

УДК 614.895.5:621.5

Костенко Т.В., канд.техн.наук
(Донецький національний технічний
університет, м. Покровськ)

ОХОЛОЖДЕННЯ ТЕПЛОЗАХИСНОГО КОСТЮМУ РЯТУВАЛЬНИКА ЗА ДОПОМОГОЮ ПІННОГО ПРИСТРОЮ

Костенко Т.В., канд.техн.наук
(Донецкий национальный технический
университет, г. Покровск)

ОХЛАЖДЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО КОСТЮМА СПАСАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПЕННОГО УСТРОЙСТВА

Kostenko T.V., PhD (Tech.)
(Donetsk National Technical University, Pokrovsk)

COOLING OF HEAT PROTECTIVE SUIT WITH THE FOAM DEVICE

Анотація. В статті запропоновано конструкцію пінного пристрою, що призначений для охолодження поверхні теплозахисного костюму рятувальників оперативно-рятувальної служби та гірничорятувальників під час ліквідації пожеж в умовах інтенсивної дії теплового випромінювання. Використання пінного охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму забезпечує збереження цілісності зовнішнього шару теплозахисного костюма рятувальника при тривалій дії високих температур, наявності іскор, головешок, бризок палаючого рідкого пального, з одночасним забезпеченням у підкостюмному просторі комфортних умов роботи рятувальника.

Ключові слова: теплозахисний одяг, теплове випромінювання, пінний пристрій, температура термодеструкції.

Вступ. Ліквідація аварій, що пов'язані із пожежами, майже завжди відбувається в умовах високих температур та інтенсивного теплового випромінювання [1]. Протитеплові костюми, що є на оснащенні пожежно-рятувальних підрозділів МНС України, не в повному обсязі виконують свої функції внаслідок малого строку захисної дії, а при дії інтенсивних теплових променевих потоків, зовнішній шар оболонки костюму може нагріватися до температури термодеструкції матеріалу, з якого виготовлена оболонка, та костюм виходить з ладу.

Для охолодження і покращення комфорту підкостюмного простору гірничорятувальників використовуються системи повітряної вентиляції від апаратів на стисненому повітрі [2], які мають, на жаль, досить обмежений час дії. На оснащенні гірничорятувальної служби Мінпаленерго України використовується протитепловий одяг з активним зніманням тепла, з локально розташованими в піддежному просторі водокрижаними охолоджуючими елементами [3]. Для їх заморожування, зберігання і доставки до місця ведення робіт застосовують морозильні установки, в тому числі мобільні азотні, а також переносні і пересувні теплоізолюючі контейнери.

Однак при тривалому впливі теплових навантажень костюм не зберігає захисні функції, а саме, достатню тривалість одночасного забезпечення комфортної для людського організму температури в підкостюмному просторі і запобігання нагріву зовнішнього шару куртки вище температури термодеструкції матеріалу, з якого він виготовлений. Причиною цього є обмежений ресурс холоду в комплекті охолоджуючих елементів. Збільшення кількості або розмірів охолоджуючих елементів призводить до збільшення маси теплозахисного комплексу.

Відомо конструкцію теплозахисного костюму [4] із системою відведення тепла за допомогою системи трубок, по яких переміщується холодоагент у підкостюмному просторі. Така система охолодження недостатньо запобігає нагріву зовнішнього шару оболонки костюму тому, що охолоджуючий потік спрямовано з середини костюму від трубок з холодоагентом до тіла рятувальника та поверхневого шару зовнішньої оболонки. При дії інтенсивних зовнішніх теплових променевих потоків відбуваються інтенсивні теплові деформації поверхневого шару оболонки, втрата його міцності та скорочення строку служби костюму. При нагріві оболонки вище температури термодеструкції матеріалу з якого виготовлена вона може бути зруйнована та костюм перестає виконувати захисні функції. Особливо небезпечною є дія іскор, голешок або крапель палаючого пального, що попадають на верхню оболонку костюму. При порушенні цілісності оболонки костюм стає непридатним до використання і продовжувати роботи в йому заборонено.

Теоретична частина. Вирішення завдання щодо захисту поверхні теплозахисного костюму від дії теплових випромінювань, а також зниження маси костюму [4], досягається за рахунок того, що в якості холодоагенту використовують розчин піноутворювача, трубки для його подавання розташовуються в області голови та шиї рятувальника, до трубок з охолоджувачем додатково підключено піногенератори [5].

