

УДК 614.841

ВИКОРИСТАННЯ ПРИЙМАЧА ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ФОА 013-01 ПІД ЧАС ОЦІНЮВАННЯ НЕБЕЗПЕКИ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ НА СУМІЖНІ ОБ'ЄКТИ

Ніжник В.В., канд. техн. наук, Фещук Ю.Л., канд. техн. наук., Поздєєв С.В., докт. техн. наук

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, вул. Рибальська, 18, Київ, 01011

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2020.10>

Досліджено ефективність використання приймача теплового потоку під час оцінки небезпеки поширення пожежі на суміжні об'єкти будівництва. Визначено чутливість приймача теплового потоку ФОА 013-01. Встановлено, що різниця при проведенні вимірювань приймачами теплового потоку ФОА 013-01 та РАП 12.М.2 не перевищує 8 %.

Исследована эффективность использования приемника теплового потока при оценке опасности распространения пожара на смежные объекты строительства. Определено чувствительность приемника теплового потока ФОА 013-01. Установлено, что разница при проведении измерений приемниками теплового потока ФОА 013-01 и РАП 12.М.2 не превышает 8%.

The efficiency of the use of the heat flow receiver in the assessment of the risk of spreading fire to adjacent construction sites was investigated. The sensitivity of FOA 013-01 heat flow receiver was determined. It is established that the difference in measurements by heat flow receivers of FAA 013-01 and RAP 12.M.2 does not exceed 8%.

Бібл. 14, табл. 3, рис. 3.

Ключові слова: густина теплового потоку, приймач теплового потоку, протипожежні відстані.

E – вихідний сигнал приймача теплового потоку;
 F – коефіцієнт Фішера;
 h – товщина константанованого диску;
 k – коефіцієнт чутливості;
 P – статистична надійність;
 q – діючий тепловий потік;
 R – радіус константанованого диску;

S_1^2 – дисперсія першого вимірювання;
 S_2^2 – дисперсія другого вимірювання;
 q – статистична значущість;
 \varnothing – діаметр;
 ОТВ – отвір.

Постановка проблеми. Одним із критеріїв, який досліджується під час оцінювання небезпеки поширення пожежі на суміжні об'єкти будівництва є радіаційний тепловий потік [1]. Разом з цим, на сьогодні не існує універсального приладу для вимірювання густини теплового випромінювання у широкому діапазоні частоти та потужності. В залежності від умов дослідження, характеру випромінювання, інтегральної потужності необхідно використовувати один із спеціальних засобів вимірювання, такі засоби вимірювання називають приймачами теплового потоку [2].

Приймачі теплового потоку реагують на енергію, яку поглинає їх чутливий елемент, що призводить до його нагрівання. Нагрівання чутливого елемента викликає зміни інших фізичних параметрів чутливого елемента (електропровідність, геометричні параметри, тиск газу, та ін.) [3]. Залежно від структурних елементів та особливостей теплопередачі похибка вимірювань може змінюватися. Тому питання щодо вимірювання

радіаційного теплового потоку із використання приймача теплового потоку типу ФОА 013-01 під час оцінювання небезпеки поширення пожежі на суміжні будівельні об'єкти є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вимірювання густини теплового потоку здійснюється різними засобами та способами. Одним із способів вимірювання [4] густини теплового потоку є використання приймача з термочутливими елементами, варто зазначити, що при вимірюванні великих теплових потоків, приймальну поверхню приймача вкривають відбиваючим шаром. Також варто звернути увагу на спосіб порівняльної калометрії [5], коли відбувається вимірювання енергетичної яскравості джерела по інтенсивності теплового випромінювання (теплового потоку) в інфрачервоному діапазоні. По суті відбувається порівняння теплових потоків, створеною поглинутою променевою потужністю та точно відомою електричною потужністю. Найрозповсюдженішим при-

ймачем такого способу вимірювання є «Радиометр теплового излучения «ИК-метр». Взагалі густина теплового потоку може бути виміряною з використанням різних підходів, наприклад таких, що описані в роботі [6] з використанням термографічних люмінофорів. В роботах [7, 8] при вимірюванні густини теплового потоку використовують оптичний метод, а в роботі [9] використовується тонкоплівковий приймач, що здатний певний час перебувати під дією температури 1900 °С. В основному вимірювання густини теплового потоку здійснюється приймачами типу Шмідта-Боелтера або Гардона оскільки вони тепловий потік випромінювання і конвекції з охолоджуючою поверхністю як зазначено поєднують в [10].

