

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  
ПРОТИТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ РЯТУВАЛЬНИКІВ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ИНДИВІДУАЛЬНОЙ  
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 протитеплового 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.

**Анотация.** 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 1 млн 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 тканину оболонку з повітряним прошарком та водну систему охолодження, ураховує вплив температури доквілля, 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 протитеплового 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 протитеплового

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 умов 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 випробува-

Таблиця 1

Регламент роботи випробувачів в мікрокліматичній камері

№ п/п	Вид роботи	Режим роботи, хв	
1	Підняття на сходику 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		Важка робота (III)
			(II а)	(II б)	
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)
			(II а)	(II б)	
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

ча 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.

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 °C на третій рядок табл. 1, отримали вираз для її визначення залежно від енерговитрат, Вт:

$$t_n = -0,0367Q_m + 36,94 (R^2 = 0,9864) \quad (1)$$

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>:

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

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.

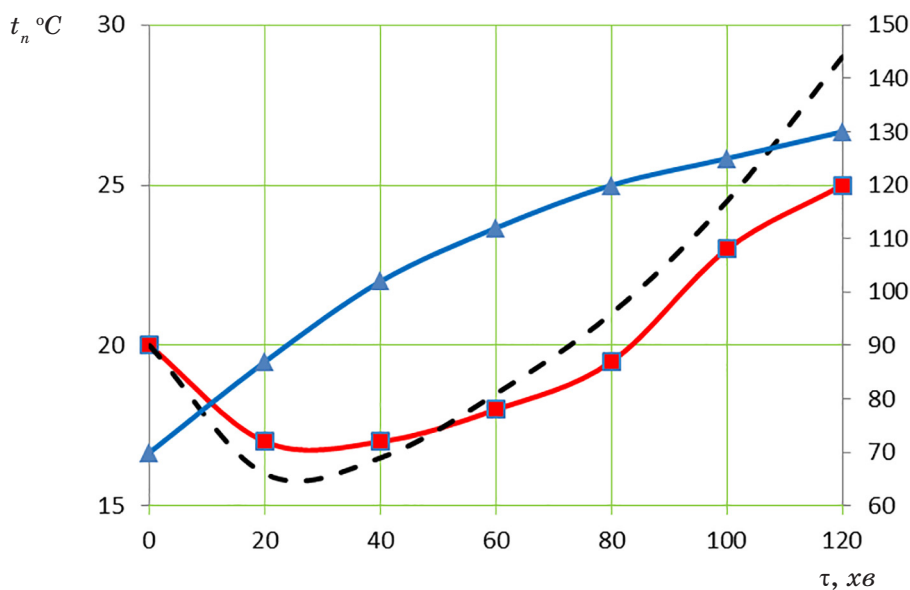


Рис. 1. Результати експериментальних (1), теоретичних (2) досліджень динаміки температури у внутрішньокостюмному просторі теплозахисного костюма і ЧСС (3) випробувачів при температурі повітря в тепловій камері (40± 1)°C і вологості (98 ± 2)%

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

Попередній аналіз даних щодо зміни температури в підкостюмному просторі теплозахисного костюма під час випробування в тепловій камері з температурою повітря  $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$  і вологістю  $(98 \pm 2)\%$  засвідчив, температурні показники несуттєво відрізняються 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.

Проведені в дослідно-експериментальні випробування (за наявності впливу теплового променевого потоку від пожежі близько  $5 \text{ кВт/м}^2$ ) 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 вну-

трішньокостюмного 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  $30^\circ\text{C}$ , допустима тривалість роботи випробувачів дорівнює 70 хв, а за результатами теоретичних досліджень (крива 6) — 60 хв, тобто похибка не перевищує 17%.

