

*А.О. Васютяк, Б.В. Штайн, канд. техн. наук, Т.В. Бойко канд. техн. наук
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ ПІДКОСТЮМНОГО ПРОСТОРУ ПОЖЕЖНИКА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ СЕРЕДОВИЩА ТА ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Представлено методику проведення та результати дослідження температурних показників підкостюмного простору та температури тіла пожежника залежно від умов середовища та фізичного навантаження. Розроблено прилад ПВІ-111А, який призначений для вимірювального перетворення по восьми каналах сигналів первинних перетворювачів температури: термоперетворювачів опору, термоелектричних перетворювачів або первинних перетворювачів інших фізичних величин в цифровий код. Графічно зображено динаміку зміни температури на поверхні тіла та підкостюмного простору пожежника, а також визначено максимальні і мінімальні температурні показники.

Ключові слова: підвищена температура, прилад, підкостюмний простір, фізичне навантаження.

А.О. Васютяк, Б.В. Штайн, Т.В. Бойко

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОДКОСТЮМНОГО ПРОСТРАНСТВА ПОЖАРНЫХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ СРЕДЫ И ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Представлена методика проведения и результаты исследования температурных показателей подкостюмного пространства и температуры тела пожарного в зависимости от условий среды и физической нагрузки. Разработан прибор ПВИ-111А, который предназначен для измерительного преобразования по восьми каналам сигналов первичных преобразователей температуры: термопреобразователей сопротивления, термоэлектрических преобразователей или первичных преобразователей других физических величин в цифровой код. Графически представлена динамика изменения температуры на поверхности тела и подкостюмного пространства пожарного, а также определены максимальные и минимальные температурные показатели.

Ключевые слова: повышенная температура, прибор, подкостюмное пространство, физическая нагрузка.

А. Vasiutiak, B. Shtayn, T. Boyko

RESEARCH OF TEMPERATURE READERS AT SPACE UNDER THE FIREFIGHTER'S SUIT ACCORDING TO THE ENVIRONMENT AND PHYSICAL LOAD

The methodology of conducting, and results of the research of temperature readers at space under the firefighter's suit, and firefighter's body temperature according to the environmental circumstances and physical load were presented. The device "PVI-111A", which purposed for measuring conversion by eight canals, signals from first temperature changers: temperature changers of resistance, electric temperature changers, or first changers of other physical sizes in a digital code was invented. Graphically illustrated dynamics of the body and firefighter's space under suit temperature changes, and also defined maximal and minimal temperature indicators.

Keywords: increased temperature, device, space under the suit, physical load.

Вступ. За даними Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту за 9 місяців 2014 року в Україні зареєстровано 53024 пожежі, що на 15,4 % більше ніж за аналогічний період минулого року. Основні причини виникнення пожеж за 9 місяців 2014 року розподілились як показано на рисунку 1.

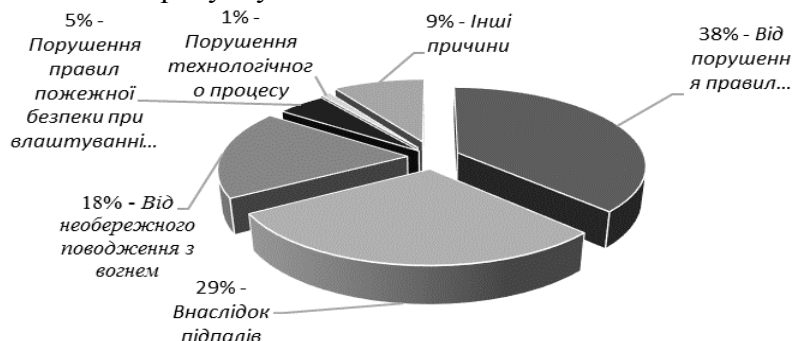


Рис. 1. Розподіл пожеж за причинами їх виникнення за 9 місяців 2014 року

Також спостерігається збільшення кількості пожеж у житловому секторі, про що свідчать дані Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту. Так, у житлових будинках, за період 9 місяців 2014 року виникло 13450 пожеж (на 7,5 % більше, ніж у минулому році), що становить 34,0 % від кількості пожеж у житлі. Основні причини виникнення пожеж у житловому секторі протягом 9 місяців 2014 року розподілились таким чином [1]:

- необережне поводження з вогнем – 26123 пожеж (66,0% від кількості пожеж у житлі);
- порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок – 6810 пожеж (17,2 %);
- порушення правил пожежної безпеки при експлуатації печей та неправильне влаштування та несправність нагрівальних печей та димарів, теплогенеруючих агрегатів та установок – 2802 (7,1 %);
- підпали – 1055 (2,7%);
- пустощі дітей з вогнем – 445 (1,1 %).

Основними первинними факторами, які діють на захисний одяг пожежників під час пожежогасіння є: підвищена температура навколишнього середовища, теплове випромінювання, полум'я, продукти згорання. Вторинними факторами є контакт з нагрітими поверхнями, радіоактивні речовини, електричний струм, токсичні та агресивні хімічні речовини, вибухи [2].

Залежностями температури від часу в замкнутах об'ємах показується значення температур безпосередньо в приміщеннях де виникла пожежа. В роботі [3] наведено результати натурних випробувань процесів зміни температури та густини теплового потоку в суміжних з осередком пожежі приміщеннях. Всього даній роботі було проведено експерименти у трьох приміщеннях. Усі експерименти розпочинались при закритих вікнах та відкритих дверях. Результатом роботи є інформація про значення температури на висоті 2,17 м в коридорі, з якого здійснюється вхід до приміщення де виникла пожежа. Значення цієї температури на 10-ій хвилині становило приблизно 130°C, на 15 хв – 100°C, на 20 хв – 90°C. Значення температури в приміщенні, яке розташоване навпроти вогнища пожежі на 10-ій хвилині становило – 30°C, і в подальшому незначно змінювалось. Під час проведення другого дослідження крім вимірювання температур вимірювалось значення густини теплових потоків. Максимальне значення густини теплового потоку в приміщенні де виникла пожежа досягалося на 12 хв і складало 45 кВт/м², в суміжному приміщенні максимальне значення густини теплового потоку в конструкції перекриття, протилежної стіни і підлоги спостерігалась на 13-15-ій хвилині 28 кВт/м².

Цікавими є останні експериментальні дослідження польських пожежників-рятувальників щодо умов пожежогасіння в замкнутах об'ємах. Із зображень, одержаних за допомогою тепловізора, бачимо, що температура горіння становить більше 1000°C, температура зовнішньої поверхні матеріалу теплозахисного одягу пожежників-рятувальників, котрі стоять по фронті пожежі, становить приблизно 150 °C.

Отож, як бачимо з результатів аналізу умов пожежогасіння температура в приміщенні де виникла пожежа на момент локалізації становить 700-900°C, густина теплового потоку 20 – 45 кВт/м², гранично-допустимі значення небезпечних температурних факторів пожежі що діють на людину, становлять 70°C та 1,5 кВт/м², що безперечно вимагає використання засобів індивідуального захисту.

Постановка проблеми. За період декількох років значно зросла кількість волонтерської та спонсорської допомоги з-за кордону у вигляді пожежно-технічного обладнання та захисного одягу.

Враховуючи вищесказане та з метою запобігання використанню засобів індивідуального захисту, що не відповідають вимогам конструкторської та нормативної документації України, є потреба у розробці стандарту організації «Система входного контролю засобів індивідуального захисту пожежників», який установлював би основні положення з організації, проведення та оформлення результатів оцінки показників якості, а також безпеку засобів індивідуального захисту перед застосуванням в пожежно-рятувальних підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Аналізуючи чинний на сьогодні документ, що регламентує вимоги до спеціального одягу пожежника (ДСТУ 4366:2004 «Одяг пожежника захисний. Загальні технічні вимоги і методи випробування»), можна сказати, що цей документ має недоліки щодо регламентування вимог до захисного одягу пожежника, оскільки враховує вимоги до якості матеріалу з якого зроблений захисний одяг, а вплив температури на тіло людини – ні. Дослідженням методів та способів визначення показників якості пожежних костюмів займалися такі науковці як Мичко А.А., Болібрух Б.В., Гаврилко О.А., Лин А.С. та інші.