Формулювання цілей досліджень. Мета даної роботи – дослідити ефективність використання приймача теплового потоку під час оцінки небезпеки поширення пожежі на суміжні об’єкти будівництва, як підгрунтя для розроблення програми та методики експериментальних досліджень процесів теплопередачі між вогнищем пожежі та елементами суміжних об’єктів.

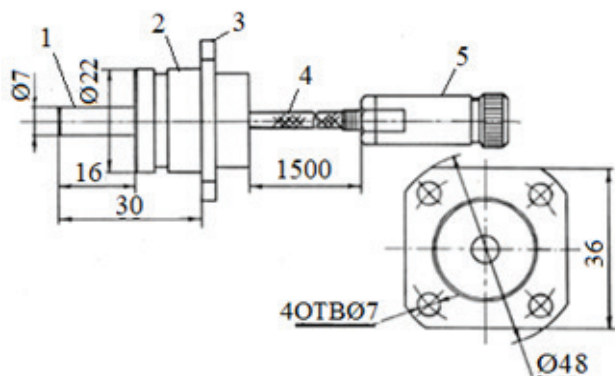
Об’єкт – визначення густини теплового потоку від джерела теплового випромінювання.

Предмет – вплив чутливості приймача теплового потоку на його похибку вимірювання.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. З метою дослідження небезпеки поширення пожежі на суміжні будівельні об’єкти за критерієм теплового потоку для вимірювання густини теплового потоку запропоновано використовувати приймач теплового потоку ФОА-013-01.

Приймач теплового потоку ФОА 013-01 призначений для одноразового вимірювання густини сумарного теплового потоку. Конструктивна схема якого представлена на рис. 1.

Принцип дії приймача базується на вимірюванні різниці температури, що виникає при дії теплового потоку між центром і боком тонкого константанованого диска (1), закріпленого на мідному тепловідводі (2) (рис. 2) [11]. Різниця температур вимірюється диференціальною термопарою, що утворена центральним та боковим мідними термоелектродами (3).



а)



б)

Рис. 1. Схематичне зображення датчика ФОА 013-01 (а): 1 – константанований диск, 2 – корпус приймача, 3 – рубашка охолодження, 4 – провід, 5 – з’єднувальна вилка; (б) фото теплоприймача ФОА 013-01.

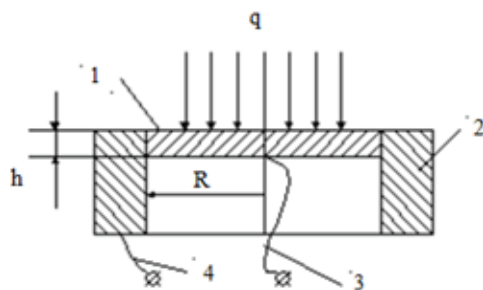


Рис. 2. Принципова схема роботи приймача теплового потоку ФОА 013-01: 1 – периферія тонкого константанованого диска (ПТКД); 2 – тепловідвід, 3, 4 – центральний та боковий термоелектроди; h, R – товщина та радіус константанованого диску; q – діючий тепловий потік.

Технічні характеристики приймача теплового потоку ФОА 013-01 зазначені в таблиці 1.

Густина сумарного теплового потоку, що вимірюється приймачем теплового потоку ФОА 013-01 [12] знаходять за формулою:

$$q = E/k \cdot 10^3 \quad (1)$$

де q – густина сумарного теплового потоку, кВт/м² ;
 E – вихідний сигнал приймача теплового потоку, мВ ;
 k – чутливість приймача теплового потоку, мкВ•м²/кВт.

