

- naniia – *Advances in current natural sciences*, 2007, no. 7, pp. 43-45. (Rus.)
7. Starenie i neravnovesnaia termodinamika. Davniaia mechta: kakim zhe mozhет byt' sposob pobedit' starenie? (Aging and nonequilibrium thermodynamics. An old dream: what could be a way to defeat aging?) Available at: www.vechnayamolodost.ru/articles/teorii-stareniya/starenie-i-neravnovesnaya-termodinamika (accessed 25 June 2019).
 8. Martinchik A.N. *Fiziologiya pitaniia* [Physiology of nutrition]. Moscow, Academy Publ., 2013. 240 p. (Rus.)
 9. Voloshin V.S. *Priroda otkhodoobrazovaniia (v prilozhenii k upravleniiu otkhodami)* [The nature of waste generation (as annex to waste management)]. Mariupol, Renata Publ., 2007. 666 p. (Rus.)
 10. Glensdorf P., Prigogine I. *Termodinamicheskaia teoriia struktury, ustoychivosti i fluktuatsii* [Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2003. 280 p. (Rus.)
 11. Voloshin V.S., Burko V.A. Pit'evaia voda. Nevostrebovannye trebovaniia. *Zb. nauk. statei XIII Mizhn. nauk.-prakt. konf. «Ekologichna bezpeka: problemi i shliakhi virishennia»* [Drinking water. Unclaimed Requirements. Proceedings of 13th Int. Sci.-Techn. Conf. «Environmental safety: problems and solutions»]. Kharkiv, 2017, pp. 124-131. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 03.09.2019

УДК 614.0.084

doi: 10.31498/2225-6733.39.2019.201080

© Костенко Т.В.¹, Костирка О.В.², Березовський А.І.³,
Землянський О.М.⁴, Головка Д.І.⁵

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПІДТРИМАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В ПІДКОСТЮМНОМУ ПРОСТОРІ РЯТУВАЛЬНИКА

В статті розглянуто актуальне питання підтримання комфортного температурного режиму в підкостюмному просторі рятувальника під час ліквідації пожеж. Спосіб охолодження підкостюмного середовища за допомогою проточної схеми охолодження з використанням в якості холодоагенту води або піноутворюючого розчину має певний недолік в холодний період року, а саме вплив на тіло людини контрастних температур, які створюють небезпеку переохолодження організму. Для попередження дії низьких температур в холодну пору року запропоновано використання в системі охолодження колектора-підігрівача, виконаного з еластичного теплопровідного матеріалу, який виконує подвійну функцію: нагрів холодоагенту, а також екранує зовнішню оболонку протитеплого костюму від прямої дії теплових променів та конвекційних газових потоків. Запропоноване технічне рішення дозволить покращити температурний режим в підкостюмному просторі рятувальника.

Ключові слова: рятувальник, теплові травми, холодоагент, колектор, підкостюмний простір.

¹ д-р техн. наук, доцент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, tatiana.kostenko@gmail.com

² канд. техн. наук, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, olesiakostyrka@ukr.net

³ канд. техн. наук, доцент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, andrey82-07@ukr.net

⁴ канд. техн. наук, доцент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, omzem1@gmail.com

⁵ студент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, golovkod11@gmail.com

Костенко Т.В., Костырка А.В., Березовский А.И., Землянский О.Н., Головки Д.И. Предложения по поддержанию температурного режима в подкостюмном пространстве спасателя. В статье рассмотрен актуальный вопрос поддержания комфортного температурного режима в подкостюмном пространстве спасателя при ликвидации пожаров. Способ охлаждения подкостюмного пространства с помощью проточной системы с использованием в качестве хладагента воды или пенообразующего раствора имеет определенный недостаток в холодный период года, а именно воздействие на тело человека контрастных температур, которые создают опасность переохлаждения организма. Для предупреждения воздействия низких температур в холодное время года предложено использование в системе охлаждения коллектора-подогревателя, выполненного из эластичного теплопроводного материала, который выполняет двойную функцию: нагрев хладагента, а также экранирует внешнюю оболочку противотеплового костюма от прямого воздействия тепловых лучей и конвекционных газовых потоков. Предложенное техническое решение позволит улучшить температурный режим в подкостюмном пространстве спасателя.

