. 3) and 2 do not contain emissions and quasi-emissions, and for sample 3 contain emissions and quasi-emissions. Experimental data, which are emissions or quasi-emissions based on the Grabbs criterion, were not taken into account during further processing of the results. An estimate of the data obtained for the absolute deviation of each experiment from the averaged values and established, the deviation does not exceed 5.8 ° C, which is 10.4% in the percentage and the maximum average deviation is 5.6 ° C, indicating satisfactory convergence of experimental data received. In the assessment of the membership of temperature dispersions to one general population, Fisher's criterion found that the calculated value of Fisher's criterion does not exceed the table value. The temperature dependence on the facade of the building is constructed from the distance of such a building from the combustion center and the duration of the thermal effect.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВЛИЯНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЕ ПРОЕМЫ ЗДАНИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ СМЕЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

V. V. Nizhnyk, *канд. техн. наук, ст. науч. сотр.*

*Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина*

---

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

здание, расстояние, очаг пожара, противопожарная, температура, тепловое воздействие, теплопередача.

### АННОТАЦИЯ

Приведены результаты экспериментального определения изменения температуры на элементах смежных объектов от теплового воздействия очага пожара через оконный проем здания. Проведена обработка полученных экспериментальных данных по статистическим показателям (абсолютными, относительными и среднеквадратичными отклонениями, дисперсии, а также критериям Граббса и Фишера). Построена зависимость температуры на поверхности элементов смежного здания от расстояния расположения такого здания от очага горения и продолжительности теплового воздействия.