Для визначення чутливості приймача теплового потоку ФОА 013-01 проведені експериментальні дослідження. Суть досліджень полягала у тому, що на три приймачі теплового потоку ФОА 013-01 впливав потік заданої величини 20 кВт/м² та 40 кВт/м². Фото експериментальної установки зображено на рис. 3. Процедура вимірювання кожним приймачем проводилася три рази.

Результати експериментальних досліджень представлені у таблиці 2.

На підставі отриманих показників приймачів в мВ

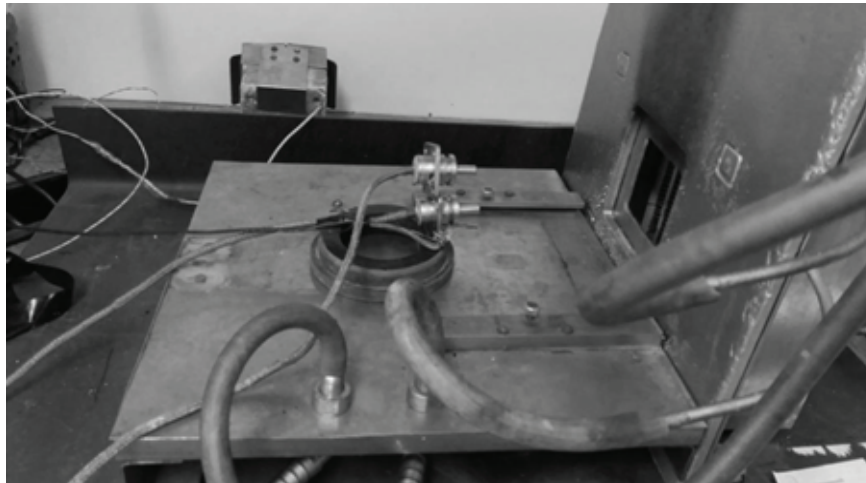


Рис. 3. Процедура калібрування теплоприймача ФОА 013-01 на радіаційній панелі.

Таблиця 1. Технічні характеристики приймача теплового потоку ФОА 013-01

№	Параметр	ФОА 013-01
1	Діапазон вимірюваної густини теплового потоку, кВт/м ²	від 0 до 630
2	Габаритні розміри, мм	36×36×30
3	Маса приймача, кг	< 0,350

Таблиця 2. Отримані показники теплового потоку приймачем ФОА 013-01

№	Величина теплового потоку, кВт/м ²	Теплоприймач ФОА 013-01 № 1	Теплоприймач ФОА 013-01 № 2	Теплоприймач ФОА 013-01 № 3
		Показники в мВ, (кВт/м ²)*	Показники в мВ, (кВт/м ²)*	Показники в мВ, (кВт/м ²)*
1	20	90,01 (14,90)	120,36 (19,92)	148,91 (24,65)
2	40	198,02 (32,78)	246,84 (40,86)	289,01 (47,84)

* **Примітка.** Показники в кВт/м² зазначено на підставі виведеного коефіцієнта чутливості $k = 6,04$ мкВ•м²/кВт та формули (1).

виведено коефіцієнт чутливості. Для цього знайдено середні значення показників напруги 3 теплоприймачів для величини теплового потоку 20 кВт/м² та 40 кВт/м². Отримані значення розділені на величини теплового потоку 20 кВт/м² та 40 кВт/м² та виведено два коефіцієнти, з яких взято середнє значення. Таким чином на підставі проведених досліджень виведено коефіцієнт чутливості, що становить $k = 6,04$ мкВ•м²/кВт.

Порівняння отриманих результатів проводили із результатами, що отримані приймачем теплового потоку РАП 12.М.2. [13]. Показники теплового потоку отримані приймачем РАП 12.М.2 занесено в таблицю 3.

Згідно з інструкцією [14] проведено оцінювання отриманих результатів приймачами теплового потоку ФОА 013-01 та РАП 12М.

Здійснено перевірку належності дисперсій, отриманих під час проведення вимірювань приймачами до однієї генеральної сукупності.