Таким чином, метою роботи є дослідження температурних показників підкостюмного простору пожежника-рятувальника залежні, від умов середовища та фізичного навантаження.

Основна частина. Для виконання поставленої мети було проведено дослідження на базі психолого-тренувального центру що знаходиться у навчальній пожежно-рятувальній частині Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Для цього ми використано таке матеріально-технічне обладнання:

- сигналізатор температури;
- термочутливий елемент (ТХК-0188)
- комп'ютер із спеціальним програмним забезпеченням (на рис. 2).

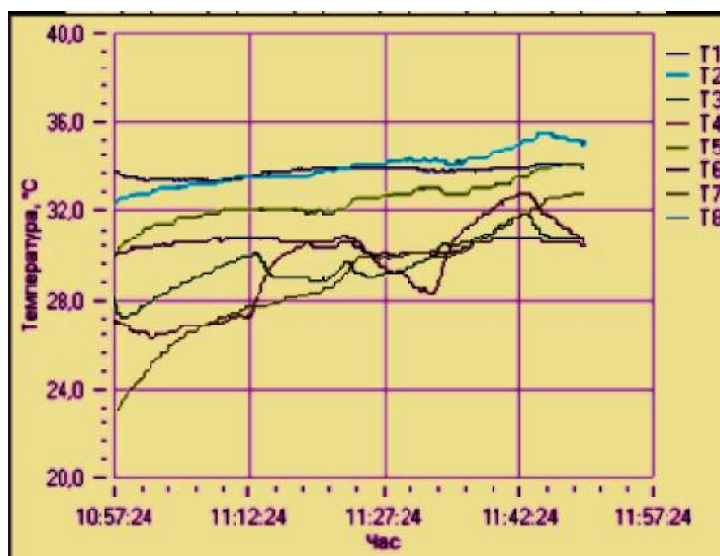


Рис. 2. Робочі вікна програмного забезпечення

Для вимірювання температури підкостюмного простору пожежника використано термоелектричний перетворювач ТХК-0188 (рис. 3).

ТХК-0188 – термоелектричний перетворювач хромель-копелевий призначений для вимірювання температури в атмосфері чистого повітря, газоподібних хімічно не агресивних середовищ з вологістю не більше 80%. Технічні характеристики та габаритні розміри [4, 5]:

- довжина – від 1000 мм до 20000 мм, ширина від 320 мм до 3150 мм;
 - властивості: найбільша чутливість та висока термоелектрична стабільність при температурах до 600 °С.
 - призначений для роботи в окисних і інертних середовищах.
- Основна похибка вимірювання: 2 кл. +2,5 °С, -40 ... +360 °С; +0,7 + 0,005 °С, +360 ... +1000 °С.



Рис. 3. Термоелектричний перетворювач ТХК-0188

Для зчитування температури та запису на безпроводниковий носій, нами разом із працівниками НВО «Термоприлад» (м. Львів) розроблений перетворювач вимірювальний інтелектуальний 8-канальний ПВІ-111А (рис. 4).



Рис. 4. Зображення ПВІ-111А

ПВІ-111А – прилад призначений для вимірювального перетворення по восьми каналах сигналів первинних перетворювачів температури: термоперетворювачів опору, термоелектричних перетворювачів або первинних перетворювачів інших фізичних величин в цифровий код. Перетворювач ПВІ-111 разом з первинними перетворювачами може працювати як самостійний засіб вимірювання, архівування та передачі вимірюваної інформації на ПК, або в складі багатоканального пристрою контролю і регулювання температури та інших фізичних величин. [6]. Основні технічні характеристики наведені в таблиці 1.