Ключевые слова: спасатель, тепловые травмы, хладагент, коллектор, подкостюмное пространство.

T.V. Kostenko, O.V. Kostyrka, A.I. Berezovskyi, O.M. Zemlianskyi, D.I. Golovko. Proposals for maintaining temperature condition in the undersuit space of the rescuer. The elimination of fires and the consequences of emergencies is carried out in conditions of high temperatures, abnormal humidity of the environment, smoke screening, and is often accompanied by intense physical exertion, nervous tension, that is, it is carried out under high ergothermic and psycho-emotional stresses of the rescuer. The purpose of this work is to develop proposals to improve the temperature regime in the undersuit space of the rescuer during operations at low ambient temperatures by substantiating the parameters of the water cooling system of the heat-proof suit. The article discusses the urgent issue of maintaining a comfortable temperature in the undersuit space of the rescuer during the elimination of fires. The most effective way to protect rescuers from the negative effects of fires is to use a flow-through cooling scheme with either water or a foaming solution as a refrigerant. The disadvantage of this method is the effect of contrasting temperatures on the human body, which creates a danger of hypothermia. To prevent the effects of low temperatures in the cold season, it is proposed to use a heater manifold made of elastic heat-conducting material. The heater manifold with thermostat performs a dual function, namely the heating of the refrigerant, as well as shielding the outer shell of the thermal suit from the direct action of heat rays and convection gas flows. The scientific significance of the article is that for the first time it has been proposed to use the radiation energy of a combustion source to heat a low-temperature refrigerant in the cooling systems of rescuers. The practical significance of the results obtained in the article is that the proposed technical solution will make it possible to improve the temperature regime in the undersuit space of the rescuer while conducting operative actions in the conditions of intense thermal radiation and low ambient temperatures.

Keywords: rescuer, heat trauma, refrigerant, heater manifold, undersuit space.

Постановка проблеми. Робота рятувальника щодня пов'язана із ризиками для життя і здоров'я. Це обумовлено тим, що роботи з ліквідації пожеж та наслідків надзвичайних ситуацій здійснюються в умовах високих температур, ненормальної вологості оточуючого середовища, задимленості атмосфери, часто супроводжуються інтенсивними фізичними навантаженнями, нервовим напруженням, тобто при високих ерготермічних і психоемоційних навантаженнях людини.

Підрозділами територіальних органів Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) України за 10 місяців 2019 року зареєстровано 86143 пожежі, що на 25,0% більше, ніж за аналогічний період 2018 року. Кількість пожеж у природних екосистемах збільшилася на

42%, а на відкритих територіях сталося на 50,9% більше пожеж [1]. Матеріальні втрати від пожеж у природних екосистемах та на відкритих територіях склали більше 9 млрд. грн., у тому числі прямі збитки становили майже 2 млрд. грн., а побічні більше 7 млрд. грн. Порівняно з аналогічним періодом 2018 року, матеріальні втрати від пожеж збільшились на 37,6% (прямі збитки збільшились на 9,6%, побічні – на 46,5%).

За 10 місяців 2019 року в природних екосистемах виникло 1454 пожежі проти 1024 за 10 місяців 2018 року. Внаслідок таких пожеж загинуло 2 людини. Так, 2 жовтня 2019 року поблизу села Масівці Хмельницького району, що неподалік обласного центру, фахівці ДСНС виявили 12 осередків займання торфу загальною площею близько 350 м². До місця пожежі негайно було спрямовано 4 підрозділи ДСНС. Під час гасіння було додатково виявлено 2 осередки займання. Тож, загалом площа пожежі склала близько 500 м². Завдяки оперативним та злагодженим діям, пожежники швидко впорались із торф'яною пожежею та запобігли її подальшому поширенню. На гасіння пожежі було задіяно 12 вогнеборців, 2 працівника місцевої пожежної охорони та 8 одиниць пожежної техніки. Причина пожежі – самозаймання торфу. На відкритих територіях за 10 місяців 2019 року виникло 51399 пожеж. Внаслідок пожеж на згаданих об'єктах загинуло 78 людей та 110 людей отримали травми. Розподіл кількості пожеж у природних екосистемах та на відкритих територіях за 2018-2019 роки наведено на рис 1.

