

Технічні науки

УДК [614.895.5.621.5]:622-051

**Нестеренко Артем Анатолійович**

*кандидат педагогічних наук, доцент кафедри  
фізико-хімічних основ розвитку та гасіння пожеж  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля*

**Нестеренко Артем Анатольевич**

*кандидат педагогических наук, доцент кафедры  
физико-химических основ развития и тушения пожаров  
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля*

**Nesterenko Artem**

*Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of  
Physical and Chemical Bases of Development and Suppression of Fires  
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes*

**Покалюк Віктор Миколайович**

*кандидат педагогічних наук, начальник кафедри  
фізико-хімічних основ розвитку та гасіння пожеж  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля*

**Покалюк Виктор Николаевич**

*кандидат педагогических наук, начальник кафедры  
физико-химических основ развития и тушения пожаров  
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля*

**Pokalyuk Viktor**

*Candidate of Pedagogical Sciences, Head of Department of  
Physical and Chemical Fundamentals of Development and Suppression of Fires  
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes*

**Нуянзін Олександр Михайлович**

*кандидат технічних наук, доцент кафедри*

*фізико-хімічних основ розвитку та гасіння пожеж*

*Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля*

**Нуянзин Александр Михайлович**

*кандидат технических наук, доцент кафедры*

*физико-химических основ развития и тушения пожаров*

*Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля*

**Nuianzin Oleksandr**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of*

*Physical and Chemical Fundamentals of Development and Suppression of Fires*

*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes*

**Костенко Тетяна Вікторівна**

*кандидат технічних наук, доцент кафедри*

*автоматичних систем безпеки та електроустановок*

*Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля*

**Костенко Татьяна Викторовна**

*кандидат технических наук, доцент кафедры*

*автоматических систем безопасности и электроустановок*

*Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля*

**Kostenko Tetyana**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of*

*Automatic Safety Systems and Electrical Installations*

*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes*

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ  
ПАРАМЕТРІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПРОТИТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ  
РЯТУВАЛЬНИКІВ**

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПРОТИТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ СПАСАТЕЛЕЙ

### EXPERIMENTAL STUDY ON INDIVIDUAL AGAINST DETERMINE THE PARAMETERS THERMAL PROTECTION RESCUERS

*Анотація.* У даній роботі представлено результати експериментальних досліджень по визначенню параметрів індивідуальних засобів протитеплого захисту рятувальників. Методика дослідження зведена до визначення часу захисної дії при фізичних навантаженнях в умовах високих температур. Отримані дані будуть використані для розроблення математичних моделей, а також для підтвердження адекватності отриманих результатів теоретичних досліджень.

**Ключові слова:** рятувальник, індивідуальний протитепловий захист, енерговитрати організму, динаміка зміни температури.

*Аннотация.* В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению параметров индивидуальных средств протитепловой защиты спасателей. Методика исследования сведена к определению времени защитного действия при физических нагрузках в условиях высоких температур. Полученные данные будут использованы для разработки математических моделей, а также для подтверждения адекватности полученных результатов теоретических исследований.

**Ключевые слова:** спасатель, индивидуальная протитепловая защита, энергозатраты организма, динамика изменения температуры.

*Summary.* This paper presents the results of experimental studies to determine the parameters of individual means of thermal protection against heat rescuers. Research methodology reduced to determining the time of protective

*action during exercise at high temperatures. The data will be used to develop mathematical models and to confirm the adequacy of the results obtained theoretical studies.*

***Key words:** lifeguard, individual protection against heat, energy body, changes in temperature.*

**Постановка проблеми.** Від диму і газів під час пожеж у світі щорічно гине близько 86 осіб на 1 млн. населення, причому ця величина має тенденцію до подальшого зростання. Уже сьогодні кількість жертв у США, Швеції, Франції та інших країнах сягає 20–27 осіб на 1 млн. населення. В Україні цей показник перевищив 50 осіб на 1млн. населення. Ця статистика пожеж і їхніх наслідків значною мірою відображають стан економіки держави, соціальних і демографічних процесів, які відбуваються в суспільстві.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** У попередніх дослідженнях [1, 2, 3] побудовано математичну модель переносу тепла в перспективному теплозахисному засобі для рятувальників який має двошарову ткану оболонку з повітряним прошарком та водну систему охолодження, ураховує вплив температури довкілля, теплофізичні характеристики шарів і геометричні параметри оболонки, і подальший теплообмін, енерговитрати людини і співвідношення площі підкостюмного простору. Отримані математичні залежності дозволяють оцінити динаміку температури в підкостюмному просторі при різних рівнях зовнішнього теплового навантаження та інтенсивності роботи.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.** Робота рятувальників в екстремальних мікрокліматичних умовах особливо важка, вона пов’язана з небезпекою виникнення теплового перенапруження організму, що може спричинити тепловий удар та отруєнням токсичними газами [4]. Тому питання

