

Б.В. Болібрux, канд. техн. наук, доцент, Б.В. Штайн, канд. техн. наук, Р.Я. Лозинський, канд. техн. наук, доцент, Лин А.С., канд. техн. наук, А.О. Васютяк (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ПІДКОСТЮМНОГО ПРОСТОРУ ТЕПЛОЗАХИСНОГО ОДЯГУ ПОЖЕЖНИКА ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ В ЗАКРИТИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Викладено результати експериментальних досліджень з визначення показників температурних режимів підкостюмного простору при дії підвищеної температури. На основі проведених стандартних експериментальних досліджень в мобільному тренажері «Егерія-2000» із застосуванням манекена у теплозахисному одязі, обґрунтовано та визначено найбільш ефективне розміщення приладу контролю температурних режимів підкостюмного простору.

Ключові слова: підкостюмний простір, теплозахисний одяг, підвищена температура.

Постановка проблеми. Майже щоденно виникають ситуації на пожежах у яких пожежники можуть отримати травми, а іноді і загинути. Основним фактором, який призводить до травматизму та летальних випадків під час пожежогасіння, є дія продуктів згорання, інтенсивного теплового випромінювання та підвищеної температури. В результаті аналізу літературних джерел виявлено тенденцію до збільшення випадків травмування серед особового складу пожежно-рятувальних підрозділів під час виконання оперативно-рятувальних робіт. Проведеним аналізом встановлено що теплозахисний одяг пожежника (ТЗОП), який використовується підрозділами ДСНС України, а саме 60% є застарілим і не має відповідних сертифікатів відповідності, інші 40% мають ряд недоліків як конструктивних, так і захисних. Ці дані свідчать, що одяг, який використовується підрозділами ДСНС України, не здатний повною мірою захищати користувачів від небезпечних факторів пожежі, а це, своєю чергою, знижує тактичні можливості підрозділів, призводить до погіршення їхнього здоров'я. Тому питання захисту пожежників під час пожежогасіння та пожежно-рятувальних робіт від дії теплового випромінювання та підвищених температур завжди залишатиметься актуальним.

Метою роботи є удосконалення системи контролю захищеності особового складу пожежно-рятувальних підрозділів під час пожежогасіння та пожежно-рятувальних робіт шляхом визначення безпечного часу експлуатації ТЗОП в умовах дії НТФП залежно від температурних режимів підкостюмного простору за допомогою сучасного симуляційного тренажера з комп'ютерним керуванням.

Виклад основного матеріалу. Для проведення досліджень було використано теплозахисний одяг USP 2-2, для розробки практичних рекомендацій, щодо роботи в умовах дії небезпечних температурних факторів пожежі (НТФП). Теплозахисний одяг обраного підрозділу є продукцією польської фірми GO WEST, модель одягу USP 2-2 [1].

Ця модель одягу є сертифікованою на теренах Республіки Польща [2], відповідає вимогам [3,4]. Структура теплозахисного одягу пожежника складається з такого пакета матеріалів [3]:

- матеріал верху бавовна D-10/2/150NT з поверхневою масою 278 ± 14 г/м²;
- вологотривкий матеріал поліестер-поліуретанова Amitech Breath TO54 з поверхневою масою 160 г/м²;
- термоізоляційний матеріал PD 2/150N (волокна поліестеру 157-0120-300-00 з підшивкою бавовняно-поліестеровою арт. PD 150N) з поверхневою масою 530 ± 22 г/м².

Для захисту голови використовувалась каска пожежна виробництва фірми Kaliskie Zakłady Przemysłu Terenowego w Kaliszu sp. z o.o., типу ZS-09, котра відповідає вимогам [5], а також підкашник звичайний.

Математична обробка результатів експерименту проводилася згідно з [6,7] і ГОСТ 11.002-73, ГОСТ 11.004-74 і ГОСТ 8.207-76, допустимі інтервали шуканої величини визначились з наперед заданою вірогідністю (надійністю) – p .

Випробувальні зразки при дії на них різних факторів (температури, вологи і інших) визначали при їх кількості $5 \leq n \leq 10$ від величини x , яку визначаємо. Для оцінки основних статичних характеристик використано розподіл Стьюдента (В.С. Госсета).