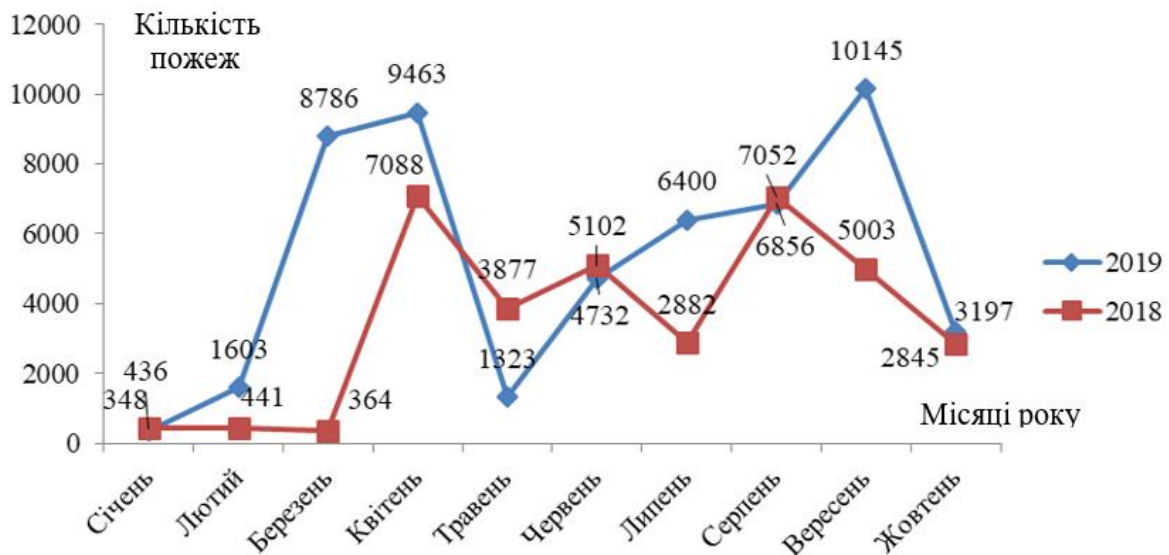


Рис. 1 – Графік розподілу кількості пожеж у природних екосистемах та на відкритих територіях за 10 місяців 2018 та 2019 років

Аналізуючи графіки, наведені на рис. 1, можна виділити періоди березень-квітень та липень-вересень, що характеризуються збільшенням кількості пожеж у природних екосистемах та на відкритих територіях унаслідок людської діяльності (спалювання залишків сухої рослинності). Зокрема, збільшення кількості пожеж у природних екосистемах зареєстровано на торфовищах, полях зернових культур, технічних культур та територіях сільськогосподарського призначення. На відкритих територіях збільшення кількості пожеж сталося на територіях житлової забудови, приватних домоволодінь та територіях місць загального користування в межах населених пунктів, територіях поза межами населених пунктів, територіях підприємств, установ та організацій та на полігонах твердих побутових відходів [1].

Крім значних матеріальних збитків, травмування та загибелі населення в результаті виникнення пожеж, відбувається також травмування і особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, які беруть участь в їх ліквідації та проведенні аварійно-рятувальних робіт. Серед найбільш поширених видів травм для рятувальників можна виділити термічні травми, а саме опіки, перегрівання тіла, теплові удари [2]. Найбільш резонансні пожежі останніх років підтверджують це. В 2015 році в ході гасіння пожежі на нафтобазі в «БРСМ-Нафта» в Київській області 6 осіб загинуло, з яких 4 рятувальники, і 18 осіб травмовано. В 2019 році внаслідок пожежі

на нафтобазі в Киргизії м. Джалал-Абаде, щонайменше 2 особи отримали 50% опіків тіла, з яких один рятувальник [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективним способом захисту рятувальників від перегрівань під час оперативних дій є охолодження тіла за допомогою охолоджуючих водокрижаних елементів, що використовується гірничорятувальниками, та охолоджуючих жилетів з використанням елементів з РСМ (матеріал, що змінює фазовий стан) [4].