Для оцінювання дисперсій висувають нуль-гіпотезу, тобто припускають, що різниця між дисперсіями результатів випробувань двох лабораторій дорівнює нулю і дані, отримані лабораторіями, є вибірками з генеральної сукупності. При цьому розраховують коефіцієнт Фішера за формулою:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} = F, \quad (9)$$

де S_1^2 , S_2^2 – оцінки дисперсій двох різних вимірювань, розраховані за виразом (3).

У чисельник формули (9) підставляють значення більшої дисперсії.

Розраховане значення коефіцієнта F порівнюють з табличним значенням. Для цього задаються рівнем статистичної значущості q % (зазвичай це 5 %) і для кількості ступенів свободи $k_1=n_1-1$ та $k_2=n_2-1$ визначають табличне значення F_{q,k_1,k_2} .

Таблиця 3. Отримані показники теплового потоку приймачем РАП 12.М.2

№	Величина теплового потоку, кВт/м ²	Теплоприймач РАП 12.М.2	Теплоприймач РАП 12.М.2	Теплоприймач РАП 12.М.2
		Показники в кВт/м ²	Показники в кВт/м ²	Показники в кВт/м ²
1	20	16,49	19,34	20,96
2	40	35,01	39,98	40,87

Критичне значення в таблиці F -розподілення Фішера [14] знаходять залежно від заданого рівня статистичної значущості q % на перетині стовпця k_1 та рядка k_2 .

Якщо виконується нерівність $F \leq F_{q,k_1,k_2}$, то для наявних даних можна вважати, що зі статистичною надійністю $P = 1 - \frac{q}{100}$, дані не заперечують нульгіпотезі, тобто розбіжність між дисперсіями результатів вимірювань двох приймачів можна вважати несуттєвою і можна пояснити впливом випадкових чинників та обмеженим обсягом даних. Таким чином, дані, отримані приймачами, є вибірками з однієї генеральної сукупності.

Якщо $F > F_{q,k_1,k_2}$, то на підставі отриманих результатів нуль-гіпотезу відкидають і розбіжність між дисперсіями результатів вимірювань двох приймачів вважають суттєвою. Такі дані не належать до однієї генеральної сукупності.

Перевірка показала, що середньоквадратичне відхилення по приймачу ФОА 013-01 становить 7,53 %, по приймачу РАП 12.М.2 – 3,15 %, а критерій Фішера становить 5,7, що не перевищує табличного значення. Різниця між показами приймачів знаходиться в межах 8 %.

Таким чином отримані показники приймачами теплового потоку належать до однієї генеральної сукупності.

Висновок. В ході проведених досліджень встановлено, що чутливість приймача теплового потоку ФОА 013-01 становить $k = 6,04$ мкВ•м²/кВт.

