

*В. В. Ніжник, канд. техн. наук, ст. наук. співр., А. С. Борисова,
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, м. Київ*

ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ НА КРИТИЧНУ ПОВЕРХНЕВУ ГУСТИНУ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ

Навколишнє середовище та його параметри безумовно впливають на процеси теплопередачі під час пожежі та на діяльність людини. Вивчення цих факторів та здатність зменшити їх негативний вплив є важливим питанням сьогодення. У зазначеній статті проведено аналіз останніх публікацій з даної тематики. Визначено, що вплив вітру на процеси теплообміну має суперечливі результати та потребує подальшого вивчення. Обґрунтовано залежність впливу вітру від значення поверхневої густини теплового потоку, при якому відбувається стійке полум'яне горіння за допомогою повнофакторного експерименту. Автори визначили найбільший та найменший показники значущих факторів, що впливають на величину критичної поверхневої густини теплового потоку, а саме швидкість вітру (v , м / с) та задану поверхневу густину теплового потоку (q , кВт/м²). В ході проведеного дослідження авторами була побудована математична модель, яка описує залежність впливу вітру на критичну поверхневу густину теплового потоку. Ця залежність представлена як лінійна. Визначено відповідні константи для числового рівняння регресії, яке має вигляд лінійного. Для визначення констант рівняння числової регресії було проведено 4 числових експерименти відповідно до матриці планування повного факторного експерименту. Завдяки побудованій регресійній залежності була створена відповідна поверхня залежності між швидкістю вітру, критичною поверхневою густиною теплового потоку та часом, протягом якого відбувається займання матеріалу. На основі результатів була розроблена відповідна таблиця для значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин та матеріалів залежно від впливу вітру. Ця таблиця може бути використана в майбутньому для розробки удосконаленого спрощеного методу прогнозування теплового впливу пожежі на сусідні будівлі з урахуванням впливу вітру.

Ключові слова: тепловий потік, критична поверхнева густина теплового потоку, теплообмін, променевий теплообмін, вітровий вплив.

Постановка проблеми. При відкритій пожежі швидкість її поширення на суміжні будівельні об'єкти залежить від умов теплообміну випромінюванням та його взаємодії з параметрами навколишнього середовища, а саме вітровим впливом. Умовою займання багатьох матеріалів під дією теплового випромінювання є перевищення значення критичної поверхневої густини теплового потоку для даного матеріалу. На сьогоднішній день проблема впливу явищ навколишнього середовища на процеси теплообміну вивчені не достатньо. Науково не обґрунтовано вплив вітру та його швидкості на процеси теплообміну. До того ж відсутня довідкова таблиця значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і

матеріалів з урахуванням вітрового впливу. Враховуючи вищенаведене вважаємо, що розроблення та обґрунтування довідкових даних залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проведено аналіз досліджень з даної тематики, які описані у роботах таких вчених як: Ройтман М. Я. [1], Грушевський Б. В. [2], Кошмаров Ю. А. [3], Поздєєв С. В. [4], Басманов А. Е., [5-7], Семерак М. М. [8], Абрамов Ю. О. [9], Ніжник В. В. [10], Гудим В. І. [11], з зарубіжних авторів це: E. Carlsson [12], та ін.

На основі проведеного аналізу визначено, що дослідження впливу умов

навколишнього середовища, зокрема вітру на значення критичної поверхневої густини теплового потоку, розкриті не повною мірою, а ті дослідження, що існують мають вкрай суперечливі результати. З огляду на це, дослідження з визначення впливу параметрів вітру на показник критичної поверхневої густини теплового потоку залишаються актуальними.

Формулювання цілей статті. Мета роботи полягає в удосконаленні інформаційно- довідкових даних залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку для матеріалів і речовин на прикладі гофрокартону шляхом проведення повного факторного експерименту.

Для досягнення поставленої мети:

- здійснюється вибір найбільш значущих факторів впливу та їх діапазон, що впливають на процеси теплового випромінювання, а саме на значення критичної поверхневої густини теплового потоку;

- використовуючи результати експериментальних досліджень побудувати регресійну модель;

- на основі експериментальних досліджень визначити коефіцієнти регресійної залежності;

- створити інформаційно-довідкову таблицю щодо значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів залежно від вітрового впливу.

Виклад основного матеріалу. В якості критерію, що може істотно вплинути на показник критичної поверхневої густини теплового потоку розглядається швидкість вітру (v , м/с), та задана поверхнева густина теплового потоку ($q_{дж}$, кВт/м²). Тому для створення плану повного факторного експерименту беремо саме ці параметри, які мають суттєвий вплив на показник критичної поверхневої густини теплового потоку.