При роботі піногенераторів утворюється непроникливий для інфрачервоних променів бар'єр у вигляді пінного шару, що вкриває тіло рятувальника від плечей до полу. Зовнішня тепла енергія витрачається на нагрів піни, руйнування бульбашок, стікання (ефект синерезису) і випаровування нагрітої води. Втрачена піна постійно поповнюється завдяки вибору режиму витрати піноутворюючого розчину ($Q, м^3/с$) що складає не менш:

$$Q = \frac{(h \cdot b^2 - 0,9)}{k \cdot c},$$

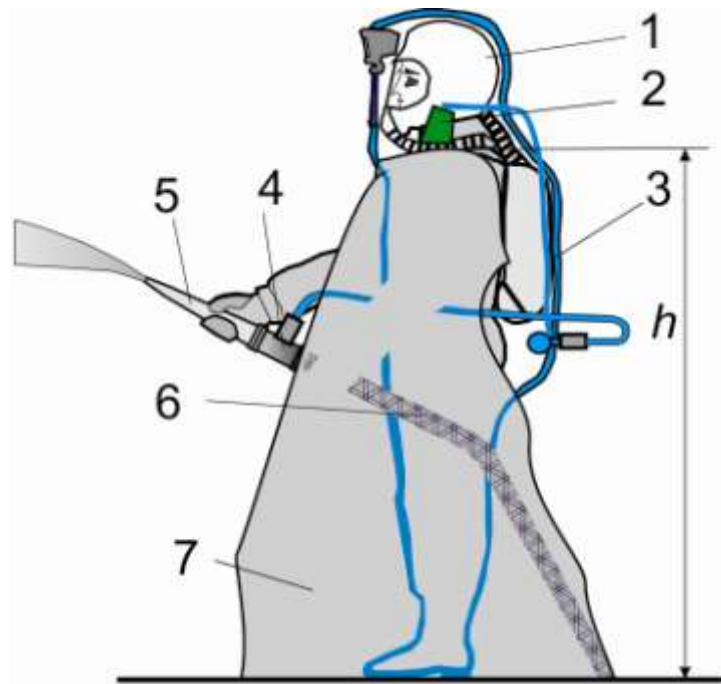
де h - відстань від полу до плечей рятувальника, $м$; b - ширина плечей рятувальника, $м$; k - кратність піни; c - стійкість піни, $с$.

Наявність пінного бар'єру запобігає суттєвому нагріву зовнішньої оболонки костюму вище температури піноутворювача тобто $10...25^{\circ}C$. Піна також поглинає внутрішню енергію, що виробляється організмом рятувальника, та передається до зовнішньої оболонки протитеплого костюму. Перетворена

енергія у вигляді нагрітої води та пари постійно видаляється з поверхонь пінного бар'єру і оболонки костюму у зовнішній простір, не даючи підійматись температурі у середині костюму. Це дозволить зменшити в конструкції костюму товщину шарів теплоізолюючих матеріалів та кількість трубок з холодоагентом. В свою чергу це дозволить зменшити вагу одягу, що знизить навантаження та обмеження рухів рятувальника.

При наявності іскор, голешок або крапель палаючого пального пінний бар'єр забезпечує їх охолодження та гасіння, зберігаючи цілісність зовнішньої оболонки костюму.

Схематично рятувальник в теплозахисному костюмі з охолоджуючим пінним пристроєм зображений на рис. 1.



1 – теплозахисний костюм; 2 – піногенератори; 3 – трубки з холодоагентом; 4 – вставка;
5 – пожежний ствол; 6 – пожежний рукав; 7 – захисний пінний бар'єр

Рисунок 1 - Схема розташування складових частин пінного охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму

Пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму складається з розташованих не нижчі шиї рятувальника піногенераторів 2, які підключені до трубок 3 з пінотворним розчином.

Трубки з охолоджувачем 3 підключені до вставки 4, яка встановлена на пожежному рукаві 6 перед пожежним стволом 5. Струмені піни з піногенераторів спрямовані на зовнішню поверхню протитеплого костюму 1 і при роботі утворюють навкруги неї захисну пінний бар'єр 7. Подання пінотворного розчину дозволяє створити на рівні плечей рятувальника та нижче суцільний захисний бар'єр у вигляді пінного шару, що забезпечує охолодження протитеплого костюму.