Встановлено, що під час оцінювання небезпеки поширення пожежі на суміжні будівельні об'єкти за критерієм теплового потоку можливо використати приймач теплового потоку типу ФОА 013-01. При цьому встановлено, що різниця при проведенні вимірювань приймачами теплового потоку ФОА 013-01 та РАП 12.М.2 не перевищує 8 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ніжник В.В. Підходи щодо визначення протипожежних відстаней між будинками та спорудами // В.В. Ніжник// Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – Київ, КНУБА, 2019 – №53. – С. 215 – 226.
2. Ковтун С.І. Засоби вимірювання радіаційного теплообміну та інсоляції // С.І. Ковтун, С.О. Іванов, Л.В. Декуша, О.Л. Декуша, Л.Й. Воробйов // WORD SCIENCE. – № 7(35), Vol.5, July 2018 – С. 31 – 35.
3. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л. Приемники оптического излучения. М.: Радио и связь. 1987. 296 с.
4. Геращенко О.А. Основы теплотрии. К.: Наукова думка, 1971. с.15.
5. Ветошніков В.С. Вимірювання густини теплового потоку в камері згорання. // В.С. Ветошніков, Ю.Г. Добровольський, І.С. Пресняк, Б.Г. Шабашкевич, Л.М. Шафран // Актуальные проблемы транспортной медицины. – № 1 (7), 2007. – С. 119 – 126.
6. Piccini E, Guo SM, Jones TV. The development of a new direct-heat-flux gauge for heat-transfer facilities. Measurement Sciences and Technology 2000; 11, pp. 342 – 349.
7. Jones, T. V. “Heat Transfer, Skin Friction, Total Temperature, and Concentration Measurements,” in Measurement of Unsteady Fluid Dynamic Phenomena, Hemisphere Pub. Corp., Washington, DC, (1977), pp. 63–102.
8. Schultz D. L. and Jones T. V. Heat-transfer measurements in short-duration hypersonic facilities. AG 165, AGARD, France, 1973, pp. 155.
9. Ainsworth R. W., Allen J. L., Davies M. R. D., Doorly J. E., Forth C. J. P., Hilditch M. A., Oldfield M. L. G., Sheard A. G., Developments in instrumentation and processing for transient heat transfer measurement in a full-stage model turbine, Journal of Turbomachinery 111 (1989), pp. 20–27.
10. Pullins C A High temperature heat flux measurement: sensor design, calibration, and applications Virginia Polytechnic Institute and State University 2011 (Ph.D thesis), 2011 pp. 155.
11. Довгяло Д.А. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Типовые компоненты и датчики контрольно-диагностических средств» для студентов специальности 39 02 02 «Компьютерное моделирование и проектирование радиоэлектронных средств». – УО «ПГУ». – Новополюцк 2004. – С. 631.
12. Технический паспорт теплоприемника ФОА 013-01. – Чернигов. – 1985. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zavod-rapid.com/p2536518-f0a-013.html>.
13. Бутенко А.И. Приемники теплового излучения моделей РАП-12М и РАП-12М.2 // А.И. Бутенко // Пром. теплотехника. – Київ, 2004 – т. 26, № 6. – С. 209 – 211.
14. Інструкція з проведення міжлабораторних порівняльних випробувань у сфері пожежної безпеки. – УкрНІЦЗ. – Київ. – 2007.

USE OF THE HEAT FLOW RECEIVER FOA 013-01 WHEN ASSESSING THE DANGER OF THE SPREAD OF FIRE TO ADJACENT OBJECTS

Nizhnyk V.V., Pozdieiev S.V., Feshchuk Y.L.

The Ukrainian Civil Protection Research Institute 18, Rybalska str., Kyiv, 01011, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2020.10>

The efficiency of using a heat flux receiver in assessing the danger of a fire spreading to adjacent construction objects is studied, as a basis for developing a program and methodology for experimental studies of heat transfer processes between a fire source and elements of adjacent objects. The object of study is to determine the heat flux density from a source of heat radiation. The subject of the study is the influence of the sensitivity of the heat flow receiver on its measurement error. In order to study the danger of fire spreading to adjacent construction projects using the heat flux criterion, it is proposed to use a heat flux detector FOA-013-01 to measure the heat flux. The heat flux receiver FOA 013-01 is designed for a single measurement of the density of the total heat flux. The principle of operation of the receiver is based on measuring the temperature difference, which occurs when a heat flux between the center and the side of a thin constantan disk mounted on a copper heat sink is exposed. To determine the sensitivity of the heat flux detector FOA 013-01, experimental studies were conducted. The essence of the research was that the three heat receivers FOA 013-01 were influenced by a predetermined flux of 20 kW/m² and 40 kW/m². The measurement procedure for each receiver was carried out three times. Based on the received indicators of receivers in mV, a sensitivity coefficient is derived. A comparison of the results was carried out with the results obtained by the heat flux receiver RAP 12.M.2. The verification of the belonging of the dispersions obtained during measurements by receivers to the same population was carried out. The verification showed that the standard deviation for the receiver of the FAA 013-01 is 7.53%, for the receiver RAP 12.M.2 - 3,15%, and the Fisher criterion is 5.7, which does not exceed the table value. The difference between the impressions of the receivers is within 8%. Thus, the indicators obtained by heat flow receivers belong to one general population.

References 14, tables 3, figures 2.

Keywords: heat flux density, heat flux receiver, fire distances.