Для проведення експерименту обрано мобільний тренажерний комплекс «Егерія» (рис. 1).



Рис. 1. Мобільний тренажер «Егерія» Mobile Fire Trainer ML2000

Мобільний тренажерний комплекс Mobile Fire Trainer ML2000 дає можливість отримати реальні умови пожеж в закритому приміщенні [8]. Для моделювання умов реальної пожежі використовується 95% газ пропан (C_3H_8). Усі НТФП такі, як розмір пожежі, поведінка полум'я, температура, інтенсивність освітлення, інтенсивність задимлення, відповідають реальним умовам, що виникають в процесі пожежі. Це дає змогу реалізувати проведення експерименту із стабільними показниками НТФП, а також досліджень впливу небезпечних температурних факторів пожежі на сучасні зразки теплозахисного одягу та спорядження.

Задимлення утворюється шляхом продукування диму, що дає можливість доведення видимості до нульового рівня. Система безпеки тренажера постійно проводить вимірювання усіх параметрів роботи тренажера, а також умов котрі моделюються.

При проведенні експерименту імітували горіння в декові та вивчали залежність між впливом НТФП та температурними режимами підкостюмного простору манекена пожежника в теплозахисному одязі (ТЗОП). Дані, що характеризують відстані розміщення манекена та джерела горіння, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Геометричні характеристики об'єктів експерименту

Показники	Лінійні розміри, мм
Геометричні параметри	1700x800x600
Відстань від центра дека до центра манекена	2000
Висота приміщення	2000
Висота манекена	1800

Для вимірювання температур в підкостюмному просторі використовувались термопари, котрі були розміщені таким чином: 1 – на грудях (зовні); 2 – під каскою; 3 – на грудях (в підкостюмному просторі між манекеном та ТЗОП); 4 – на спині (в підкостюмному просторі між манекеном та ТЗОП).

Під час визначення температурних режимів підкостюмного простору ТЗОП не враховувалась температура в просторі під каскою. Це пов'язано з тим, що вплив температури під каскою на кору головного мозку є дуже суттєвим і ці вимоги регламентуються іншими керівними документами. Зміна температури кори головного мозку призводить до незворотних процесів і має вивчатись окремо. Вимірювання температур здійснювалось за таких умов в камері тренажера:

- температура джерела $T_{дж} = 586 - 604^{\circ}\text{C}$;
- температура під стелею $T_{ст} = 180 - 425^{\circ}\text{C}$;
- температура на висоті 1 м $H_{1м} = 90^{\circ}\text{C}$;
- густина теплового потоку $q = 3,75 \text{ кВт/м}^2$.

Значення температури в приміщенні, за яких проводились випробування, обрані відповідно до [9], однак з метою перевірки ефективності захисту було проведено додаткове випробування при вищих показниках температури.

На зовнішній та внутрішніх сторонах теплозахисного одягу встановлено термопари. Термопари вимірюють температуру в часі з періодичністю 1 с, їх значення відображаються на пульті керування тренажером, та за допомогою спеціального програмного забезпечення записуються на жорсткий диск ПК. При проведенні досліду в камері створюються умови максимально наближені до реальних пожеж в закритому приміщенні.

В результаті проведеного експерименту було визначено залежність часу дії та температури. Отримані експериментальні результати зміни температури зовні та в підкостюмному просторі дають можливість визначити безпечний час експлуатації ТЗОП USP 2-2 в визначених умовах та визначити місця де температурні показники найвищі. За результатами експерименту побудовано графіки рис 2, 3, 4.