Теплозахисний пристрій експлуатується таким чином. Рятівник одягає теплозахисний костюм 1 безпосередньо перед проведенням рятувальної роботи. Перед заходом в зону підвищеного теплового випромінювання і температури повітря, він підключає гнучкий шланг за допомогою швидко рознімного з'єднання до вставки 4, віддає команду на подання води в рукавну лінію 6 і з виходом на оперативну позицію відкриває кран-регулятор, заповнює трубки 3 пінотворним розчином з рукавної лінії 6. Потім залежно від виконуваних робіт подає піну за допомогою пожежного ствола 5 на гасіння пожежі, захист технологічного устаткування або виконує його відключення. Холодоагент поступає у піногенератори 2 по трубкам 3 забезпечуючи охолодження протитеплового костюма рятувальника. Після проходження по трубкам 3, холодоагент поступає до піногенераторів 2, де холодоагент, а саме пінотворний розчин перетворюється у піну, яка стікає до полу по оболонці костюму 1 у вигляді пінного потоку, накопичується, створюючи конусоподібний захищаючий від тепла бар'єр. Потік зовнішнього тепла нейтралізується захисним бар'єром, частина води внаслідок синерезису стікає з поверхні конусу на землю уносячи теплоту, інша частина випаровується та виноситься повітряними потоками. Таким чином, наявність захисного бар'єру не дає можливості зовнішній оболонці нагріватись до температури вищої ніж температура холодоагенту (пінотворного розчину) в трубках тобто не вище $10...25^{\circ}\text{C}$, що значно нижче від температури термодеструкції існуючих матеріалів для виготовлення оболонок протитеплових костюмів. Бар'єр захищає оболонку костюму від іскор, голешок та крапель палаючих рідких речовин охолоджуючи їх та утворюючи навколо їх не підтримуюче горіння флегматизоване водяною парою середовище.

Враховуючи те, що температура холодоагенту складає $10...25^{\circ}\text{C}$, бар'єр захищає тіло нижче рівня плечей, при цьому він поглинає значну частину внутрішньої теплоти що генерує організм рятувальника. Інтенсивно охолоджувати за допомогою трубок з холодоносієм слід не захищені бар'єром голову та руки рятувальника. Отже, приймаючи це до уваги можна зменшити кількість трубок з холодоагентом в області тулуба та ніг, і суттєво зменшити вагу протитеплового костюму.

Експериментальна частина. Було проведено випробування зразка (рис.2) теплозахисного костюма з пінним охолоджуючим пристроєм. Теплове випромінювання від факела горіння висотою 3 м і шириною 1,5 м становило 18 кВт/м^2 , що відповідає температурі нагріву оболонки костюму до 400°C на відстані близько 3 м. Відстань від високотемпературного джерела до випробувача дорівнювала 4,5 м. Час впливу теплового навантаження обмежувалося 30 хв. Витрату пінотворного розчину на вході в систему охолодження варіювали у межах $0.005...0.01 \text{ м}^3/\text{мін}$. Температура пінотворного розчину становила 10, 15, 20, 25°C . Кратність піни складала $k=15$, стійкість піни до $s=240...270 \text{ с}$. Як критерій захисної здатності пристрою була обрана температура поверхні оболонки костюма. Температура термодеструкції

матеріалу, з якого виконано оболонку, складає 370°C , якщо температура поверхні оболонки досягає цієї відмітки настає руйнування тканини. Температуру поверхні костюму вимірювали безконтактним способом пірометром відразу після тимчасового припинення подавання води до піногенераторів, цілісність зовнішньої оболонки визначалася візуально.



Рисунок 2 - Макетний зразок пінного охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму

Крім того фіксували температуру поверхні внутрішньої оболонки костюму. Якщо ця температура не перевищує 50°C , то костюм виконує свої функції. Температуру підкостюмного простору вимірювали за допомогою електротермометра медичного ТПЕМ-1 (з датчиками). Результати експерименту зведені в таблицю 1.

Результати експерименту показали, що цілісність зовнішньої оболонки протитеплого костюму при таких параметрах надійно забезпечувалась. Ефект охолодження підкостюмного простору, зберігається при подаванні з піногенераторів пінотворного розчину температурою $10...25^{\circ}\text{C}$ витратою не менш $0.005...0.01 \text{ м}^3/\text{мін}$.

Висновки. Запропоновано пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму рятувальників, що призначений для використання в умовах інтенсивної дії теплового випромінювання під час ліквідації пожеж.

Було виготовлено макетний зразок пінного охолоджуючого пристрою, проведено його випробування. Результати експерименту показали, що цілісність зовнішньої оболонки теплозахисного костюму під час використання пінного пристрою надійно забезпечувалась в умовах теплового випромінювання, а температура підкостюмного простору залишалася безпечною для рятувальника.