Так, наприклад, охолоджуючий жилет (рис. 2, а) призначений для зниження температури тіла рятувальника при його перебуванні в зоні підвищеної температури. Застосування цього жилету знижує ймовірність отримання теплового удару, зменшує навантаження на серце і дозволяє рятувальнику працювати тривалий час в зоні підвищеної температури під час виконання дій за призначенням. Охолоджуючий жилет «Flexi ice» поєднується з ізолюючими костюмами, тепловідбивними костюмами рятувальника.



Рис. 2 – Охолоджуючі жилети: а – «Flexi ice»; б – Draeger CVP 5220

Охолоджуюча дія жилету Draeger CVP 5220 (рис. 2, б) забезпечується 22 елементами з матеріалу з фазовим переходом, які вбудовані в охолоджуючий жилет. Базовим матеріалом охолоджуючих елементів є глауберова сіль, яка при температурах нижче 22°C є твердим тілом. При температурі поверхні 28°C вміст охолоджуючих елементів переходить в рідкий стан, поглинаючи теплову енергію. У цьому стані жилет може зменшити зростаючу температуру тіла користувача на три-чотири градуси. Залежно від інтенсивності фізичної роботи і навколишньої температури, жилет охолоджує тіло користувача не менше трьох годин.

Недоліком вищезазначених охолоджуючих жилетів є те, що вони мають обмежений термін використання, заміна охолоджуючих елементів є складною в умовах виконання оперативних дій.

Для випадку ліквідації пожеж оптимальним є використання засобів гасіння для охолодження тіла рятувальника. Це може бути реалізовано за допомогою проточної схеми охолодження тепловідбивного костюму рятувальника [5, 6]. Ідея полягає в тому, що костюм обладнується додатково мережею трубок в підкостюмному просторі, по яких безперервно під час гасіння пожеж циркулює холодоагент, що відбирається з пожежного рукава. Однак, і для цього методу охолодження тіла є свої недоліки. Це обумовлено тим, що в холодний період року вода або розчин піни для гасіння пожеж має досить низьку температуру, що може призвести до переохолодження організму рятувальника.

Мета статті – покращення температурного режиму в підкостюмному просторі рятувальника під час ведення оперативних дій при низьких температурах оточуючого середовища шляхом обґрунтування параметрів системи водяного охолодження протитеплового костюма.

Виклад основного матеріалу. Виходячи з умов клімату, можна підсумувати, що в холодний період року, а саме з жовтня до квітня, температура навколишнього середовища на більшості території України є низькою, що викликає також і різке зниження температур води в водних об'єктах (рис. 3).

Вищезгадана пропозиція щодо охолодження тіла рятувальника за допомогою проточної системи із використанням холодоагенту, тобто активного знімання тепла, [5, 6] під час гасіння пожеж не може забезпечити комфортні умови роботи під час ліквідації пожеж в холодний період року, коли температура повітря може бути нижчою за нуль. Таким чином, під час виконання оперативних дій в холодну пору року створюється наступна ситуація. По-перше, рятувальник піддається впливу інтенсивного теплового випромінювання від джерела горіння, яке необхідно усунути шляхом використання відповідних засобів захисту від теплового ураження з використанням холодоагенту. По-друге, внаслідок дії занадто низької температури холодоагенту, що циркулює по трубках охолоджуючого пристрою, висока ймовірність переохолодження тіла рятувальника. Через те, що теплове випромінювання від джерела горіння має променеву дію, нагрівається переважно одна сторона тіла рятувальника. Інша сторона тіла через дію низьких температур оточуючого середовища переохолоджується. Таким чином, створюються некомфортні умови для роботи рятувальника через дію контрастних температур з двох сторін тіла з перепадом до 20°C.

