

*Х.Ш. Гасанов, Ю.П. Ключка, д-р техн. наук, ст. наук. співр.  
(Національний університет цивільного захисту України)*

## **ВПЛИВ УМОВ ТЕПЛООБМІНУ ВСЕРЕДИНИ ТА ЗОВНІ ПРИМІЩЕННЯ НА МОЖЛИВІСТЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОЖЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОВІЗОРА**

В результаті проведеної роботи вирішено рівняння нестационарної теплопровідності з граничними умовами третього роду та отримано залежності температури на зовнішній поверхні стіни від часу за різних умов теплообміну, початкової температури, тощо. Розрахунковим шляхом встановлено, що на момент прибуття пожежних підрозділів, незалежно від умов теплообміну, підвищення температури на сучасних склопакетах буде достатнім для ідентифікації пожежі за результатами термограм.

**Ключові слова:** тепловізор, пожежа, теплопередача, термограма.

*H.Sh. Hasanov, Yu.P. Klyuchka*

## **INFLUENCE OF HEAT EXCHANGE CONDITIONS INDOORS AND OUTDOORS OF THE ROOM ON THE FIRE IDENTIFICATION BY INFRARED IMAGER**

Equation of non-stationary heat conductivity with third kind boundary conditions is solved in the article. The time-temperature dependence on the outer surface of the wall under different heat transfer conditions, initial temperature, etc is taken. Conducted calculation showed that at the time of fire units arrival, irrespective of the heat exchange conditions, the temperature increase on modern multiple glass pane will be sufficient to identify the fire according to the thermograms results.

**Key words:** infrared imager, fire, heat transfer, thermogram.

**Постановка проблеми.** Будь-яка стадія пожежі супроводжується процесом виникнення електромагнітного випромінювання в оптичному діапазоні і поза ним. Випромінювання полум'я пожежі або нагрітих конструкцій залежно від температури горіння, виду хімічної реакції має різний спектральний склад. У зв'язку з цим можна констатувати, що аналіз і гасіння пожеж можна проводити не тільки на основі даних у видимому для людського ока діапазоні світлових хвиль, а й за його межами, за допомогою пірометрів, тепловізорів [1-2]. Однак проблемою являється відсутність на сьогодні математичного апарату та рекомендацій щодо застосування тепловізорів при розвідці та гасінні пожеж.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На сьогодні велика кількість підприємств виготовляє тепловізори, в тому числі і спеціалізованих для пожежних підрозділів.

У роботах [1-3] вивчений вітчизняний і зарубіжний досвід застосування тепловізорів під час ліквідації надзвичайних ситуацій, зокрема, пожеж. Встановлено, що відсутні рекомендації щодо тактичних дій на основі аналізу інфрачервоного зображення як при гасінні пожежі, так і при його розвідці.

В роботі [4] показані нові можливості тепловізійного методу для виявлення осередків вогню. Розроблена методика, яка дає змогу диференціювати теплові випромінювання полум'я та нагрітих твердих поверхонь. Метод в цій роботі ґрунтується на тому, що температура різних об'єктів має різну частоту пульсацій.

В роботі [5] розглядається проблема відсутності стандарту для спеціалізованих тепловізорів, а саме для пожежних підрозділів.

В [6] отримана математична модель впливу небезпечних факторів надзвичайної ситуації і типу матеріалу стін на покази тепловізора. В [7] описані основні процедури та область застосування розрахункового методу оцінки вогнестійкості несучих кам'яних стін, що заснований на моделюванні їх поведінки в умовах нагрівання за стандартною температурною кривою пожежі.

Однак і досі не визначені умови за яких доцільно та ефективно використовувати тепловізор під час пожежі.

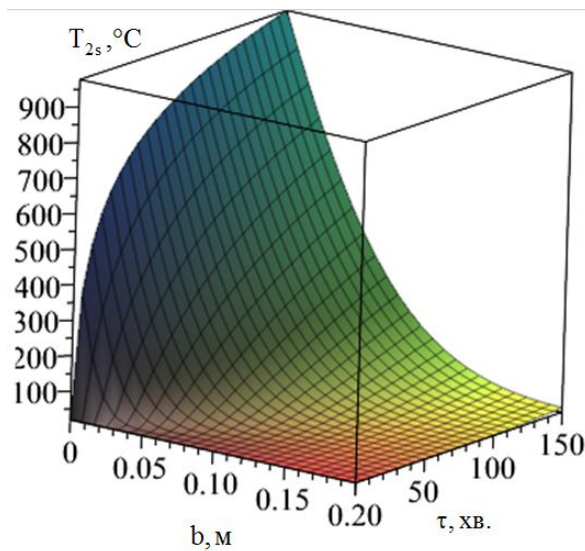
**Постановка задачі та її розв'язання.** Метою роботи є оцінка впливу умов теплообміну всередині та зовні приміщення на можливість ідентифікації пожежі за допомогою тепловізора.