Основні технічні характеристики

Номінальна статична характеристика перетворення (НСХ) застосовуваних первинних перетворювачів температури:	1. термоперетворювачів опору	50М, 100М, 50П, 100П (Pt100), Pt500, Pt1000 і ін.
	2. термоелектричних перетворювачів	К, L, В, Т, J і ін.
Границя допустимої основної зведеної похибки перетворення, %	±(0,05...0,25)	
Час опитування всіх восьми каналів, с	1...8	
Інтерфейс	RS232, RS485, USB	
Довжина лінії зв'язку по виходу перетворювача, не більше, м	1. для інтерфейсу RS232	50
	2. для інтерфейсу RS485	1200
Напруга живлення, В	▪ від мережі змінного струму частотою 50 Гц (з додатковим блоком живлення)	220 ⁺²² ₋₃₃
	▪ від джерела постійного струму	7...15
Потужність споживання, не більше, Вт	2	
Температура навколишнього повітря, °С	• для звичайного виконання	від мінус 10 до 50
	• для спеціального виконання	від мінус 40 до 60

Процесу вимірювання та зняття температури тіла та підкостюмного простору людини зображено на рисунку 5.



Рис. 5. Схема та процес зняття температури підкостюмного простору:
а) схема підключення приладів для вимірювання температури; б, в) зображення проведення випробування.

Згідно з [7], для розрахунку часу та тиску виходу для газодимозахисників які працюють в непридатному для дихання середовищі приймають ступінь навантаження середній і важкий.

Тому для створення фізичного навантаження, що дорівнює середньому і важкому навантаженню, використано обладнання, що знаходиться у психолого-тренувальному центрі навчальної пожежно-рятувальної частини Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а саме тренажери «бігова доріжка» та «степпер».

Тренажер «степпер» використовувався для створення важкого навантаження, в чому сприяли малі габарити тренажера, які дали змогу розмістити його в теплокамері, де за допомогою інфрачервоного обігрівача UFO створювалась висока температура середовища.

Методика проведення експерименту. Всього було відібрано 6 волонтерів, різних за тілобудовою та вагою. Їх розділили на дві групи по три волонтери в кожній: 1-у групу волонтерів піддавали впливу середнього навантаження, 2-гу – важкого навантаження. Експеримент проводили за такою схемою:

1. Волонтер групи №1

- 15 хв відпочинок перед випробуванням
- 10 хв робота на біговій доріжці при середньому навантаженні
- 15 хв відпочинок після випробування не знімаючи захисного одягу
- 10 хв робота на біговій доріжці при середньому навантаженні

Вимірювання:

- температури навколишнього середовища (T_1, C°);
- температури шкіри волонтера в районі грудей (T_2, C°);
- температури під костюмом у визначених місцях ($T_3 - T_8, C^\circ$).

Загальний термін проведення випробування до 60 хв.

Аналогічний експеримент був проведений ще з 2-ма волонтерами групи. Загальний термін проведення випробування – до 80 хв.

2. Волонтер групи №2

- 15 хв відпочинок перед випробуванням
- 10 хв робота на тренажері «степпер» при важкому навантаженні
- 15 хв відпочинок після випробування не знімаючи захисного одягу
- 10 хв робота на тренажері «степпер» при важкому навантаженні
- 15 хв відпочинок після випробування не знімаючи захисного одягу
- 10 хв робота на тренажері «степпер» при важкому навантаженні

Вимірювання:

- температури навколишнього середовища (T_1, C°);
- температури шкіри волонтера в районі грудей (T_2, C°);
- температури під костюмом у визначених місцях ($T_3 - T_8, C^\circ$).

Аналогічний експеримент, було проведено ще із двома волонтерами групи. Загальний термін проведення випробування – до 80 хв. Термоопори під костюмом були розміщені відповідно до рекомендацій наукових праць Лина А.С., у місцях, зображених на рисунку 6.