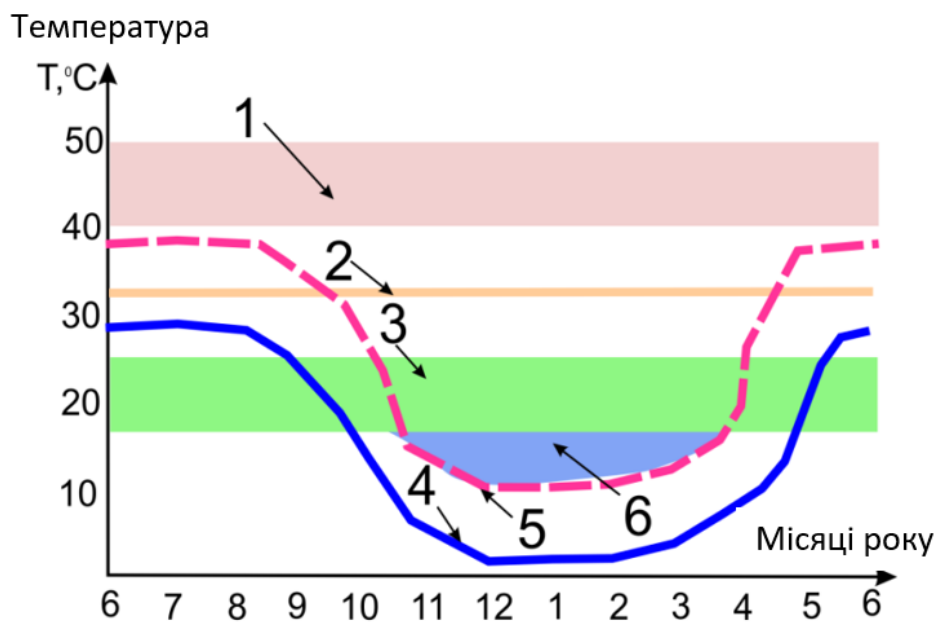


Рис. 3 – Температурні зміни протягом року на території України: 1 – межі допустимих температур у підкостюмному просторі рятувальника (від 40 до 50°C, що відповідає температурі на поверхні тіла рятувальника та внутрішній поверхні одягу); 2 – середньостатистична температура поверхні тіла людини; 3 – межа температур, що є комфортними для людини (від 18 до 25°C); 4 – середньостатистична температура води у водоймищах; 5 – температура в підкостюмному просторі рятувальника; 6 – межа температурних значень, що відповідають умовам охолодження організму рятувальника

Усунення недоліка переохолодження тіла рятувальника можна здійснити за рахунок підігріву води до комфортної температури, тобто до температур від 18 до 25°C. Для нагріву можна використати інфрачервоні випромінювання від джерела горіння, що впливатимуть на колектор-підігрівач гнучкої конструкції у вигляді пластини з теплопровідного еластичного матеріалу, в середині якої розташовані канали для руху холодоагенту. Гнучка конструкція колектора-підігрівача збільшує тактичні можливості рятувальника. Пластина підігрівача розташовується на грудній клітині рятувальника та має дві функції: нагріває холодоагент та екранує пряму дію теплового випромінювання від джерела горіння.

Рисунок 4 ілюструє пристрій для підтримання температурного режиму в підкостюмному просторі, який експлуатується наступним чином. Рятувальник одягає костюм із пристроєм безпосередньо перед проведенням ліквідації пожежі. Перед заходом в зону підвищеного теплового

випромінювання і температур, він підключає гнучкий магістральний шланг 4 до вставки 2, віддає команду на подання води в рукавну лінію 1, відкриває кран-регулятор 3 для подачі холодоагенту до системи трубок 7 через колектор-підігрівач 5 із терморегулятором 6. Вода, яка має температуру нижчу за 15°C , проходячи по трубках колектора-підігрівача 5 нагрівається до комфортного рівня $18\text{...}25^{\circ}\text{C}$, і після цього рухається по каналам системи 7 охолодження тіла пожежника. При цьому виключається небезпека дії контрастних температур і загроза захворювання людини. Холодоагент видаляється самопливно з відкритих кінцівок трубок 8 в нижній частині костюма.