За основу розрахунків була взята модель [6] з граничними умовами третього роду та початковими умовами, що визначались теж на основі даної моделі при  $\tau \rightarrow \infty$ .

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \tau} T(x, \tau) = a_{st} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x, \tau); \\ \lambda_{st1} \frac{\partial}{\partial x} T(x, \tau) \Big|_{x=x_1} = 1,66 \Delta T^{1/3} (T_{1s} - T_{pom}); \\ \lambda_{st2} \frac{\partial}{\partial x} T(x, \tau) \Big|_{x=x_2} = \left( 5,07 v^{0,656} + 3,25 e^{-1,91v} \right) (T_{vs} - T_{2s}); \\ T(x, 0) = T_0; T_{pom} = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0. \end{cases} \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість вітру, м/с;  $T_{1s}, T_{2s}$  – температура внутрішньої і зовнішньої поверхні стіни, °С;  $\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі біля внутрішньої і зовнішньої поверхні стіни, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\lambda_{st1}, \lambda_{st2}$  – коефіцієнт тепловідності внутрішньої і зовнішньої поверхні стіни, Вт/(м\*К);  $T_{pom}, T_{vs}$  – температура в приміщенні та зовні приміщення, °С;  $a_{st}$  – коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с

На рис. 1 та рис. 2, відповідно до (1), наведені залежності температури в перерізі стіни від часу.

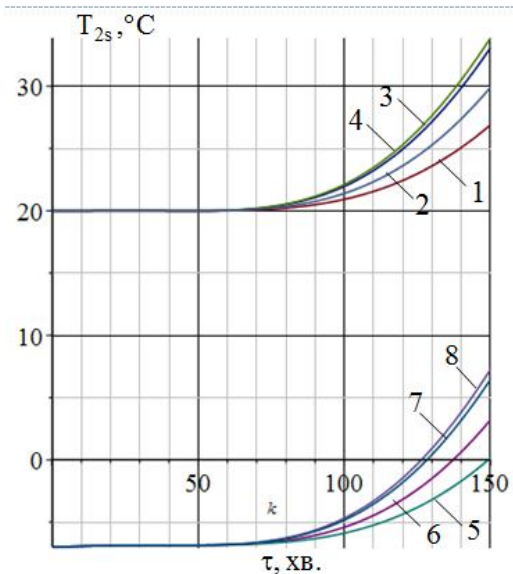


**Рисунок 1** – Залежність температури в перерізі стіни від часу

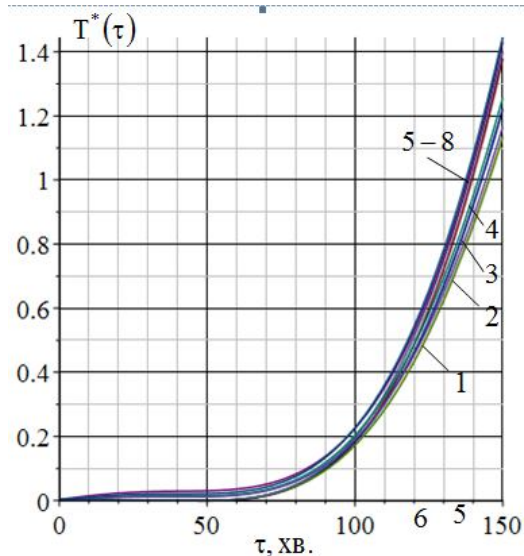
Аналіз рис. 2 показав, що криві 1-4 та 5-8 мають схожий характер змін, в результаті чого була отримана залежність (2), яка пов'язує між собою зовнішню температуру, температуру стінки на зовнішній поверхні та коефіцієнт тепловіддачі всередині приміщення

$$T^*(\tau) = \frac{T_{2s}(\tau, \alpha_1, \alpha_2, T_1, T_2) - T_2}{\alpha_1^{0,5}}, \quad (2)$$

На рис. 3. наведені залежності  $T^*(\tau)$  від часу при різних величинах зовнішньої температури.



