

УДК 614.842.86

Б.В. Штайн, Б.В. Болібрух, канд. техн. наук, доцент, Р.Я. Лозинський, канд. техн. наук, доцент

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОШИРЕННЯ ТЕПЛОТИ В ПАКЕТИ МАТЕРІАЛІВ ТА ПОВІТРЯНОМУ ПРОШАРКУ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ

У роботі подано теоретичне узагальнення і рішення актуальної науково-технічної проблеми, яка полягає у розкритті особливостей та умов визначення температурних режимів підкостюмного простору, як підґрунтя для створення методу та технічних засобів оцінювання показників якості пакета теплозахисного одягу пожежника. На основі проведеного дослідження існуючих методів та способів визначення показників якості спеціальних матеріалів встановлено, що вони не наближені до умов експлуатації захисного одягу. Одержано співвідношення для розрахунку температури як на виворотній поверхні пакета теплозахисного одягу пожежника, так і в підкостюмному просторі.

Ключові слова: теплозахисний одяг пожежника, час захисної дії, метод випробування, показник якості.

B. Stein, B. Bolibrukh, Cand. of Sc. (Eng.), docent, R. Lozinski, Cand. of Sc. (Eng.), docent

THEORETICAL JUSTIFICATION HEAT DISTRIBUTION IN PACKAGE MATERIALS AND PROTECTIVE CLOTHING AIR LAYER

The paper presents a theoretical generalization and solutions relevant scientific and technical problems, which consists in revealing the characteristics and conditions determining temperatures pidkostyumnoho space as a basis to create a method and means of quality evaluation package heat-Service firefighter. Based on the study of existing methods and ways to determine quality special materials revealed that they are close to the conditions of protective clothing. Value obtained for calculating temperature as vyvorotniy surface heat-package apparel firefighter and in pidkostyumnomu space.

Keywords: a heat firefighter clothing, time of protective action, test method, quality.

Для забезпечення захисту під час гасіння пожеж та виконання завдань за призначенням, пожежниками використовується теплозахисний одяг, який зазнає впливу небезпечних факторів пожежі, а саме: підвищеної температури, теплового випромінювання, відкритого полум'я, води та поверхнево активних речовин.

Вибір і перевірка нових технічних рішень, що забезпечують досягнення основних споживчих властивостей протипожежної продукції, повинні здійснюватися в умовах, які, як правило, імітують умови їх експлуатації, як це вказано у ДСТУ ГОСТ 15.001:2009 «Продукція виробничо-технічного призначення».

Із впровадженням нових спеціальних матеріалів, які формують пакет захисного одягу пожежника, підвищуються і вимоги до методів випробування та визначення їх показників якості. Отже, виникає необхідність у створенні нових методів оцінювання, які б забезпечували достатньо об'єктивну оцінку показників якості спеціальних матеріалів з визначенням їх граничних показників та часу захисної дії, оскільки жоден з існуючих методів такої інформації не надає.

Результати аналізу виконання пожежно-рятувальних робіт особовим складом підрозділів ОРС ЦЗ свідчать про те, що за період з 2001 по 2010 роки внаслідок дії екстремальних температур в 20-и випадках застосований захисний одяг виявився неефективним, що негативно вплинуло на тактичні можливості пожежників та результати гасіння пожеж [1].

Оскільки існує фактор дії небезпечних температурних режимів пожежі на захисний одяг та визначено особливості його недосконалої при експлуатації, нами проаналізовано методи та технічні засоби для оцінювання теплозахисних показників якості захисного одягу пожежників країн Європейського союзу, Росії, США, а також вітчизняні [2].

В цьому напрямку була виконана значна кількість науково-дослідних робіт. В першу чергу необхідно виділити роботи таких науковців як: А.А.Мичка, Н.С.Гончарука, О.С.Засорнова, Т.О.Польки – Україна, В.І.Логіна – Росія, William E. Mell – Великобританія, J. Randall Lawson та Arthur Stoll – США.

Незважаючи на наявну теоретичну базу і досягнуті практичні результати, питання об'єктивного оцінювання теплозахисних показників якості спеціальних матеріалів теплозахисного одягу пожежника в умовах, які наближені до експлуатаційних, залишається актуальним.

Метою роботи є розкриття особливостей визначення часу захисної дії костюма залежно від температурних режимів підкостюмного простору.

Нами розглянуто числову математичну модель взаємодії процесів теплопередачі від джерела випромінювання на пакет спеціальних матеріалів теплозахисного одягу пожежника при дії НТФ (підвищеної температури, теплового потоку).