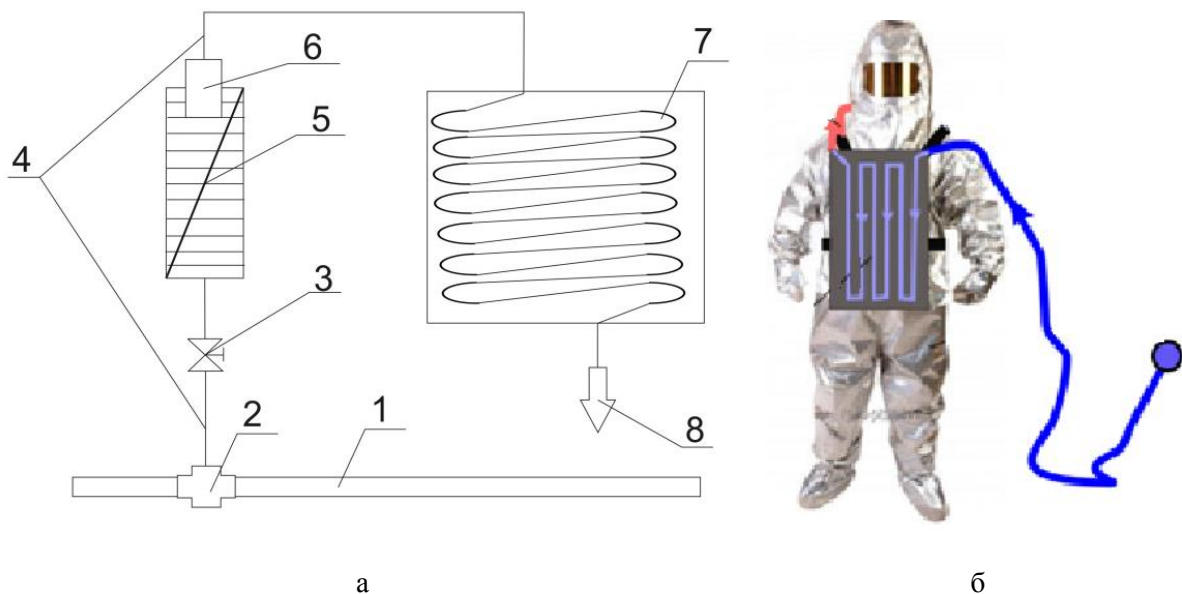


Рис. 4 – Схема конструкції (а) та зовнішній вигляд (б) пристрою для підтримання температурного режиму в підкостюмному просторі рятувальника: 1 – пожежний рукав; 2 – вставка для відбору холодоагенту; 3 – кран-регулятор для подавання води; 4 – гнучкі магістральні шланги, що розташовані у підкостюмному просторі; 5 – колектор-підігрівач; 6 – терморегулятор; 7 – система трубок для охолодження тіла; 8 – шланг для виходу рідини у зовнішнє середовище.

Вода або розчин піни, що поступає до пристрою для підтримання температури та має температуру нижче 15°C , проходить по трубках колектора-підігрівача з терморегулятором та нагрівається до комфортного рівня $18\text{...}25^{\circ}\text{C}$. Після нагріву холодоагент рухається по каналам системи охолодження тіла рятувальника. Запропоноване рішення щодо підтримання температурного режиму в підкостюмному просторі виключає небезпеку дії контрастних температур і загрозу переохолодження рятувальника під час виконання оперативних дій.

Висновки

Найбільш ефективним способом захисту рятувальників від негативного впливу теплового випромінювання пожежі є використання проточної схеми охолодження з використанням в якості холодоагенту води або розчину піни, що використовується для гасіння пожеж. Недоліком цього методу є вплив на тіло рятувальника контрастних температур та небезпеки переохолодження організму за умови низьких температур оточуючого середовища.

Для усунення загрози переохолодження тіла рятувальника в холодну пору року запропоновано використання пристрою для підтримання температурного режиму в підкостюмному просторі, який нагріває холодоагент до комфортних температур за допомогою колектора-підігрівача з терморегулятором.