Діапазони зазначених параметрів обґрунтовані в роботі [13] та наведені в таблиці 1. Визначені інтервали показують найменше та найбільше значення параметрів в експерименті, які вибрані в якості факторів.

Таблиця 1 – Інтервали параметрів в експерименті, що вибрані в якості факторів

Швидкість вітру м/с		Задана поверхнева густина теплового потоку кВт/м ²	
Найменше значення, v	Найбільше значення, $v+$	Найменше значення, q	Найбільше значення, $q+$
0	30	10	50

Аналізуючи результати експериментальних досліджень математичну модель, якою описується залежність вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку для гофрокартону можна представити у вигляді лінійної залежності часу займання та факторами, які мають вигляд рівняння 1 [13].

$$t = b_0 + b_1 v_v + b_2 q_{дж} + b_3 v_v q_{дж}, \quad (1)$$

де $v_{в1}$, $q_{дж}$, – параметри, що враховують вибрані фактори, які зазначені у таблиці 1;

b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , – константи рівняння числової регресії.

Для визначення констант рівняння числової регресії відповідно до формули (1) необхідно провести 4 чисельних експерименти [14] за складеною для цього матриці планування, що записана у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 – Загальна матриця планування повного факторного експерименту для побудування математичної моделі

Номер експерименту	x1	x2	x1, x2,
1	+	+	+
2	-	+	-
3	+	-	-
4	-	-	-

Константи рівняння числової регресії (1) можна визначити використовуючи формули, (2) наведені в роботах [4,15]:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i,$$

$$b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 y_i,$$

$$b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_2 y_i,$$

$$b_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_3 y_i, \quad (2)$$

де $N = 4$ – кількість експериментальних ситуацій згідно із планом експерименту;

x_i – значення параметру згідно із матрицею плану;

y_i – значення заданого теплового потоку.

За результатами проведених розрахунків отримані константи рівняння числової регресії наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Константи рівняння числової регресії

Коефіцієнт	b_0 ,	b_1 ,	b_2 ,	b_3 ,
Значення	281,4	25.364	5.43	0.43

Використовуючи отриману регресійну залежність побудована відповідна поверхня залежності між швидкістю вітру, критичної поверхневої

густини теплового потоку та часу, впродовж якого відбувається займання матеріалу, яка показана на рисунку 1.

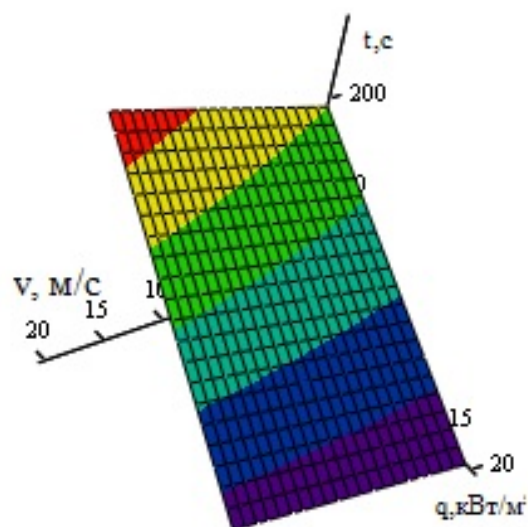


Рисунок 1 - Залежність між швидкістю вітру, критичною поверхневою густиною теплового потоку та часу, впродовж якого відбувається займання матеріалу

Використовуючи регресійну залежність та із визначеними константами можна побудувати інформаційно-довідкові табличні дані щодо залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку для гофрокартону. Отримані результати представлені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Визначення часу досягнення критичної поверхневої густини теплового потоку для гофрокартону залежно від потужності джерела теплового випромінювання та впливу вітру

Величина швидкості вітру v , м/с	Розрахункове значення часу досягнення критичної поверхневої густини теплового потоку, ($q_{кр}$, кВт/м ²) залежно від потужності джерела теплового випромінювання q Дж кВт/м ² та впливу вітру			
	q Дж кВт/м ²			
	5	15	35	50
	t , с			
0	254,2	199,9	91,4	9.986
від 0 до 5	370,2	294,4	142,6	28,8
від 5 до 10	486,3	388,8	193,9	47,7
від 10 до 15	602,5	483,3	245,2	66,6
від 15 до 20	718,3	577,7	296,4	85,5
від 20 до 25	834,4	672,1	347,7	104
від 25 до 30	950,4	766,6	399	123