експериментальних досліджень по визначенню реальних параметрів засобів індивідуального протитеплого захисту працівників оперативно-рятувальної служби цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій є актуальним і важливим.

**Постановка задачі та її розв'язання.** На даний момент виникає потреба в експериментальних дослідженнях по визначенню параметрів функціонального стану рятувальника й можливість виконання ним роботи в індивідуальному засобі протитеплого захисту. З огляду на це, для проведення експериментальних досліджень передбачається використання результатів моделювання процесів переносу в протитепловому костюмі з відбором тепла.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.** Процеси тепломасоперенесення в протитеплових костюмах, за умови перегрівання проводили в лабораторних та полігонних умовах.

Методика дослідження протитеплової здатності костюма зведена загалом до визначення часу його захисної дії за регламентованих умов.

Для проведення досліджень і випробування засобів протитеплого захисту використовували вимірювальну техніку та обладнання, які своєчасно повірені та відповідають вимогам та стандартам метрології.

Функціональний стан випробувача й можливість виконання роботи оцінювали за такими показниками: обмеження рухливості, частота серцевих скорочень, температура внутрішньокостюмного простору, яку зіставляли із санітарними нормами, витривалість до статистичного навантаження, час зорово-моторної реакції, якість виконання коректурної проби, самооцінка випробувачем функціонального стану і працездатності.

Визначення працездатності в захисному одязі проводили відповідно до ГОСТ 12.4.061-88 [5].

Самооцінку функціонального стану випробувача проводили за показниками психофізіологічного комфорту відповідно до п’ятибальної шкали: 5 – високий рівень комфорту (самопочуття дуже гарне); 4 – самопочуття хороше; 3 – незначний дискомфорт; 2 – виражений дискомфорт; 1 – різкий дискомфорт (самопочуття дуже погане). Результати самооцінки реєстрували до початку і в кінці випробувань. По закінченні роботи випробувач за тією самою шкалою давав інтегральну оцінку функціонального стану випробувача, а також називав основні причини дискомфорту. Межа допустимого теплового стану – самопочуття, оцінене в 3 бали.

Самооцінка працездатності випробувача в захисному одязі змодельована за п’ятибальною шкалою: 5 – працездатність висока; 4 – трохи знижена; 3 – помірно знижена; 2 – значно знижена; 1 – непрацездатний. Періодичність самооцінки функціонального стану й працездатності випробувача не менше ніж один раз протягом 10 хв оцінювали за переговорним пристроєм. Отримані результати з кожного показника, що характеризує функціональний стан випробувача й можливість виконання роботи в захисному одязі за заданих умов, піддавали статистичному обробленню відповідно до ГОСТ 8.207-76 [6]. За результат брали середньоарифметичне з достовірною імовірністю 0,95.

Після проведення зазначених вимірювань на випробувача одягали теплозахисний костюм, потім він заходив у теплову камеру й послідовно виконував роботу на ергометричних приладах, види яких, послідовність і режим узагальнено в табл. 1.

Цей режим роботи відповідає енерговитратам від 330 до 460 Вт, тобто в середньому – важкій роботі. Із кожним випробувачем проводили один дослід.

У кінці кожного періоду роботи й відпочинку у випробувача вимірювали і реєстрували частоту серцевих скорочень, температуру в підкостюмному просторі, і час від початку роботи.