Наукове значення статті полягає в тому, що вперше запропоновано використовувати променеву енергію джерела горіння для підігріву низькотемпературного холодоагенту в системах охолодження рятувальників. Практичне значення отриманих в статті результатів полягає в

тому, що запропоноване технічне рішення дозволить покращити температурний режим в підкостюмному просторі рятувальника під час ведення оперативних дій в умовах інтенсивного теплового випромінювання та низьких температур оточуючого середовища.

Перелік використаних джерел:

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 10 місяців 2019 року. – УкрНДЦ, 2019. – 23 с.
2. Automatization of individual anti-thermal protection of rescuers in the initial period of fire suppression / V. Kostenko, T. Kostenko, O. Zemlianskiy, A. Maiboroda, S. Kutsenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – № 5 (10). – Pp. 4-11. Mode of access: [DOI:10.15587/1729-4061.2017.109484](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109484).
3. Обґрунтування підходів визначення докритичних і критичних значень рівня рідини в резервуарах нафти та нафтопродуктів на основі особливостей технологічного процесу / О.М. Землянський, Т.В. Костенко, С.В. Куценко, О.В. Костирка, А.В. Куцелап // *Вісті Донецького гірничого інституту*. – 2019. – № 2. – С. 75-84. Mode of access: [DOI: 10.31474/1999-981x-2019-2-75-84](https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-2-75-84).
4. Hazmat Suits – Draeger [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www. Draeger.com/en_me/Mining/Productselector/Hazmat-Suits](http://www.Draeger.com/en_me/Mining/Productselector/Hazmat-Suits).
5. Костенко В.К. Теплозахисний костюм з системою водяного охолодження / В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова, Т.В. Костенко // *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. – 2016. – № 2 (2). – С. 38-43.
6. Пат. 109668 Україна, МПК А 62 В 17/00, А 41 D 13/02. Теплозахисний костюм / О.Л. Зав'ялова, В.К. Костенко, Т.В. Костенко, Г.В. Зав'ялов, В.М. Покалюк. – № 201603119; заявл. 25.03.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл. № 16. – 6 с.

References:

1. *Analitichna dovidka pro pozhezhi ta yih naslidki v Ukraini za 10 misyaciv 2019 roku* [Analytical report on fires and their consequences in Ukraine for the 10 months of 2019]. UkrNDICZ. 23 p. (Ukr.)
2. Kostenko V., Kostenko T., Zemlianskiy O., Maiboroda A., Kutsenko S. Automatization of individual anti-thermal protection of rescuers in the initial period of fire suppression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, no. 5 (10), pp. 4-11. doi: **10.15587/1729-4061.2017.109484**.
3. Zemlyansky O.M., Kostenko T.V., Kutsenko S.V., Kostyrka O.V., Kutselap A.V. Obgruntuvannya pidhodiv viznachennya dokritichnih i kritichnih znachen rivnya ridini v rezervuarah nafti ta naftoproduktiv na osnovi osoblivostej tehnologichnogo procesu [Substantiation of approaches of determination of subcritical and critical values of liquid level in oil and oil reservoirs on the basis of technological process features]. *Visti Donets'kogo girnichogo institutu – Journal of Donetsk Mining Institute*, 2019, no. 2, pp. 75-84. doi: **10.31474/1999-981x-2019-2-75-84**. (Ukr.)
4. Hazmat Suits – Draeger Available at: www.draeger.com/en_me/Mining/Productselector/Hazmat-Suits (accessed 13 September 2019).
5. Kostenko V.K., Zavyalova O.L., Kostenko T.V. Teplozahisnij kostyum z sistemoyu vodyanogo oholodzhennya [Waterproof suit with water cooling system]. *Naukovii visnik: Tsivil'nii zakhist ta pozhezhna bezpeka – Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2016. no. 2 (2), pp. 38-43. (Ukr.)
6. Zavyalova O.L., Kostenko V.K., Kostenko T.V., Zavyalov H.V., Pokalyuk V.M. *Teplozahisnij kostyum* [Protective suit]. Patent UA, no. 109668, 2016. (Ukr.)

Рецензент: О.М. Мирошник

д-р. техн. наук, доц., ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

Стаття надійшла 16.09.2019