Для проведення розрахунку у визначених умовах були прийняті такі припущення для схеми теплопровідності: процес випромінювання має нестационарний характер та здійснюється між джерелом випромінювання і пакетом спеціальних матеріалів теплозахисного одягу пожежника (ТЗОП), які відокремлені між собою діаметричними прошарками повітря; багат шаровий пакет одягу як система теплопровідності – ізотропна і одновимірна площина; структурні матеріали пакета розглядались як нескінченні пластини; дія джерела випромінювання та температури відома та постійна; пакет спеціальних матеріалів вважався умовно сухим; температура дії приймається низькою для плавлення чи руйнування спеціальних матеріалів пакета (наприклад, термічної деструкції).

З урахуванням прийнятої схеми (рисунок 1) передбачається, що потік теплового випромінювання діє від зовнішнього джерела (q_e).

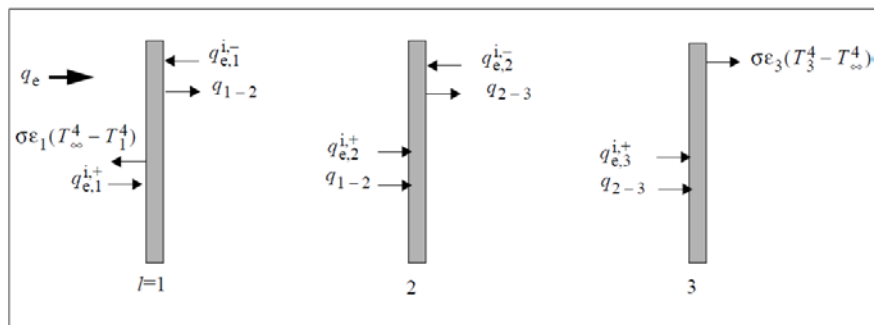


Рисунок 1 – Схема теплопередачі радіаційних потоків на межах поділу середовищ в тришаровому пакеті з повітряними прошарками та температурою T_{∞}

$l=1,2,3$ – матеріал верху, вологотривкий та теплоізоляційний

Рівняння теплопровідності подамо у вигляді диференційного одновимірного рівняння з початковими та граничними умовами в декартовій системі координат:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial q_{CD}}{\partial x} - \frac{\partial q_R}{\partial x} + g, \quad (1)$$

де: ρ – масова густина, кг/м^3 ; c_p – питома теплоємність, $\text{Дж/К}\cdot\text{кг}$; T – температура, К ; t – час, с ; x – відстань, м ; g – об’ємна густина теплового потоку, Вт/м^3 ; q_R – густина теплового

потіку випромінювання, Вт/м².

Тепловий потік, що відображає перехід тепла у інший вузол (повітря) визначається з виразу:

$$q_{1-2} = \frac{\sigma(\varepsilon_1 T_1^4 + r_1 \varepsilon_2 T_2^4)}{1 - r_1 r_2} - \frac{\sigma(\varepsilon_2 T_2^4 + r_2 \varepsilon_1 T_1^4)}{1 - r_1 r_2}, \quad (2)$$

де: q – тепловий потік, Вт/м²; σ – стала Стефана-Больцмана; ε_i – випромінювальна здатність i -того матеріалу; T_i – температура i -того матеріалу; r – коефіцієнт відбиття.

Було також отримано вираз для розрахунку густини теплового потоку від джерела випромінювання в підкостюмному просторі:

$$-q(x_\Gamma) = \frac{k_s}{\delta_e^+} (T_s - T_s) = h_c (T_s - T_g) = \frac{k_G}{\delta_e^-} (T_g - T_G), \quad (3)$$

де: $-q(x_\Gamma)$ – тепловий потік в повітряному прошарку; k – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К; h_c – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·К; T_s, T_g – температура в точках (рисунок 2), К.