**Рисунок 2** – Залежність температури зовнішньої поверхні стіни від часу:  
 1, 5 –  $\alpha_1=25$  Вт/(м<sup>2</sup>К); 2, 6 –  $\alpha_1=50$  Вт/(м<sup>2</sup>К);  
 3, 7 –  $\alpha_1=115$  Вт/(м<sup>2</sup>К); 4, 8 –  $\alpha_1=150$  Вт/(м<sup>2</sup>К);  
 1-4 –  $T_2=20^\circ\text{C}$ ; 5-8 –  $T_2=-20^\circ\text{C}$

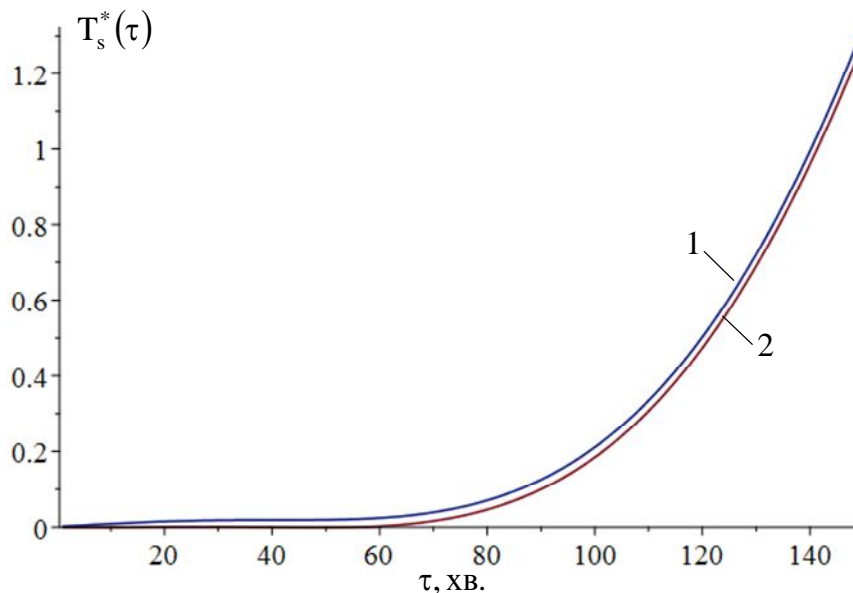


**Рисунок 3** – Залежність  $T^*(\tau)$  від часу:  
 1, 5 –  $\alpha_1=25$  Вт/(м<sup>2</sup>К); 2, 6 –  $\alpha_1=50$  Вт/(м<sup>2</sup>К);  
 3, 7 –  $\alpha_1=115$  Вт/(м<sup>2</sup>К); 4, 8 –  $\alpha_1=150$  Вт/(м<sup>2</sup>К);  
 1-4 –  $T_2=20^\circ\text{C}$ ; 5-8 –  $T_2=-20^\circ\text{C}$

З рис. 2 бачимо, що майже до години часу, за заданих теплотехнічних характеристик стіни, майже відсутня різниця в величині температури на зовнішній поверхні стінки. При цьому зміна режиму теплообміну в приміщенні, а саме коефіцієнта теплообміну на 100?200% призводить до збільшення зовнішньої температури на 12?14%.

На рис. 4 наведені усереднені значення  $T^*(\tau)$ , які визначались як

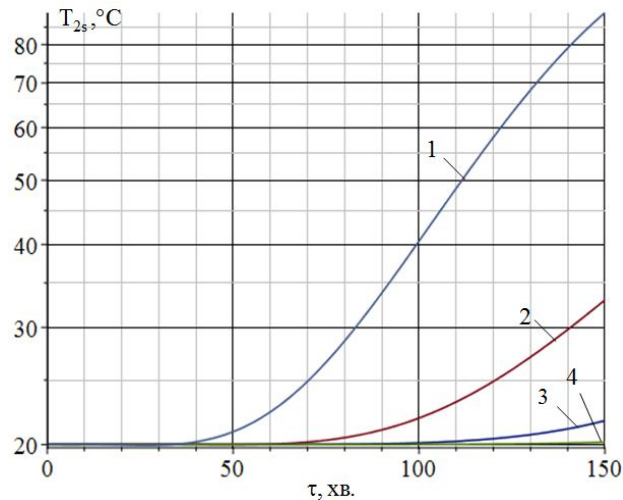
$$T_s^*(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N T^*(\tau, \alpha_{2(i)})}{N}. \quad (3)$$



**Рисунок 4** – Залежність усереднених значень  $T^*(\tau)$  від часу: 1 –  $T_2=20^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T_2=-20^\circ\text{C}$

Як бачимо при зміні  $T_2$  на 10%,  $T_s^*(\tau)$  змінюється менш ніж на відсоток. Таким чином можна говорити про інваріантність величини  $T_s^*(\tau)$  до  $T_2$ . Цю особливість можна використати при дослідженні пожеж та їх наслідків.