Таблиця 1

**Регламент роботи випробувачів в мікрокліматичній камері**

| № п/п | Вид роботи  | Режим роботи, хв |   |
|-------|---|------------------|---|
|       |   |                  |   |
| 1     | Підняття на сходинку висотою 20 см і спускання з неї з частотою 15 хв <sup>-1</sup>   | 10               | 5 |
| 2     | Робота на вертикальному ергометрі, підняття й опускання вантажу масою 10 кг на висоту 1,2 м із частотою 20 хв <sup>-1</sup> | 10               | 5 |
| 3     | Перенесення 140 шт. цегли на відстань 1,8 м і складання їх у штабелі  | 10               | 5 |
| 4     | Повторення роботи: за п. 1  | 10               | 5 |
| 5     | за п. 2   | 10               | 5 |
| 6     | за п. 3   | 10               | 5 |

Таблиця 2

**Межі допустимого і граничного мікроклімату в протитеплових засобах індивідуального захисту**

| Межі допустимого мікроклімату                      |  |                  |   |      |                    |
|--|--|------------------|---|------|--------------------|
| Відносна вологість внутрішньокостюмного повітря, % | Температура внутрішньокостюмного повітря, °С |                  |   |      |                    |
|  | Спокій                                       | Легка робота (I) | Робота середньої тяжкості (II а) (II б) |      | Важка робота (III) |
| До 40  | 15–37  | 12–35            | 10–33                                   | 8–31 | 4–28               |
| До 70  | 15–35  | 12–33            | 10–31                                   | 8–29 | 4–26               |
| До 100   | 15–35  | 12–30            | 10–28                                   | 8–27 | 4–24               |
| Межі граничного мікроклімату                       |  |                  |   |      |                    |
| Відносна вологість внутрішньокостюмного повітря, % | Температура внутрішньокостюмного повітря, °С |                  |   |      |                    |
|  | Спокій                                       | Легка робота (I) | Робота середньої тяжкості (II а–II б)   |      | Важка робота (III) |
| До 40  | 10–44  | 7–42             | 3–40                                    |      | 1–38               |
| До 70  | 10–42  | 7–39             | 3–38                                    |      | 1–36               |
| До 100   | 10–39  | 7–36             | 3–35                                    |      | 1–34               |

Часом захисної дії вважали час від початку роботи до досягнення одного з параметрів допустимого теплового стану, регламентованого вимогами для важкої роботи, тобто допустимого значення температури в



будь-якій точці підкостюмного простору (табл. 2) за вищевказаної частоти серцевих скорочень.

У таблиці 2 не наведено верхні граничні значення температур для категорії «дуже важка», куди нерідко зараховано енерговитрати пожежних рятувальників. У зв'язку із цим, у підкостюмному просторі ізоляційного одягу з теплопоглинаючою системою охолодження відносна вологість досягає 100%. Інтерполюючи й екстраполюючи верхні значення температур °С на третій рядок табл. 1, отримали вираз для її визначення залежно від енерговитрат, Вт:

$$t_{\text{п}} = -0,0367Q_{\text{м}} + 36,94 (R^2 = 0,9864) \quad (1)$$

Отримані значення температури в підкостюмному просторі порівнювали з показниками температури, отриманими з виразу (1), і за їхньої рівності визначали допустиму тривалість роботи.

Щоб визначити ефективність протитеплого костюма для захисту працівників ОРС ЦЗ ДСНС України від теплового променевого потоку під час гасіння пожежі в початковій стадії розвитку, проводили випробування.

Попередньо визначили відстань від випробувача до вогнища пожежі, коли інтенсивність променистого потоку, що падає, на одиницю площі поверхні костюма дорівнювала 5 кВт/м<sup>2</sup>:

$$q = k_0 E, \quad E = \varepsilon T_r^4 \quad (2)$$

де  $k_0$  – коефіцієнт випромінювання костюма, що залежить від відносної відстані;  $E$  – випромінювана потужність вогнища пожежі, кВт/м<sup>2</sup>;  $S_1$  – площа передньої частини зовнішньої оболонки костюма, що бере на себе теплове випромінювання, м<sup>2</sup>.