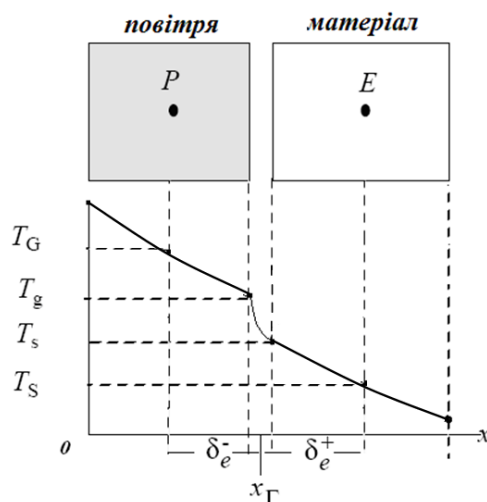


Рисунок 2 – Схема температурних режимів на зовнішній поверхні одягу в системі повітряний прошарок / матеріал

Постановка задачі у випадку обраних двох матеріалів з різними властивостями, описується як система диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} T_x(x,t) &= T(x,t) - T(x,0), \\ \frac{\partial T_1}{\partial t} &= a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq x_\Gamma; \quad \frac{\partial T_2}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, \quad x_\Gamma \leq x; \\ -k_1 \frac{\partial T_1(0,t)}{\partial x} &= q, \quad \text{де:} \quad 0 \leq t, \end{aligned} \quad (4)$$

де: $a = k/(\rho \cdot c)$ – коефіцієнт температуропровідності, м²/с; t – час, с.

Використовуючи запропонований підхід, отримано математичну модель процесу теплопередачі. Рівняння (5) разом з умовами безперервності як T і його тепловий потік на межі двох різних матеріалів ($x = x_\Gamma$ рисунок 2) визначає зміну температури з тепловим потоком q на межі $x = 0$. Розв'язок поставленої задачі здійснювався за допомогою перетворення Лапласа. q – потік випромінювання теплопровідності і конвекції на межі

матеріалу та повітряного прошарку. Тоді розв'язком системи рівнянь (4) при $x=x_{\Gamma}$:

$$T_{(x_{\Gamma},t)} = \frac{q}{k_1} \sum_{n=0}^{\infty} \left(-\frac{1}{\gamma} \right)^n \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right) \left[2\sqrt{\frac{a_1 t}{\pi}} e^{-\left(\frac{x_{\Gamma}(2n+1)}{2\sqrt{a_1 t}} \right)^2} - x_{\Gamma}(2n+1) \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x_{\Gamma}(2n+1)}{2\sqrt{a_1 t}} \right) \right], \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{k_2 c_{p,2} \rho_2 + \sqrt{k_1 c_{p,1} k_2 c_{p,2} \rho_2}}{k_2 c_{p,2} \rho_2 - \sqrt{k_1 c_{p,1} k_2 c_{p,2} \rho_2}}, \quad \alpha = (k_2 \sqrt{a_1} - k_1 \sqrt{a_2})^{-1},$$

$$z = x + 2x_{\Gamma}(n+1), \quad b = x - 2x_{\Gamma}(n+1),$$

$$c = x - x_{\Gamma} \left\{ 1 - \sqrt{a_2/a_1} (2n+1) \right\}$$

Чисельні значення для перевірки відповідності моделювання температурних режимів пакета ТЗОП є такими: товщина $x_{\Gamma} = 0,5$ мм матеріал Nomex і 5 мм – матеріал неопрен; густина теплового потоку, яка діє на матеріал верху $q_e = 2,5$ кВт/м². Визначення температурних режимів проводилось за час $t = 300$ с. Результати наведені на рисунку 3.

Результати порівняння модельованих температур з експериментальними на виворотній поверхні зразка: $\Delta T = \pm 5^{\circ}\text{C}$, а на матеріалі верху $\Delta T = \pm 24^{\circ}\text{C}$.