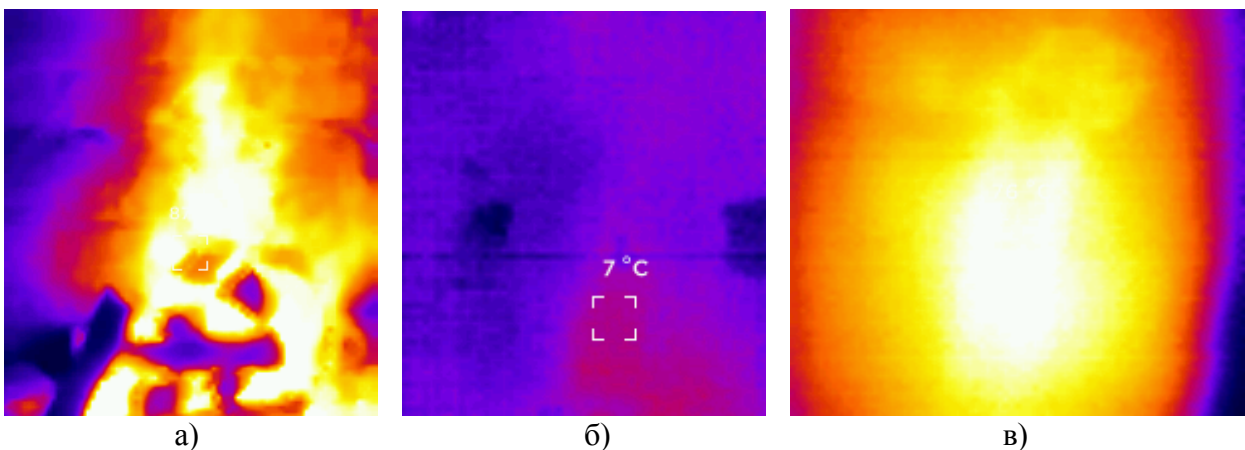
Покази тепловізора залежать й від геометричних параметрів огорожувальних конструкцій, в тому числі й від товщини даної конструкції. На рис. 5 наведено залежності температури на зовнішній поверхні стіни від часу при різних умовах теплообміну.



**Рисунок 5** – Залежність температури на зовнішній поверхні стіни від часу при різних умовах теплообміну: 1 –  $b=0,15$  м; 2 –  $b=0,2$  м; 3 –  $b=0,25$  м.; 4 –  $b=0,3$  м

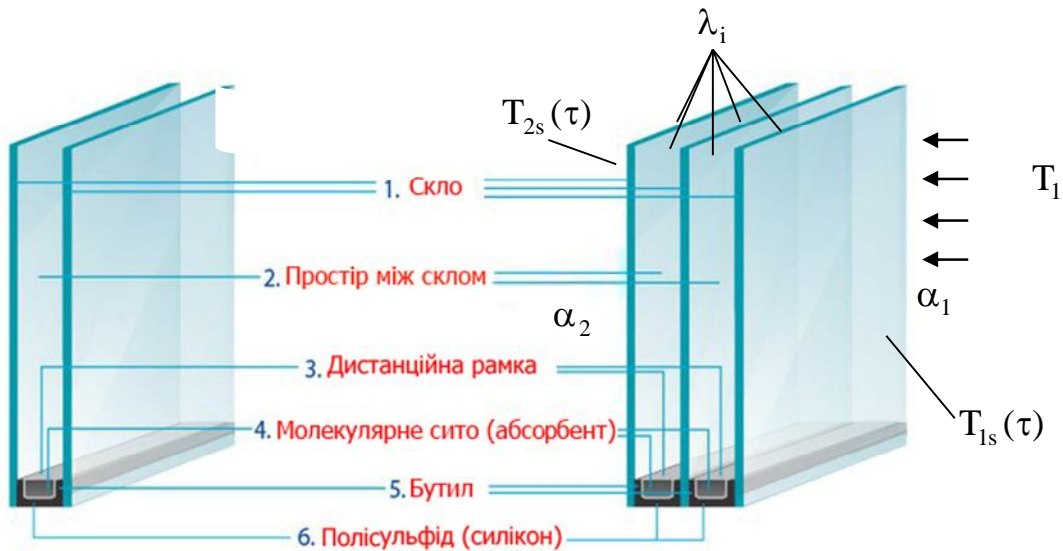
З рисунка видно, що швидкість прогріву стіни досить суттєво залежить від її товщини і може змінюватися майже на 50% при зміні товщини стіни лише на 20?25%. У зв'язку з цим, при визначенні місця пожежі за допомогою тепловізора, суттєвим фактором, що може вплинути на правильність результату, є в тому числі й геометричні параметри стіни.