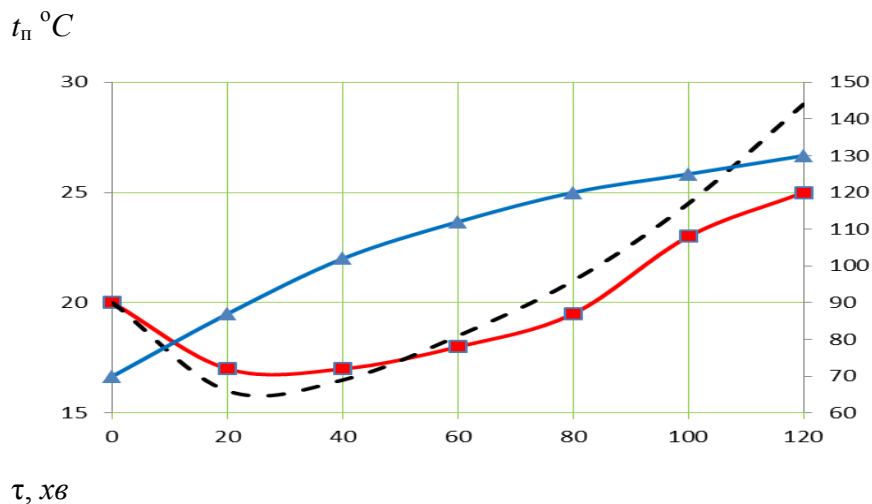
За вихідних даних: 5,0 кВт/м<sup>2</sup>,  $\varepsilon=0,7$ ,  $S_1=1$  м<sup>2</sup>,  $k_0=0,06$ ,  $T_r=1200$  К, випромінювана потужність вогнища пожежі  $E= 83$  кВт/м<sup>2</sup>, а відстань, на якій повинен перебувати випробувач від вогнища пожежі  $x= 2,0$  м.



Теплоємність організму під час роботи, середню температуру поверхні шкіри, середню температуру тіла, різницю між температурами тіла і шкіри, теплоємність організму, її зміну і швидкість розраховували за формулами ГОСТ 12.4.067-79 [7].

У процесі статистичного оброблення числових даних проведеного дослідження визначали середню неквадратичну похибку середніх значень. Для оцінки достовірності (або недостовірності) відмінностей середніх значень взято наступну норму: при  $P < 0,05$  – розходження достовірне, при  $P \geq 0,05$  – недостовірне.

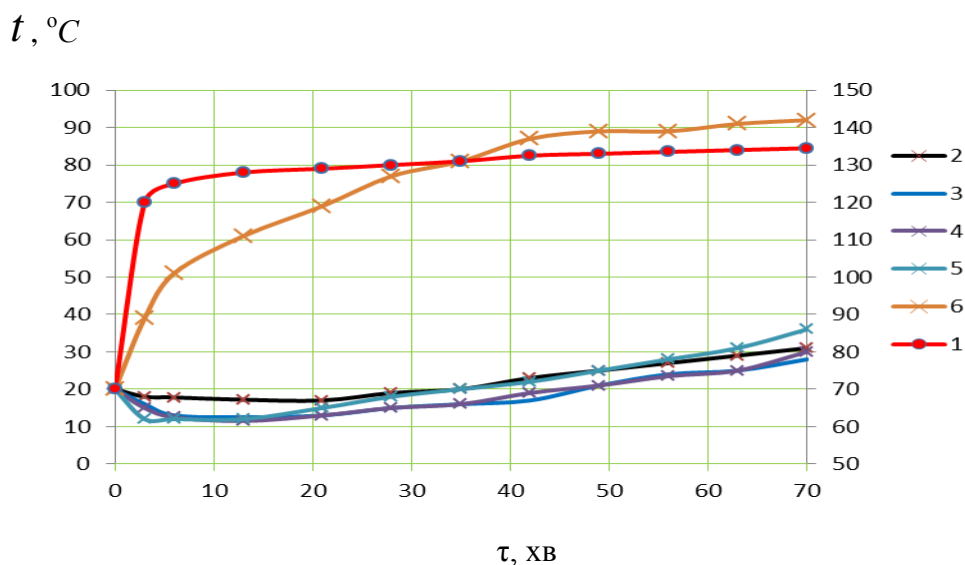
Отримані результати піддавали статистичному й кореляційно-регресійному аналізу за допомогою програми «Статистика».



**Рис. 1.** Результати експериментальних (1), теоретичних (2) досліджень динаміки температури у внутрішньокостюмному просторі теплозахисного костюма і ЧСС (3) випробувачів при температурі повітря в теплової камері  $(40 \pm 1)^\circ \text{C}$  і вологості  $(98 \pm 2) \%$

Попередній аналіз даних щодо зміни температури в підкостюмному просторі теплозахисного костюма під час випробування в теплової камері з температурою повітря  $(40 \pm 1)^\circ \text{C}$  і вологістю  $(98 \pm 2) \%$  засвідчив, температурні показники несуттєво відрізняється один від одного. Тому на рис. 1 представлено дані середніх значень цієї температури (1), для ЧСС – максимальні їхні значення за умови виконання вправ без урахування

відпочинку (3) і результати теоретичних досліджень (2) динаміки температури. На підставі результатів, зазначених на рис. 1, констатуємо, що вимоги до теплозахисного костюма дотримані, оскільки впродовж заданого часу його використання температура у ВП і ЧСС випробувачів не перевищує допустимих значень. Представлені на рис. 1 дані вможливають висновок про те, що, під час роботи випробувачів у теплозахисному костюмі протягом 120 хв, ЧСС і температура у ВП не досягають своїх допустимих значень.