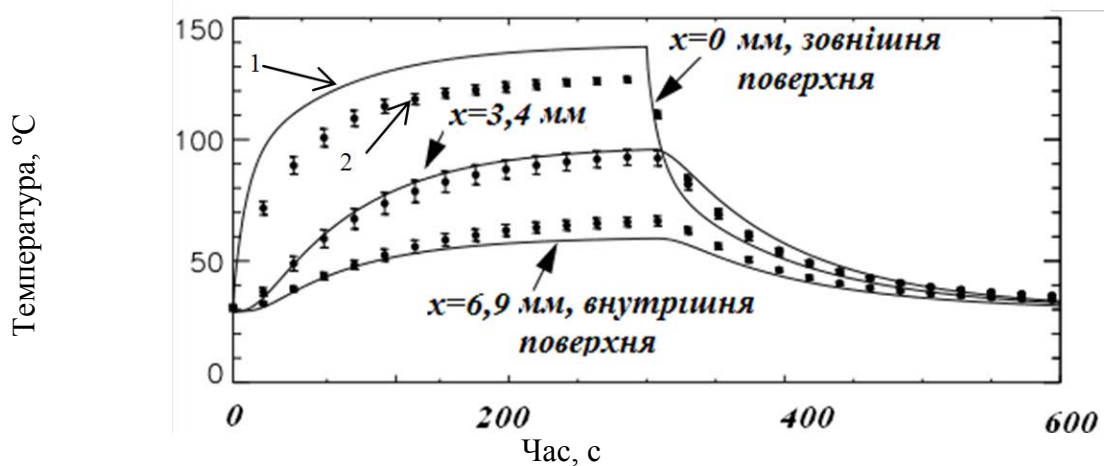


Рисунок 3 – Графік часу модельованої і експериментальної температури

- 1 – експериментальні результати визначення температури;
- 2 – модельовані результати визначення температури

Для перевірки достовірності отриманих результатів нами проведено експериментальні дослідження з визначення впливу процесів тепломасопереносу пароповітряної суміші на температурні режими підкостюмного простору за допомогою розробленого методу та приладу [3,4]. Експеримент здійснювався на сухому пакеті спеціальних матеріалів ТЗОП, а також з імітацією поту на матеріалі гігієнічної підкладки. Нами встановлено, що необхідна кількість води для проведення експерименту становить 0,25, 0,5 та 1 г на 1 см² матеріалу, що відповідає кількості при легкому, середньому та важкому фізичному навантаженні та температурі підкостюмного простору в межах 24–50°C.

Експериментально встановлено, що із збільшенням в матеріалі води, яка імітує піт, до значення 1 г води на 1 см² матеріалу, його здатність блокувати тепловий потік зменшується, що призводить до зменшення часу захисної дії на 28%.

Із графіка залежності температури підкостюмного простору від кількості води в гігієнічній підкладці (рисунок 4) встановлено, що із збільшенням вологості температуропровідність пакета зменшується і, як наслідок, зменшується ймовірність

отримання пожежником термічних опіків.

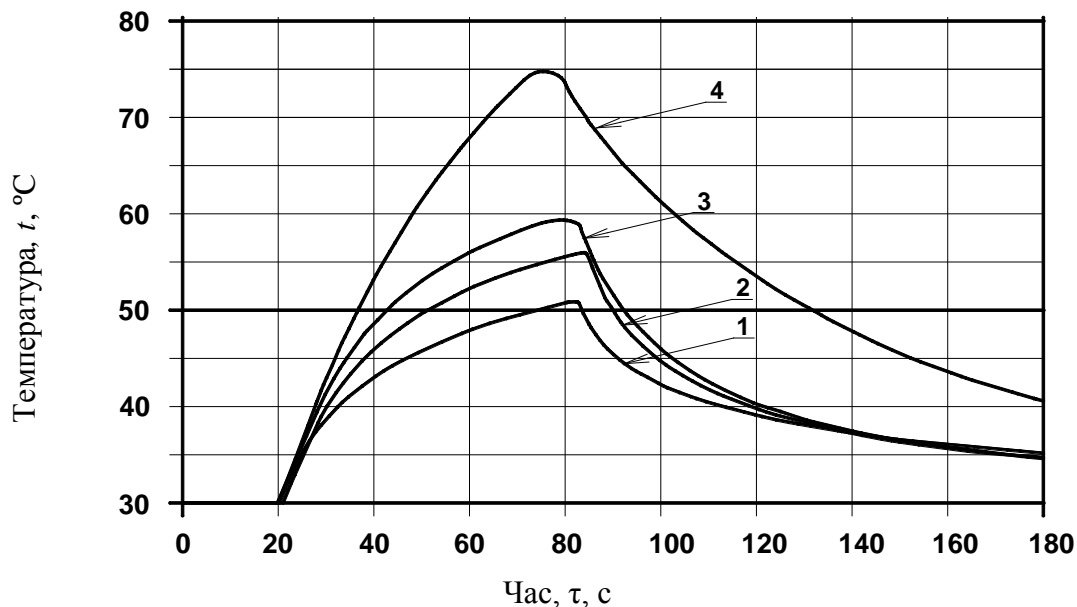


Рисунок 4 – Графік залежності температурних режимів пакета ТЗОП від кількості води в матеріалі

- 1 – 1,0 г води на 1 см²; 2 – 0,5 г води на 1 см²; 3 – 0,25 г води на 1 см²;
4 – матеріал сухий

За результатами експериментальних досліджень визначено, що безпечний час експлуатації пакета ТЗОП становить 20,8 хв. (рисунок 5), при дії густини теплового потоку 0,5 кВт/м² в підкостюмному просторі з урахуванням випромінювання тепла від тіла.