Висновки. За результатами проведеного повного факторного експерименту науково обґрунтовані інформаційно довідкові дані щодо значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів залежно від вітрового впливу. При цьому зроблені такі висновки:

- встановлено, що найбільш значущими факторами, що впливають на час досягнення передумов виникнення пожежі є вітровий вплив та значення поверхневої густини теплового потоку, та обґрунтовано їх діапазони, які складають для вітрового впливу від 0 до 30 м/с, для густини теплового потоку від 5...50 кВт/м²;

- побудовано регресійну модель, яка описує залежність вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку для гофрокартону у вигляді лінійної залежності та визначено її коефіцієнти;

- розроблено таблицю визначення часу досягнення критичної поверхневої густини теплового потоку для гофрокартону залежно від потужності джерела теплового випромінювання та впливу вітру.

Проведені дослідження та сформовані таблиці даних в подальшому зможуть бути використані для розробки удосконаленого спрощеного методу прогнозування теплового впливу пожежі на суміжні будівельні об'єкти з урахуванням вітрового впливу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ройтман М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 590 с.

2. Грушевский Б.В. Пожарная профилактика в строительстве [Текст] / Б.В. Грушевский, А.И. Яковлев, И.А. Кривошеев

и др. под ред. В.Ф. Кураленкина.- М.: ВИПТШ, 1985. С.180-183.

3. Пожарная профилактика в строительстве / [Романенко П.Н., Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П.] под ред. Ф.А. Аммосова.- М.: Стройиздат, 1978. – 363 с.

4. Поздеев С. В. Методика определения режимов нагрева бетонных образцов, моделирующих состояние элементов строительных конструкций при пожаре / С.В. Поздеев, О.В. Некора, А.В. Поздеев // Проблемы пожарной безопасности. – Х. : АГЗУ, 2006. – Вып. 19. – С. 111 – 116.

5. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Моделирование нагрева резервуара под действием излучения пожара // Вісник міжнародного слов'янського університету. – Харків: ТОВ ПКФ «Яна», 2004. – Т. 7. – №2. – С. 7-9.

6. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Оценка пожарной опасности резервуара с нефтепродуктом при его нагреве от пламени соседнего горящего резервуара // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков: ХНУРЭ, 2005. – №2. – С. 110-112.

7. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Тепловые процессы в нагреваемом резервуаре // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. – Киев: Техника, 2006. – Вып. 67. – С. 357-362.

8. Семерак М. М. Вплив швидкості вітру на процеси теплообміну між вертикальними сталевими резервуарами (на прикладі пожежі на нафтобазі "БРСМ Нафта") / М. М. Семерак, М. Р. Михайлишин // Пожежна безпека. - 2017. - № 30. - С. 137-147. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pb_2017_30_18.

9. Ю. А. Абрамов А. Влияние изменения температуры окружающей среды на результаты испытаний тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом /, Е. А. Тищенко, А. С. Борисова // Проблемы пожарной безопасности. - 2015. - Вып. 37. -

С. 32-35. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2015_37_8

10. С.В. Жартовський, С.В. Поздеев, В.В. Ніжник та Ю.Л. Фещук Оцінювання небезпеки поширення пожежі на суміжні будівельні об'єкти за критерієм теплового потоку / International Scientific Journal "Internauka" <http://www.inter-nauka.com/>.

11. Лабай В. Й. Дослідження та шляхи зменшення теплового випромінювання під час пожеж / В. Й. Лабай, В. І. Гудим, А. Ф. Гаврилюк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. - 2013. - № 755. - С. 221-226. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_7_55_42.

12. 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.

13. Борисова А.С. Методика експериментальних досліджень залежності критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу./ В.В. Ніжник // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: технічні науки та архітектура. – 2020. – №2. – С. 200–203.

14. Нижник В.В. Методология прогнозирования пределов огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздеев, В.В. Нижник // Международный научный журнал "Интернаука". – 2018. – № 14. – с. 74 – 81.

15. Милованов А. Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А.Ф. Милованов. – М. : Стройиздат, 1998. – 304 с.

REFERENCES

1. Roytman M.Ya. Termodinamika i teploperedacha v pozharnom dele / Komissarov Ye.P., Pchelintsev V.A. pod red. Yu.A. Koshmarova. – М.: VIPTSh, 1977. – s. 297-298.