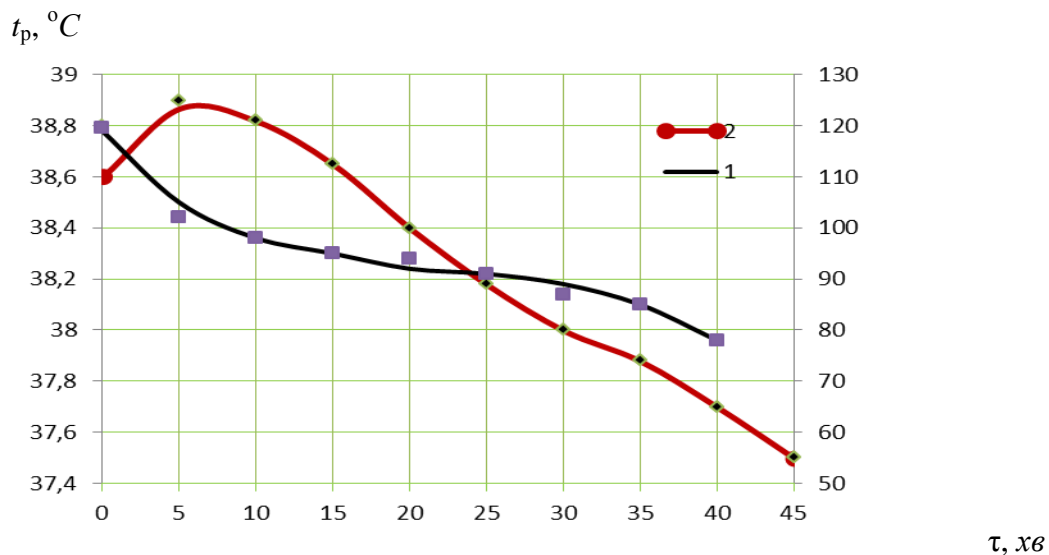


**Рис. 2.** Результати експериментальних (1–4; 6) і теоретичних (5) досліджень динаміки температури на зовнішній поверхні (1), у внутрішньокостюмному просторі в ділянці стоп ніг (2), кистей рук (3), основної частини тіла (4) і ЧСС (6) випробувачів за умови впливу теплового променевого потоку  $5 \text{ кВт} / \text{м}^2$ .

Проведені в дослідно-експериментальні випробування (за наявності впливу теплового променевого потоку від пожежі близько  $5 \text{ кВт} / \text{м}^2$ ) захисного одягу пожежного-рятувальника, що складається з термостійкого, тепловідбивного зовнішнього комбінезона і внутрішнього костюма теплопоглинаючою системою охолодження, уможливили отримання залежностей зміни в часі температури зовнішньої поверхні (1) підкостюмного простору в ділянці основної частини тіла (4), стоп ніг (2),

кистей рук (3) і частоти серцевих скорочень (6). Результати представлені на рис. 2.

Результати теоретичних досліджень температури тіла випробувачів-добровольців у ділянці основної частини тіла (4), стоп ніг (2), кистей рук (3) і внутрішньокостюмного простору в цих місцях практично однакові, тому показники представлені у вигляді однієї кривої. Отримані результати засвідчують, що температура в різних ділянках тіла випробувачів дещо відрізняється; ураховуючи санітарну норму температури внутрішньокостюмного простору близько 30 °С, допустима тривалість роботи випробувачів дорівнює 70 хв, а за результатами теоретичних досліджень (крива 6) – 60 хв, тобто похибка не перевищує 17 %.



**Рис. 3.** Динаміка зміни ЧСС (1) і  $t_p$  (2) випробувачів у процесі екстреного охолодження в костюмі:  $\blacklozenge$ ,  $\blacksquare$  – дані експерименту.