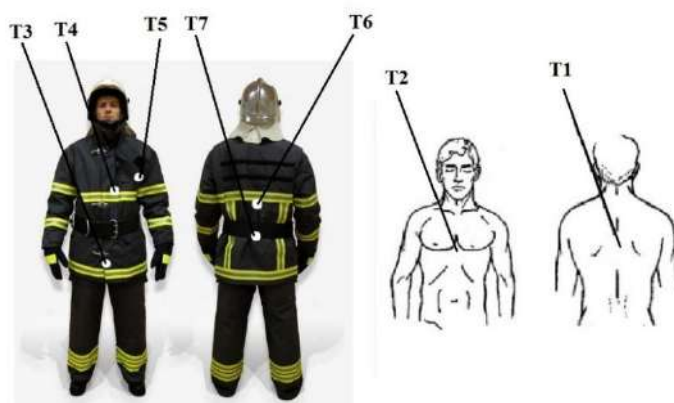


Рис. 6. Схема розміщення датчиків на тілі та в підкостюмному просторі пожежника: T_1 – спина (на тілі); T_2 – груди (на тілі); T_3 – пах (підкостюмний простір пожежника); T_4 – груди (підкостюмний простір пожежника); T_5 – під пахвами (підкостюмний простір пожежника); T_6 – ліва частина спини (область серця) (підкостюмний простір пожежника); T_7 – спина (область печінки) (підкостюмний простір пожежника); T_8 – зовнішнє середовище.

Для визначення швидкості та часу (на тренажері «бігова доріжка»), а також кількості кроків (на тренажері «степпер») використовували навантаження, що розроблені викладачами-методистами психолого-тренувального центру навчальної пожежно-рятувальної частини Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (таблиця 2).

Таблиця 2

Таблиця навантажень на тренажерах «Бігова доріжка» і «Степпер»

Навантаження на біговій доріжці		Навантаження на «степ пері»
Швидкість, км/год	Час, хв	Кількість кроків
Середній режим		Середній режим
7	14	45
Важкий режим		Важкий режим
9	18	60

Результати проведених досліджень температурних режимів підкостюмного простору та температури тіла при середньому та важкому навантаженні, зображені на рисунках 7 і 8:

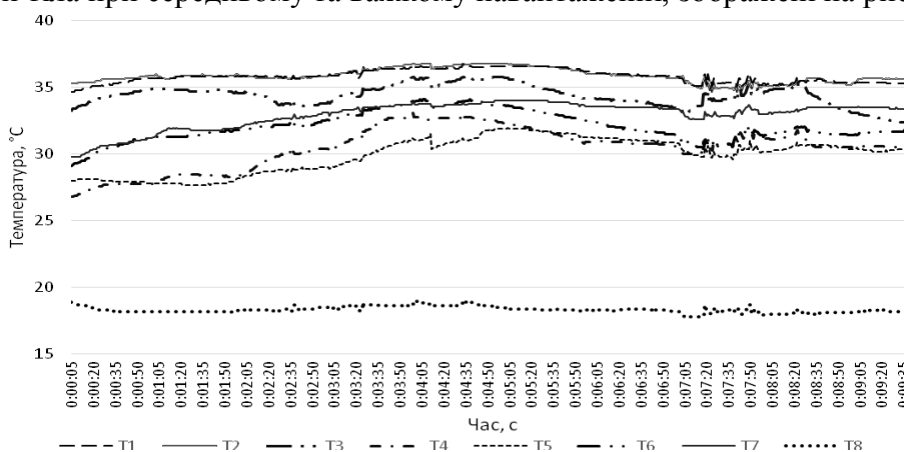


Рис. 7. *Графік зміни температур підкостюмного простору та температури тіла пожежника при середньому навантаженні*