Іншим елементом огорожувальних конструкцій будівель є віконні отвори. Як відомо інфрачервоне випромінювання майже не проходить через скло, тому зробити висновки про наявність підвищеної температури в приміщенні можна лише завдяки нагріванню скла з зовнішньої сторони вікна. На рис. 6а наведено результати проведених експериментальних досліджень, а саме, фото полум'я в інфрачервоному спектрі, а на рис. 6б вигляд цього полум'я через склопакет в тому ж спектрі. З рисунка видно, що ідентифікувати полум'я через склопакет неможливо. В той же час на рис. 6в наведено фото склопакета з внутрішньої сторони від впливу полум'я в інфрачервоному спектрі.



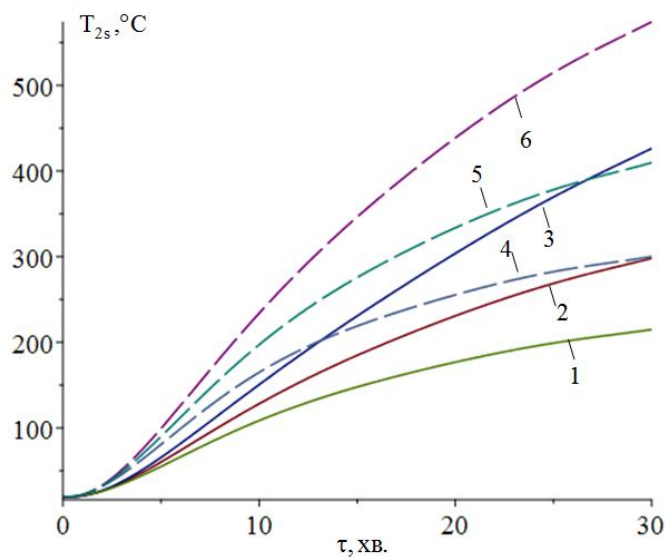
**Рисунок 6** – Термограми з тепловізора: а – термограма полум'я; б – термограма полум'я крізь скло; в – термограма нагрітої сторони скла

Оскільки конструкція склопакетів спрямована на мінімізацію передачі тепла шляхом конвекції, що досягається шляхом встановлення відповідних відстаней між склом, то подальше проведення розрахунків припустивши, що нагрівання зовнішньої сторони склопакета відбувається лише завдяки теплопровідності [7, 8]. На рис. 7 наведена схема склопакета та передачі тепла крізь нього.



**Рисунок 7** – Схема склопакета та передачі тепла крізь нього

В результаті рішення рівняння нестационарної теплопровідності (1) для склопакета були отримані залежності температури на зовнішній поверхні склопакета від часу за стандартного температурного режиму пожежі (рис. 8).



**Рисунок 8** – Залежність температури зовнішньої поверхні від часу:

1, 4 –  $\alpha_2 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ; 2, 5 –  $\alpha_2 = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ; 3, 6 –  $\alpha_2 = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ; 1-3 –  $\alpha_1 = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ;  
4-6 –  $\alpha_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

Аналіз рисунка показує, що на момент прибуття пожежних підрозділів незалежно від умов теплообміну підвищення температури на сучасних склопакетах буде достатнім для ідентифікації пожежі за результатами термограм.

**Висновок.** В результаті проведеної роботи:

- а саме рішення рівняння нестационарної теплопровідності з граничними умовами третього роду дало змогу отримати залежності температури на зовнішній поверхні стіни від часу при різних умовах теплообміну, початковій температурі тощо;
- експериментальним шляхом показано, що ідентифікація полум'я за допомогою тепловизора через склопакет унеможливується у зв'язку з поглинанням останнім інфрачервоного випромінювання;
- для склопакета були отримані залежності температури на зовнішній поверхні склопакета від часу за стандартного температурного режиму пожежі. Встановлено, що на момент прибуття пожежних підрозділів, незалежно від умов теплообміну, підвищення температури на сучасних склопакетах буде достатнім для ідентифікації пожежі за результатами термограм.