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

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

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

а в процесі екстреного охолодження:

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

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

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 ка-

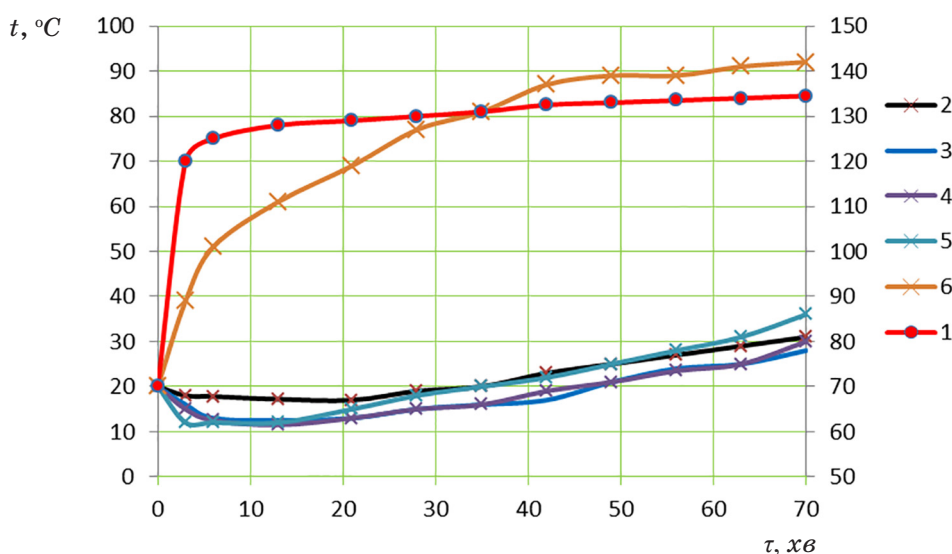


Рис. 2. Результати експериментальних (1–4; 6) і теоретичних (5) досліджень динаміки температури на зовнішній поверхні (1), у внутрішньокостюмному просторі в ділянці стоп ніг (2), кистей рук (3), основної частини тіла (4) і ЧСС (6) випробувачів за умови впливу теплового променевого потоку  $5 \text{ кВт/м}^2$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

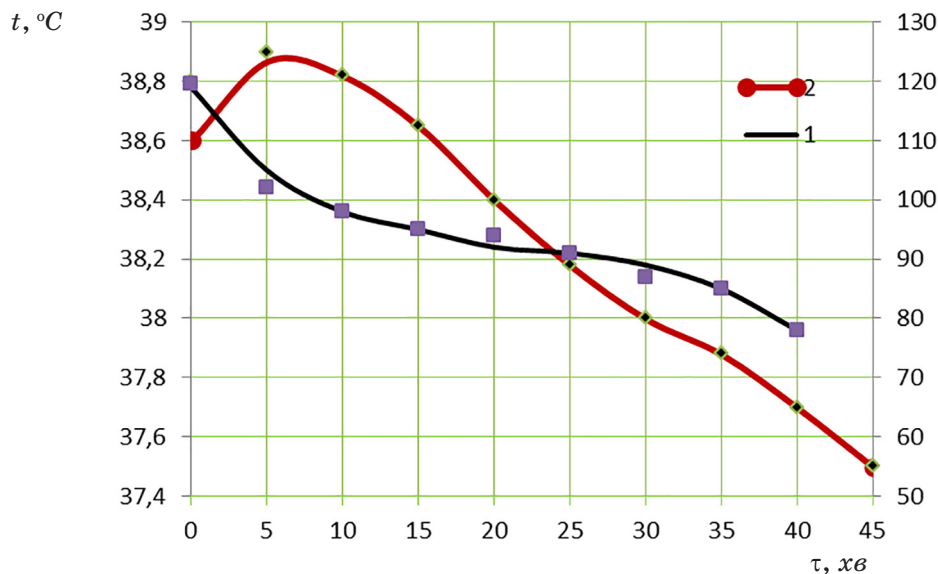


Рис. 3. Динаміка зміни ЧСС (1) і  $t_p$  (2) випробувачів у процесі екстреного охолодження в костюмі:  
 ◆, ■ — дані експерименту.

мери, де вони сидючи 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 рек-

тальній 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 протитеплого 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 стандартов безопасности 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.