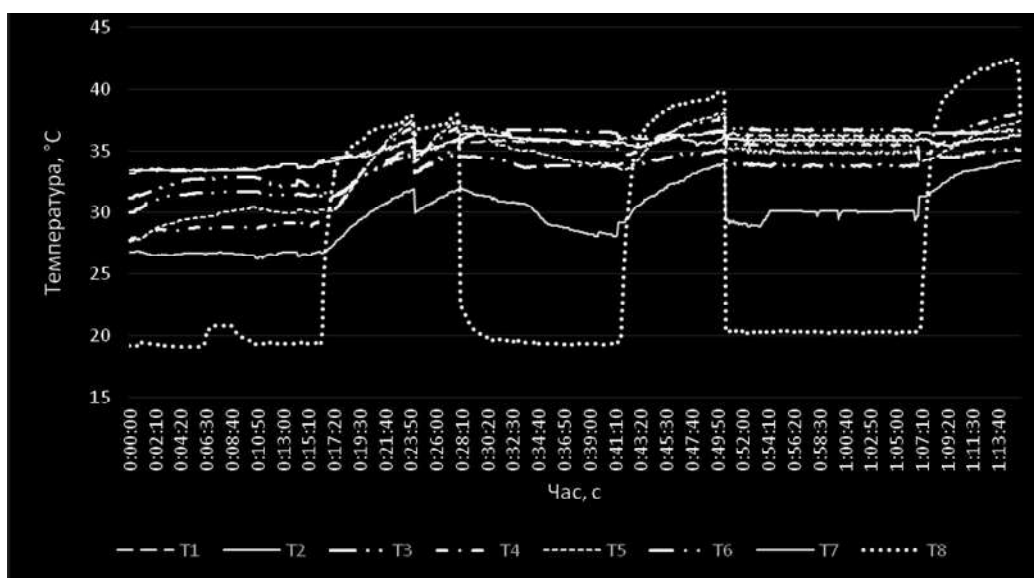


Рис. 8. *Графік зміни температур підкостюмного простору та температури тіла пожежника при важкому навантаженні*

Як бачимо з графіків зміни температури підкостюмного простору та температури тіла пожежника, максимальна та мінімальна температури при середньому і важкому навантаженні є (табл. 3, 4):

Таблиця 3

Максимальна та мінімальна температура підкостюмного простору і тіла пожежника, час настання (середнє навантаження)

Місце вимірювання температури	Максимальна температура, °С	Час настання, с	Початкова температура випробування, °С
T1 – спина (на тілі);	36,7	1195	28,6
T2 – груди (на тілі);	36,8	1195	24,2
T3 – пах (підкостюмний простір пожежника);	35,8	1195	27,5
T4 – груди (підкостюмний простір пожежника);	33,1	1195	22,9
T5 – під пахвами (підкостюмний простір пожежника);	32	1520	23,8
T6 – ліва частина спини (область серця) (підкостюмний простір пожежника);	34,1	1220	28,4
T7 – спина (область печінки) (підкостюмний простір пожежника);	34	1195	23,4
T8 –зовнішнє середовище	18 °С	На початок та протягом досліду	

Таблиця 4

Максимальна та мінімальна температура підкостюмного простору і тіла пожежника, час настання (важке навантаження)

Місце вимірювання температури	Максимальна температура, °С	Час настання, с	Початкова температура випробування, °С
T1 – спина (на тілі);	36,7	4420	33,4
T2 – груди (на тілі);	36,4	1680	33,2
T3 – пах (підкостюмний простір пожежника);	35,2	4465	31
T4 – груди (підкостюмний простір пожежника);	38	4510	27,8
T5 – під пахвами (підкостюмний простір пожежника);	38	2990	27,6
T6 – ліва частина спини (область серця) (підкостюмний простір пожежника);	37	3285	30
T7 – спина (область печінки) (підкостюмний простір пожежника);	34,2	4500	26,3
T8 –зовнішнє середовище	42,5	4465	19,1

Висновки: Враховуючи результати проведеного дослідження [9], встановлено що при середньому навантаженні є температурні показники що перевищують середньостатистичну температуру тіла людини, яка становить 34,3 °С [8]. Це показники температури у місцях: спина (на тілі) – 36,7 °С, груди (на тілі) – 36,8 °С, пах (підкостюмний простір) – 35,8 °С. Ці температурні показники настали за час 1195 с. Для умов важкого навантаження, перевищення середньостатистичної температури тіла людини становило: спина (на тілі) – 36,7 °С (4420 с), груди (на тілі) – 36,4 °С (1680 с), пах (підкостюмний простір) – 35,2 °С (4465 с), груди (підкостюмний простір) – 38 °С (4510 с), під пахвами (підкостюмний простір) – 38 (2990 с), ліва частина спини, що знаходиться в області серця (підкостюмний простір) – 37 °С (3285 с).