#### **Список літератури:**

1. Тепловизоры для пожарных [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.pergam.com.ua/catalog\\_103.htm?PHPSESSID=j5848etppm6l6v4h9d9tbl08c1](http://www.pergam.com.ua/catalog_103.htm?PHPSESSID=j5848etppm6l6v4h9d9tbl08c1).
2. Тепловизор для пожарных [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://ircam.ru/teplovizor\\_pozharny.htm](http://ircam.ru/teplovizor_pozharny.htm).
3. Ключка Ю. П. Анализ применения тепловизоров при тушении пожаров / Ю. П. Ключка, Х. Ш. Гасанов, Н. В. Крынская // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 36. – С. 109-116.
4. Жилкин Б. П. Применение тепловизионного метода для обнаружения очагов пламенного горения / Б. П. Жилкин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. – №4. – С. 38–40.
5. Amon F. Meaningful performance evaluation conditions for fire service thermal imaging cameras / Amon F, Hamins A., Bryner N., Rowe J. // Fire Safety Journal. – 2008. – № 43. – P. 541-550.
6. Klyuchka Y. P. Impact model of hazard emergency situation on the testimony of a thermal imager / Y. P. Klyuchka, N. V. Krynska, S. H. Hasanov // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 22. – С. 70-77.
7. Поздеев С. В. Розрахунковий метод оцінки вогнестійкості кам'яних несучих стін / С. В. Поздеев // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – 2014. – № 1. – С. 72-78.
8. Терехов В. И., Экаид А. Л. Ламинарная свободная конвекция между вертикальными параллельными пластинами с различными температурами // Теплофизика и Аэромеханика. – 2012. – Том 19, № 4. – С.415-429.
9. Терехов В. И., Экаид А. Л. Турбулентная свободная конвекция между вертикальными изотермическими пластинами с несимметричным нагревом // Теплофизика и Аэромеханика. – 2013. – Том 20. – № 2. – С.153-164.

#### **References:**

1. Thermal imagers for firemen [Retrieved from] // Rezhim dostupa: [http://www.pergam.com.ua/catalog\\_103.htm?PHPSESSID=j5848etppm6l6v4h9d9tbl08c1](http://www.pergam.com.ua/catalog_103.htm?PHPSESSID=j5848etppm6l6v4h9d9tbl08c1).
2. Thermal imagers for firemen [Retrieved from] // Rezhim dostupa: [http://ircam.ru/teplovizor\\_pozharny.htm](http://ircam.ru/teplovizor_pozharny.htm).
3. Klyuchka Y, Krynska N., Hasanov H. (2014) Features of determining the fire to buildings at imager. Problemy pozharnoy bezopasnosti (Problems of Fire Safety), 36, 109-116 (in Ukr.).
4. Zhylykyn B.P. (2012) Prymenenye teplovyzyonnoho metodu dlya vyyavlennya ochahiv promenevoho horinnya. Pozharovzryvobezopasnost (Fire and explosion safety), 4, 38-40.
5. Amon F, Hamins A., Bryner N., Rowe J. (2008) Meaningful performance evaluation conditions for fire service thermal imaging cameras. Fire Safety Journal. № 43, 541-550.

6. Klyuchka Y, Krynska N., Hasanov H. (2015) Impact model of hazard emergency situation on the testimony of a thermal imager. Problemi nadzvichaynikh situatsiytsiy (Problems of Emergencies), 22, 70-77 (in Ukr.).

7. Pozdyeyev S. V.(2014) Rozrakhunkovyy metod otsinky vohnestiykosti kam'yanykh nesuchykh stin. Naukovyy visnyk Ukrayins'koho naukovo-doslidnoho instytutu pozhezhnoyi bezpeky (Scientific Bulletin of the Ukrainian Research Institute of Fire Safety). 1, 72-78.

8. Terehov V., Ekaid A. (2012) Laminar free convection between vertical parallel plates with various temperatures. Teplofizika I aeromehanika (Thermal physics and air mechanics), vol. 19, 4, 415–429. (in Russian).

9. Terehov V., Ekaid A. (2013) [Turbulent free convection between vertical isothermal plates with asymmetrical heating](#). Teplofizika I aeromehanika (Thermal physics and air mechanics), vol. 20, 2, 153–164. (in Russian).