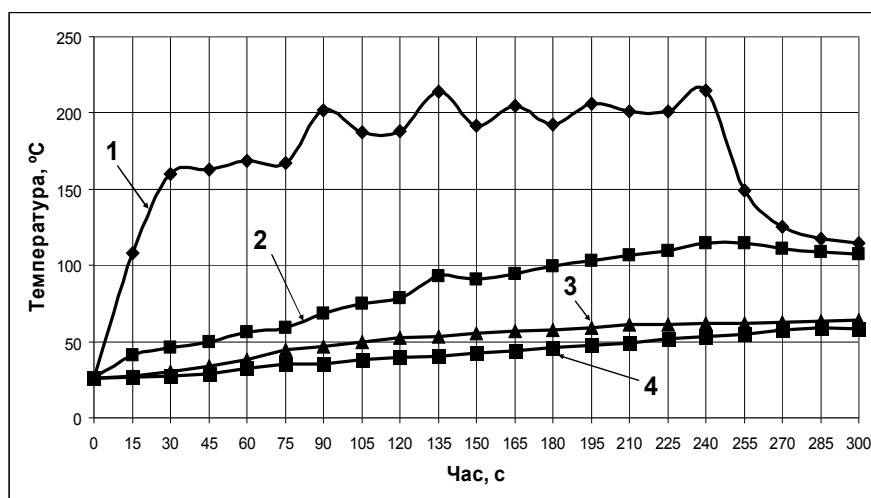


Рис. 2. Залежність зміни температури в часі під час проведення досліду при середньоб'ємній температурі в камері 425°C : 1 – графік зміни температури на грудній клітці (зовні); 2 – графік зміни температури під каскою; 3 – графік зміни температури на грудній клітці (під ТЗОП); 4 – графік зміни температури на спині (під ТЗОП)

На рис. 2 зображено зміну температури в підкостюмному просторі, де граничний показник значення 50°C досягається на 105 с. Середньоб'ємна температура в камері становила максимальний показник і обрана для проведення експерименту в нестандартних умовах.

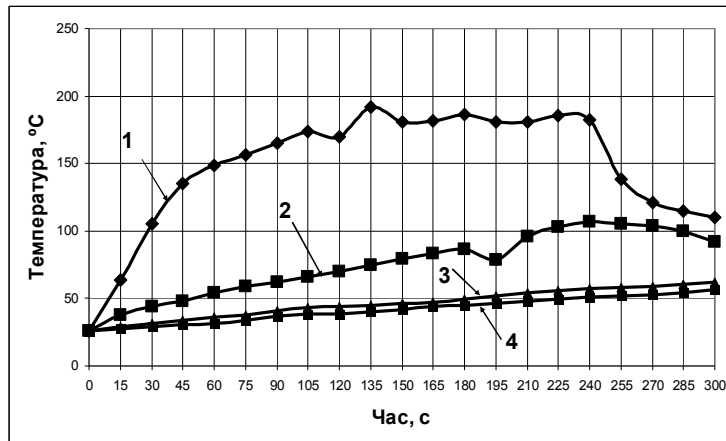
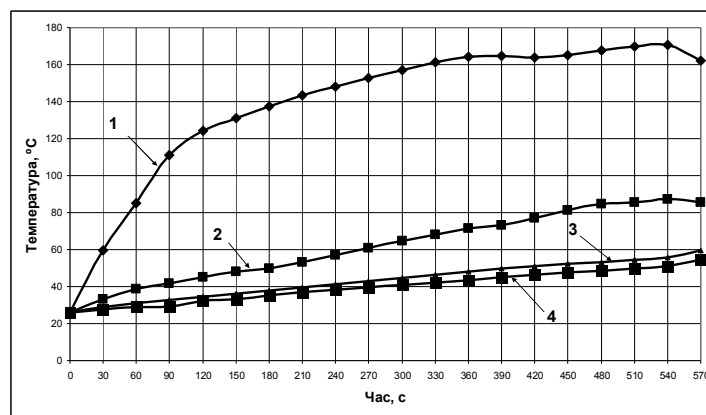


Рис. 3. Залежність зміни температури в часі під час проведення дослідів при середньо-об'ємній температурі в камері 300°C: 1 – графік зміни температури на грудній клітці (зовні); 2 – графік зміни температури під каскою; 3 – графік зміни температури на грудній клітці (під ТЗОП); 4 – графік зміни температури на спині (під ТЗОП)

На рис. 3 зображено зміну температури в підкостюмному просторі, де граничний показник значення 50°C, досягається на 185 с. Обраний температурний показник 300°C відповідає значенню випробовування пакета спеціальних матеріалів ТЗОП. Згідно з [4], пакет матеріалів при дії підвищеної температури 300°C має відповідати таким умовам: зразок матеріалу захисного одягу пожежника вважають таким, що витримав випробування, якщо відсутні спалахування, руйнування зовнішньої поверхні, порушення структури матеріалу та зміна його лінійних розмірів не перевищує 5 % в будь-якому напрямку у продовж 300 с.