Основою роботи є експериментальні дослідження з визначенням закономірностей розподілу температури усередині захисного одягу пожежника (без системи охолодження) при середніх та високих ергономічних навантаженнях з урахуванням теплообміну його організму в неізолюючому одязі, що в подальшому дасть можливість проведення детального дослідження та обґрунтування основних параметрів захисного одягу з системою охолодження. Таким чином, застосування розробленого приладу ПВІ-111А дає можливість приводити дослідження проблем накопичення метаболічного тепла в підкостюмному просторі захисного одягу пожежника з подальшим використанням результатів для розробки захисного одягу пожежника.

Список літератури:

1. Аналіз масиву карток обліку пожеж за 9 місяців 2014 року. [Електронний ресурс] // Український національно-дослідний інститут цивільного захисту. – 2014 рік. – Режим доступу: http://undicz.mns.gov.ua/files/2014/10/16/AD_09_14.pdf.

2. Єлагін Г.І Основи теорії розвитку та припинення горіння (Скорочений курс) / Єлагін Г.І., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М.-Черкаси: ЧПБ.– 2001.- 448 с.

3. Wei Lu Advanced steel structures. Structural fire design. Fatiguedesign / Wei Lu, PenttiMakelainen.–Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structures publications 29. Espoo 2003.

4. Термоелектричний перетворювач ТХК-0188 хромель-копелевий. [Електронний ресурс] // Приватне підприємство «Західприлад». – 2014 рік. – Режим доступу: <http://zapadpribor.com/ua/tkhk-0188/>.

5. Термопара ТХА (ТХК) 0188. [Електронний ресурс] // АРК Енергосервіс. – 2014 рік. – Режим доступу: <http://www.kipspb.ru/catalog/6527/element11753.php>.

6. Перетворювач вимірювальний інтелектуальний ПВІ-111. Паспорт. // ТзОВ «Термомір». – Львів. – 2014 рік. – 5 с.

7. Наказ МНС України № 1342 від 16.12.2011 року «Настанова з організації газодимозахисної служби в підрозділах оперативного-рятувальної служби цивільного захисту МНС України».

8. Вільям Ф. Ганонг Фізіологія людини: Підручник /Переклад з англійської. Наук. ред. перекладу М.Гжегоцький, В.Шевчук, О.Заячківська. – Львів: БаК, 2002. – 784 с.

9. Штайн Б.В. Комплексний захист особового складу від дії НЧП. Науково-виробничий журнал «Пожежна безпека» № 12. – 2013 рік. – м. Львів. С. 26-28

References:

1. **Ukrainian National** Research Institute of Civil Protection (2014). Analysis of array cards of fires accounting for 9 months of 2014. Retrieved from http://undicz.mns.gov.ua/files/2014/10/16/AD_09_14.pdf (in Ukr.).
2. **Yelagin G. (2001)** Osnovy teorii rozvytku ta prypynnyya horinnya [Basic theory of combustion and suspension]. CHIPB, Cherkasy, Ukraine.
3. **Wei Lu, Pentti Makelainen. (2003)** «Wei Lu Advanced steel structures. Structural fire design. Fatiguedesign» Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structures publications, Vol 29.
4. **Private enterprise "Zahidprylad". (2014).** Thermocouple THK-0188 chromel-kopelevy. Retrieved from <http://zapadpribor.com/ua/tkhk-0188/>.
5. **ARC "Energoservice". (2014).** Thermocouple (THK) 0188. Retrieved from <http://www.kipspb.ru/catalog/6527/element11753.php>.
6. **Ltd. "Termomir". (2014).** Transducer measuring intellectual PVI -111. Technical data sheet unit. Retrieved from <http://thermomir.com.ua/index.php/products/pvtfv/vymiruvalni-peretevoruvachi/pvi-111>.
7. **Order of the Ministry** of Emergencies of Ukraine № 1342 from 16.12.2011 "Guidelines for the organization of gazodymosachitny service in operational units and Rescue Service of Civil Protection MES of Ukraine".
8. **William, F.H. (2002).** Human Physiology. (M. Hzhhotsky, V. Shevchuk, O. Zayachkivska, Trans.). Lviv: BaK. (Original work published 2001).
9. **Shtayn B. (2013)** Complete protection of personnel from the effects of hazardous factors of temperature. Naukovo-vyrobnychy zhurnal «Fre safety», vol. 12, pp. 26-28.