1. *Nizhnyk V.V.* [Approaches to the determination of fire-prevention distances between buildings and structures] *Suchasni Problemy Arkhitektury Ta Mistobuduvannya* [Modern problems of architecture and local building], Kyiv, KNUBA, 2019, №53. P. 215–226. (Ukr).

2. *Kovtun S.I., Ivanov S.O., Decusha L.V., Decusha O.L., Sparrows L.Y.* *Zasoby Vymiryuvannya Radiatsiinoho Teplobminu Ta Insoliatsii* [Means of Measurement of Radiation Heat Exchange and Insulation], [WORD SCIENCE], № 7(35), Vol.5, July 2018. P. 31–35. (Ukr).

3. *Aksenenko M.D., Baranochnikov M.L.* *Priemniki opticheskogo izlucheniya* [Optical receivers], M.: Radio i svyaz, 1987. 296 p. (Rus).

4. *Gerashenko O.A.* *Osnovy teplometrii* [Thermometry Basics]. K., Naukova dumka, 1971. P. 15. (Rus).

5. *Vetoshnikov V.S., Dobrovolskij Yu.G., Presnyak I.S., Shabashkevich B.G., Shafran L.M.* *Vimiryuvannya gustini teplovogo potoku v kameri zgorannya* [Measurement of heat flux density in the combustion chamber], *Aktualnye problemy transportnoj medicyny* [Actual problems of transport medicine], № 1 (7), 2007, P. 119–126. (Rus).

6. *Piccini E, Guo SM, Jones TV.* [The development of a new direct-heat-flux gauge for heat-transfer facilities]. [Measurement Sciences and Technology], 2000, 11, P. 342–349.

7. *Jones, T. V.* [Heat Transfer, Skin Friction, Total Temperature, and Concentration Measurements in Measurement of Unsteady Fluid Dynamic Phenomena, Hemisphere Pub. Corp.], Washington, DC, 1977. P. 63–102.

8. *Schultz D. L. and Jones T. V.* [Heat-transfer measurements in short-duration hypersonic facilities]. AG 165, AGARD, France, 1973, P. 155.

9. *Ainsworth R. W., Allen J. L., Davies M. R. D., Doorly J. E., Forth C. J. P., Hilditch M. A., Oldfield M. L. G., Sheard A. G.* [Developments in instrumentation and processing for transient heat transfer measurement in a full-stage model turbine], [Journal of Turbomachinery], 111, 1989, P. 20–27.

10. *Pullins C. A.* [High temperature heat flux measurement: sensor design, calibration, and applications], Virginia Polytechnic Institute and State University, (Ph.D thesis), 2011. P. 155.

11. *Dovgyalo D.A.* *Uchebno-metodicheskij kompleks po discipline «Tipovye komponenty i datchiki kontrolno-diagnosticskikh sredstv» dlya studentov specialnosti 39 02 02 «Kompyuternoe modelirovanie i proektirovanie radioelektronnyh sredstv»* [Educational complex on the discipline "Typical components and sensors of control

and diagnostic tools" for students of specialty 39 02 02 "Computer modeling and design of electronic equipment"], УО «PGU», Novopolock, 2004. P. 631. (Rus).

12. *Tekhnicheskij pasport* teplopriemnika FOA 013-01 [Technical passport of a heat receiver FOA 013-01], Chernigov, 1985, [Elektronnij resurs], Rezhim dostupu: <https://zavod-rapid.com/p2536518-f0a-013.html>. (Rus).

13. *Butenko A.I.* Priemniki teplovogo izlucheniya modelej RAP-12M i RAP-12M.2 [Thermal radiation receivers RAP-12M and RAP-12M.2 models], Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Heat Engineering], Kyiv, 2004, V. 26, No. 6, P. 209–211. (Rus).

14. *Instrukciya z provedennya* mizhlaboratornih porivnyalnih viprobuvan u sferi pozhezhnoyi bezpeki [Instruction on conducting inter-laboratory comparative tests in the field of fire safety], UkrNICZ, Kyiv, 2007. (Ukr).

Отримано 12.09.2019
Received 12.09.2019