Результати стендових експериментів в комплекті ТЗОП показали, що вже на 300 с температура в підкостюмному просторі сягатиме 63°C де при використанні в експлуатаційних умовах пожежнику слід вживати заходів щодо зменшення теплового навантаження на його організм.



с)

Рис. 4. Залежність зміни температури в часі під час проведення дослідів при середньо-об'ємній температурі в камері 180°C: 1 – графік зміни температури на грудях (зовні); 2 – графік зміни температури під каскою; 3 – графік зміни температури на грудях (під ТЗОП); 4 – графік зміни температури на спині (під ТЗОП)

На рис. 4 зображено зміну температури в підкостюмному просторі, де граничний показник значення 50 °C, досягається на 345 с.

Для визначення похибки результатів проведеного експерименту, було побудовано три графічних залежності безпечного часу експлуатації ТЗОП USP 2-2 від часу τ , математично оброблено результати з використанням трендових моделей та отримано емпіричні залежності (рис. 5, 6, 7).

За отриманими емпіричними залежностями визначаємо розрахункову температуру $T_{роз}$ і порівнюємо з результатами експерименту, визначивши при цьому відносну похибку:

$$\Delta = \frac{T_{д} - T_{роз}}{T_{д}} 100\% \leq 10\%, \quad (1)$$

де $T_{роз}$ – розрахункове значення за отриманою емпіричною залежністю;
 $T_{д}$ – дійсне значення за результатами експерименту.

При середньооб'ємній температурі в камері 425 °С

$$T = 11,171\tau^{0,3135} \quad R^2 = 0,9765$$

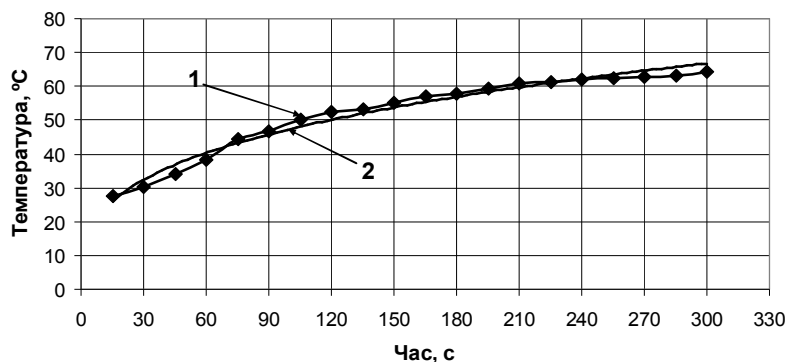


Рис. 5. Залежність зміни температури підкостюмного простору в області грудей (під ТЗОП) від температури навколишнього середовища: 1 – експериментальна; 2 – степенева

Для першого експерименту формула визначення розрахункового значення має вигляд:

$$T_i = 11,171 \cdot \tau_i^{0,3135} \quad (2)$$

Використовуючи емпіричну залежність визначаємо відносну похибку для трьох моментів часу при середньооб'ємній температурі в камері 425 °С на 30, 165, 300 с:

$$T_{11} = 11,171 \cdot 30^{0,3135} = 32,4, \quad (3)$$

$$T_{12} = 11,171 \cdot 165^{0,3135} = 55,4, \quad (4)$$

$$T_{13} = 11,171 \cdot 300^{0,3135} = 66,8. \quad (5)$$

Відносна похибка:

$$\Delta_{11} = \frac{30,3 - 32,4}{30,3} \cdot 100\% = 6,6\%, \quad (6)$$

$$\Delta_{12} = \frac{57,0 - 55,4}{57,0} \cdot 100\% = 2,9\%, \quad (7)$$

$$\Delta_{13} = \frac{64,3 - 66,8}{26} \cdot 100\% = 3,7\%. \quad (8)$$

Враховуючи отримані результати, отримаємо середнє значення похибки:

$$\Delta_{с1} = \frac{6,6 + 2,9 + 3,7}{3} = 4,4\%, \quad (9)$$

При середньооб'ємній температурі в камері 300 °С

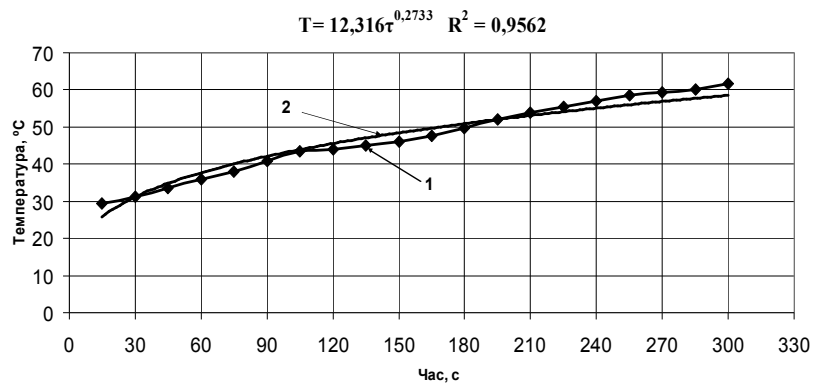


Рис. 6. Залежність зміни температури підкостюмного простору в області грудей (під ТЗОП) від температури навколишнього середовища:
1 – експериментальна; 2 – степенева

При середньооб'ємній температурі в камері 300 °С на 30, 165, 300 с:

$$T_{21} = 12,315 \cdot 30^{0,2733} = 31,2, \quad (10)$$

$$T_{22} = 12,315 \cdot 165^{0,2733} = 49,7, \quad (11)$$

$$T_{23} = 12,315 \cdot 300^{0,2733} = 58,5. \quad (12)$$

Відносна похибка:

$$\Delta_{21} = \frac{31,3 - 31,2}{31,3} \cdot 100\% = 0,3\%, \quad (13)$$

$$\Delta_{22} = \frac{47,5 - 49,7}{47,5} \cdot 100\% = 4,5\%, \quad (14)$$

$$\Delta_{23} = \frac{61,8 - 58,5}{61,8} \cdot 100\% = 5,6\%, \quad (15)$$

Враховуючи отримані результати, отримаємо середнє значення похибки:

$$\Delta_{c2} = \frac{0,3 + 4,5 + 5,6}{3} = 3,5\%, \quad (16)$$

При середньооб'ємній температурі в камері 180 °С

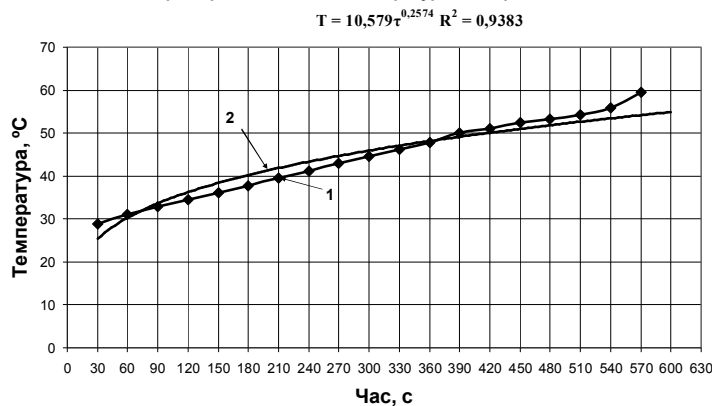


Рис. 7. Залежність зміни температури підкостюмного простору в області грудей (під ТЗОП) від температури навколишнього середовища:
1 – експериментальна; 2 – степенева;