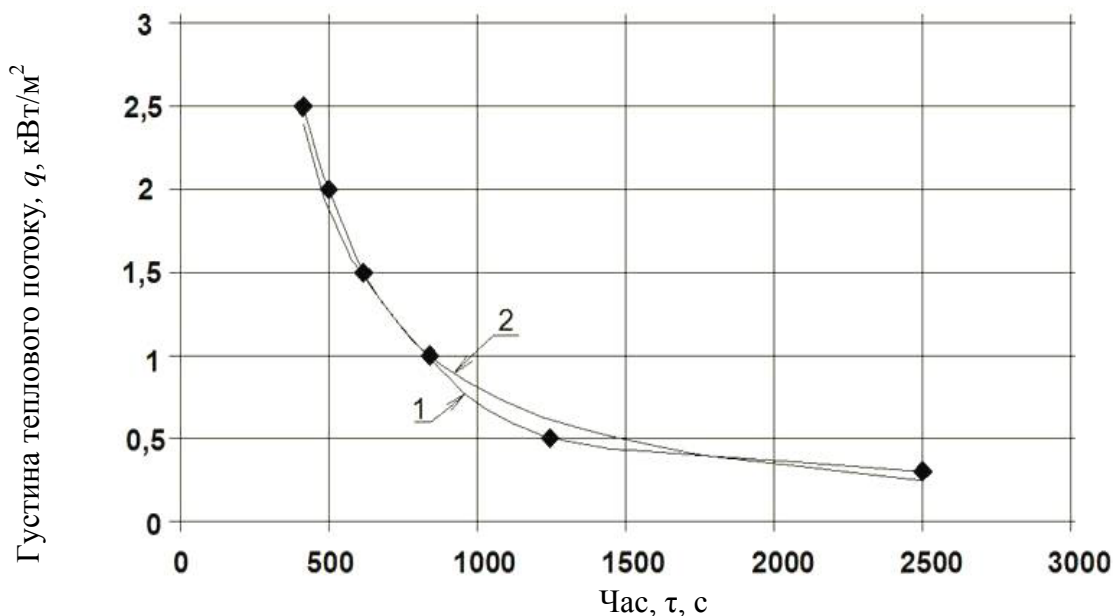


Рисунок 5 – Графік залежності безпечного часу експлуатації ТЗОП від дії теплового потоку

- 1 – експериментальні дані; 2 – розрахункові дані

Висновки. Експериментально встановлено, що при дії теплового потоку густиною 0,5...2,5 кВт/м² на матеріал верху, час захисної дії костюма становить 20,8...6,8 хв.

відповідно. Експериментально встановлено залежність температурних режимів підкостюмного простору від відповідної концентрації пароповітряної суміші, яка утворюється під дією теплових потоків в пакеті спеціальних матеріалів теплозахисного одягу пожежника. Встановлено, що збільшення кількості вологи в пакеті спеціального матеріалу до 1 г/см^2 призводить до зменшення часу захисної дії костюма на 28% і становить 20,8 хв.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Узагальнений аналіз приладів з визначення термофізичних показників та дослідження довговічності спеціальних матеріалів для виготовлення захисного одягу пожежників / Мичко А. А., Болібрux Б. В., Штайн Б. В., Андрусяк З. В., Ясінський Д. А. // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Львів: ЛДУ БЖД, 2006. – № 9. – С. 92-97.
2. Brushlinsky N.N., Hall J.R., Sokolov S.V., Wagner P. World Fire statistics. International Association of Fire and Rescue Services. Report №16. Moscow. 2011. – 52 s.
3. Пат. 90944 України. МПК(2009) G01N 3/18. Прилад для оцінки термозахисних властивостей матеріалів / Штайн Б. В., Болібрux Б. В. заявник та патентовласник Штайн Б. В., Болібрux Б. В. – № а 2008 11628; заявл. 29.09.08; опубл. 10.06.10, Бюл. № 11.
4. Пат. 53322 України. МПК(2009) G01N 33/36. Спосіб оцінки теплозахисних характеристик спеціальних матеріалів теплозахисного одягу пожежника / Штайн Б. В., Болібрux Б. В. заявник та патентовласник Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. – № и 2010 00416; заявл. 18.01.10; опубл. 11.10.10, Бюл. № 19.