Динаміка температури і ЧСС у процесі ерготермічного навантаження випробувачів описана за допомогою апроксимуючих рівнянь:

$$t_p^H = -2 \cdot 10^{-5} \tau^3 + 0,17 \cdot 10^{-2} \tau^2 - 0,119 \cdot 10^{-1} \tau + 36,915 \quad (R = 0,9970) ;$$

$$\text{ЧСС}^H = -1,22 \cdot \tau^4 + 0,199 \cdot 10^{-1} \tau^3 - 0,6131 \tau^2 + 8,0075 \tau + 67,047 \quad (R = 0,9657),$$

а в процесі екстреного охолодження:

$$t_p^o = -2,4 \cdot 10^{-6} \tau^4 + 0,3257 \cdot 10^{-3} \tau^3 - 0,928 \cdot 10^{-2} \tau^2 + 0,9146 \cdot 10^{-1} \tau + 36,611 \quad (R = 0,9993);$$

$$ЧСС^o = -0,18 \cdot 10^{-2} \tau^3 + 0,1233 \tau^2 - 3,0073 \tau + 117,61 \tau \quad (R = 0,9900).$$

Для порівняння ефективності охолодження за допомогою костюма відповідно до викладеної вище методики проведено серію досліджень за участю тих же випробувачів, але за умови охолодження в термонеутральному мікрокліматі (ТНМ) приміщення передкамери. Після досягнення граничного теплового стану випробувачів вивели з теплової камери, де вони сидячи відпочивали при температурі 25 °С, відносній вологості повітря 70 %. Водночас установлено, що швидкість зниження температури під час охолодження в 1,7 разу вища, ніж під час відпочинку роздягнених випробувачів.

**Висновки.** Результати експериментальних досліджень дозволяють зробити висновок, що в разі непередбачених обставин пожежний-рятувальник після перегрівання зможе самостійно покинути зону підвищених температур, якщо його температурні показники стануть нижчими завдяки застосуванню костюма тепло-поглинаючою системою охолодження.

Під час випробування одягу жоден із параметрів: частота серцевих скорочень і температура тіла в ректальній порожнині – не перевищує свого допустимого значення на всьому діапазоні зміни температур повітря навколишнього середовища, за винятком другого параметра для куртки при температурі 40°С. До того ж рухливість, працездатність, показники психологічного комфорту оцінені випробувачами як задовільні, а термін захисної дії (час роботи до досягнення допустимих вищевказаних параметрів) відповідає нормативно-технічній документації.

Отже, отримані результати теоретичних та експериментальних досліджень із визначення параметрів протитеплового одягу для працівників

ОРС ЦЗ ДСНС України, дають змогу обґрунтувати їх конструктивне виконання та технічну характеристику.

### **Література**

1. Покалюк В. М., Костенко Т. В., Нуянзін О. М., Нестеренко А. А. Екстремальні мікрокліматичні умови професійної діяльності рятувальників / В. М. Покалюк, Т. В. Костенко, О. М. Нуянзін, А. А. Нестеренко // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука», випуск № 3(25): том 1. – Київ: 2017 – с. 159-165.
2. Костенко В. К., Нестеренко А. А., Нуянзін О. М., Покалюк В. М. Математична модель теплообміну в ізоляційному одязі з системою охолодження та без неї / В. К. Костенко, А. А. Нестеренко, О. М. Нуянзін, В. М. Покалюк // Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація : збірник наукових праць. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – № 1. – 126 с. – С. 42-49.
3. Kostenko T., Maiboroda A., Pokaliuk V., Nuianzin O., Nesterenko A. Modeling of transportation processes in thermal suits with heat extraction // XVIII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics» — Czestochowa university of technology faculty of production engineering and materials technology / Series: Monografie Nr 68 — 1. 422.
4. Костенко В. К. Дослідження теплофізичних властивостей протитеплого жилету / В. К. Костенко, В. В. Колеснікова, А. І. Морозов // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – Львів : ЛДУ БЖД. – № 18. – С. 81–85.
5. ГОСТ 12.4.061-88 Система стандартів безпеки труда. Метод определения работоспособности человека в средствах индивидуальной защиты. – Москва: ГСС СССР. – 1989. – 14 с.

6. ГОСТ 8.207-76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. . – Москва: ГСС СССР. – 1976. – 8 с.
7. ГОСТ 12.4.067-79 Система стандартов безопасности труда. Метод определения теплосодержания человека в средствах индивидуальной защиты. – Москва: ГСС СССР. – 1979. – 95 с.