При середньооб'ємній температурі в камері 180 °С на 30, 300, 570 с, матимемо такі значення температури:

$$T_{31} = 10,579 \cdot 30^{0,2574} = 25,4 \quad (17)$$

$$T_{32} = 10,579 \cdot 300^{0,2574} = 45,9 \quad (18)$$

$$T_{33} = 10,579 \cdot 570^{0,2574} = 54,2 \quad (19)$$

Відносна похибка:

$$\Delta_{31} = \frac{28,8 - 25,4}{28,8} \cdot 100\% = 9,8\% \quad (20)$$

$$\Delta_{32} = \frac{44,5 - 45,9}{44,5} \cdot 100\% = 3,2\% \quad (21)$$

$$\Delta_{33} = \frac{59,5 - 54,2}{59,5} \cdot 100\% = 8,9\% \quad (22)$$

Враховуючи отримані результати, отримаємо середнє значення похибки:

$$\Delta_{c3} = \frac{9,8 + 3,2 + 8,9}{3} = 7,3\% \quad (23)$$

Враховуючи той факт, що середнє значення похибки не перевищує 10% можемо стверджувати, що рівень проведення експерименту є високий, а результати можуть бути використані для таких досліджень.

Висновки:

1. Результати стендових експериментальних досліджень в Mobile Fire Trainer ML2000 із застосуванням манекена захищеного теплозахисним одягом USP 2-2 показали, що найбільш ефективно розміщувати прилад контролю захищеності пожежників в підкостюмному просторі в районі грудей, оскільки температура в цьому місці є в середньому на 9% вищою від температури в інших місцях (температура під каскою не враховувалась).

2. В результаті проведених експериментальних досліджень (рис. 2, 3, 4) з визначення залежностей температурних режимів підкостюмного простору при дії температури 180°C встановлено, що безпечний час експлуатації теплозахисного одягу пожежника USP 2-2 становить 345 с, при дії 300°C – 185 с, а при дії 425 °C – 105 с.

Література:

1. **Ł. Januszkiewicz** "Zmodyfikowana antena tekstylna pracująca w paśmie 2.5 GHz", Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji KKRRiT 2009, Warszawa, 17 – 19 czerwca 2009.

2. **Certyfikat** oceny typu WE nr WE/S/1173/2008.

3. **EN 469:2005**. Protective clothing for firefighters. Performance requirements for protective clothing for firefighting. – 52 pp. – ISBN 0-580-47908-0.

4. **ДСТУ 4366:2004** (ISO 11613:1999. NEQ; EN 469:1995. NEQ). Одяг пожежника захисний. Загальні технічні вимоги та методи випробовування; Чинний 01.07.05. – К.: Вид-во держспоживстандарт, 2004. – 34 с.

5. **Перепечко І.І.** Акустичні методи досліду полімерів. – М.: Хімія, 1973, 253 с.

6. **EN 443:2008**. Helmets for fire fighting in buildings and other structures. – 38 pp.

7. **Кассандрова О.Н. , Лебедєв В.В.** Обробка результатів спостережень. – М.: Наука, 1970, 103 с.

8. <http://www.kiddefit.com>.

9. http://www.egeria-group.com/lang/pl/page/trena/view/ml_2000/.

Б.В. Болибрух, Б.В. Штайн, Р.Я. Лозинский, А.С. Лин, А.О. Васютяк

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПОДКОСТЮМНОГО
ПРОСТРАНСТВА ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ ВО ВРЕМЯ
ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

В статье изложены результаты экспериментальных исследований по определению зависимостей температурных режимов подкостюмного пространства при воздействии повышенной температуры. На основе проведенных стендовых экспериментальных исследований в мобильном тренажере «Эгерия-2000» с применением манекена у теплозащитной одежде, обосновано и определено наиболее эффективное размещение прибора контроля температурных режимов подкостюмного пространства.

Ключевые слова: подкостюмное пространство, теплозащитная одежда, повышенная температура.

B.V. Bolibrukh, B.V. Stayn, R.Ya. Lozynskyy, A.S. Lyn, A.O. Vasyutyak

**DETERMINATION OF UNDERSUIT SPACE TEMPERATURE REGIMES OF HEAT
RESISTANT CLOTHING OF A FIREFIGHTER WHILE FIGHTING FIRES
IN ENCLOSURES**

The paper presents the results of experimental studies to determine the dependence of temperature regimes of undersuit space under the action of high temperature. On the basis of the bench experimental research in mobile simulator Eheriya-2000 using a mannequin in heat-resistant clothing, the most efficient placement of undersuit space temperature control device was grounded and determined.

Key words: undersuit space, heat-resistant clothing, high temperature.