2. Fire Prevention in Construction / [Hrushevskiy B.V., Yakovklev A.I., Krivosheyev I.A. and others], Edited by

V.F.Kuralenkin. – М., HEFES, 1985. – 4521 p. [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. Fire prevention in construction / [Romanenko PN, Koshmarov YA, Bashkirtsev

MP], ed. F. Ammosova.- М.: Stroyizdat, 1978. - 363 p.

4. Pozdeev SV Methods for determining the modes of heating of concrete samples that simulate the state of the elements of building structures in case of fire / SV Pozdeev. OV Nekora, A.V. Pozdeev // Problems of fire safety. - X.: АГЗУ, 2006. - Вып. 19. - P. 111 - 116.

5. Abramov Yu.A., Basmanov AE Modeling of tank heating under the action of fire radiation // Bulletin of the International Slavic University. - Kharkiv: LLC PKF "Yana", 2004. - Vol. 7. - №2. - P. 7-9.

6. Abramov Yu.A., Basmanov AE Estimation of fire danger of the tank with oil product at its heating from a flame of the next burning tank // Radioelektronika i informatika. - Kharkiv: KhNURE, 2005. - №2. - P. 110-112.

7. Abramov Yu.A., Basmanov AE Thermal processes in a heated tank // Municipal economy of cities. Scientific and technical collection. - Kiev: Technology, 2006. - Issue. 67. - P. 357-362.

8. Semerak MM Influence of wind speed on heat exchange processes between vertical steel tanks (on the example of a fire at the oil depot "BRSM Nafta") / MM Semerak, MR Mykhailyshyn // Fire safety. - 2017. - № 30. - P. 137-147. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pb_2017_30_18.

9. Yu. A. Abramov A. Vliyanie izmeneniya temperatury` okruzhayushhej sredy` na rezul'taty` ispy'tanij teplovy`x pozharny`x izveshhatelej s termorezistivny`m chuvstvitel'ny`m e`lementom /, E. A. Tishhenko, A. S. Borysova // Problemy` pozharnoj bezopasnosti. - 2015. - Vy`p. 37. - S.

32-35. - Rezhim dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2015_37_8

10. 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.

11. Gudym VI Research and ways to reduce thermal radiation during fires / VY Labay, VI Gudym, AF Gavrilyuk // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Theory and practice of construction. - 2013. № 755. - P. 221-226. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_755_42.

12. 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.

13. Borysova A Methods of experimental studies of the dependence of the critical surface heat flux density on wind exposure./ V.V. Nizhnyk // Scientific and technical collection "Municipal utilities". Series: technical sciences and architecture. - 2020. - №2. - P. 200–203.

14. Nizhnyk V. Methodology for forecasting the limits of fire resistance of wooden columns with fire protection treatment / Yu.L. Фещук, С.В. Pozdeev, VV Nyzhnyk // International Scientific Journal "Internauka". - 2018. - № 14. - p. 74 - 81.

15. Milovanov AF Stability of reinforced concrete structures in case of fire / AF Milovanov. Milovanov. - М.: Стройиздат, 1998. - 304 p.

*V. V. Nizhnyk, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, A. S. Borysova
Institute of Public Administration and Research in Civil Protection*

DETECTION OF THE DEPENDENCE OF WIND INFLUENCE ON THE CRITICAL SURFACE DENSITY OF HEAT FLOW

The environment and its parameters depend on heat transfer processes and objects and have an unconditional impact on human activities. The study of these factors and the ability to reduce their negative impact is an important issue today. In the specified article the substantiation of dependence of wind

influence on the minimum value of surface density of a heat stream at which there is a steady flame combustion by means of full factor experiment is carried out. The authors determined the largest and smallest indicators of significant factors influencing the value of the critical surface heat flux density, namely

wind speed (v , m / s) and the set surface heat flux density (q , kW / m²).

In the course of the research, a mathematical model was built which describes the dependence of wind influence on the critical surface heat flux density. This dependence is presented as linear. The corresponding constants for the numerical regression equation, which has the form of a linear one, are determined. To determine the constants of the numerical regression equation, 4 numerical experiments were performed according to the matrix for planning a complete factorial experiment. Due to the constructed regression dependence, a corresponding dependence

surface was developed between the wind speed, the critical surface heat flux density and the time during which the material ignites. Based on the results of the calculations, an appropriate table was developed for the values of the critical surface heat flux density for substances and materials depending on wind exposure. These tables can be used in the future to develop an improved simplified method for predicting the thermal impact of fire on adjacent construction sites, taking into account the impact of wind.

Keywords: heat flux, critical surface heat flux density, heat transfer, radiant heat exchange, wind influence.