Таблиця 1 - Залежність температури підкостюмного простору від витрати піноутворюючого розчину і температури холодоагенту

№	Витрата піноутворюючого розчину, m^3/min	Температура холодоагенту, $^{\circ}C$	Температура у підкостюмному просторі, $^{\circ}C$
1	0,005	10	40
2	0,007	10	36
3	0,009	10	30
4	0,1	10	28
5	0,005	15	42
6	0,007	15	38
7	0,009	15	33
8	0,1	15	31
9	0,005	20	43
10	0,007	20	40
11	0,009	20	33
12	0,1	20	32
13	0,005	25	44
14	0,007	25	35
15	0,009	25	35
16	0,1	25	35

Використання запропонованого пінного охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму забезпечує збереження цілісності зовнішнього шару теплозахисного костюма рятувальника при тривалій дії високих температур, наявності іскор, головешок, бризок палаючого рідкого пального, з одночасним забезпеченням у підкостюмному просторі комфортних умов роботи рятувальника.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Костенко, Т.В. Повышение безопасности и тактических возможностей спасателей при ликвидации пожаров с высоким тепловыделением / Т.В. Костенко // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. Вип. 33. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2016. с. 198 – 205.
2. A. Dąbrowska, M. Młynarczyk, G. Bartkowiak, A. Sobolewski, A. Marszałek, J. Bugajska, K. Łęzak, K. Makowski, S. Krzemińska.: Protective clothing and underwear with ventilation system for mine rescuers: a case study, Innovations in protective and e-textiles in balance with comfort and ecology, Monograph, Ed. by Iwona Frydrych, Grażyna Bartkowiak & Maria Pawłowa, Łódź (2017), pp.25-35.
3. Многократное применение охлаждающих элементов противотепловой одежды / Положий В.О., Марийчук И.Ф., Попазова О.В., Гаврилко А.А. // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2012. – Вып. 49. – С. 165-172.

4. Костенко, В.К. Теплозахисний костюм рятувальника з системою водяного охолодження / В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова, Т.В. Костенко // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – Київ: УкрНДІЦЗ, 2016. - №20. – С.38-43.

5. Пат. 114109 UA Україна, МПК (2016.01) A62B17/00, A41D13/002 (2006.01). Пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму / В.К. Костенко, Т.В. Костенко, В.М. Покалюк, А.О. Майборода, О.М. Нуянзін, А.А. Нестеренко – № u2016 09854; заявл. 26.09.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл. №4. – 4 с. : ил.

REFERENCES

1. Kostenko, T.V. (2016), «Increased safety and tactical abilities of rescuers in liquidation of fires with high heat release», , *Reporter of the Priazovskyi state technical university*, no. 33, pp. 198-205.

2. Dąbrowska A., Młynarczyk M., Bartkowiak G., Sobolewski A., Marszałek A., Bugajska J., Łęzak K., Makowski K. and Krzemińska S. (2017), «Protective clothing and underwear with ventilation system for mine rescuers: a case study», *Innovations in protective and e-textiles in balance with comfort and ecology, Monograph, Ed. by Iwona Frydrych, Grażyna Bartkowiak & Maria Pawłowa, Łódź*, pp.25-35.

3. Polozhiy V.O., Mariychuk I.F., Popazova O.V. and Gavrillo A.A. (2012), «Multiple use of cooling elements of anti-thermal clothing», *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. NIIGD «Respirator»* [Mine Rescue: a collection of scientific papers NIIGD “Respirator”], no.49, pp.165-172.

4. Kostenko V.K., Zav'yalova O.L. and Kostenko T.V. (2016), «Heat protection suit lifeguard with water cooling system», *Naukovyy visnyk: Tsyvilnyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka. – Kyiv: UkrNDITSZ* [Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety], no. 20, pp.38-43.

5. Kostenko V.K., Kostenko T.V. , Pokalyuk V.M., Mayboroda A.O., Nuyanzin O.M. and Nesterenko A.A., (2017), *Pinnyy okholodzhuuyuchy prystriy teplozakhysnoho kostyumu* [Foam cooling device for a heat-protective suit], Kyiv, UA, Pat. № 114109.

Про автора

Костенко Тетяна Вікторівна, кандидат технічних наук, докторант кафедри охорони праці, Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна, tatiana.kostenko@gmail.com

About the author

Kostenko Tetiana Viktorivna, Candidate of Technical Science (Ph.D.), Doctorant in the Department of Labor Protection, Donetsk National Technical University, Pokrovs'k, Ukraine, tatiana.kostenko@gmail.com

Аннотация. В статье предложена конструкция пенного устройства, предназначенного для охлаждения поверхности теплозащитного костюма пожарных и горноспасателей для применения при ликвидации пожаров в условиях интенсивного теплового излучения. Использование пенного охлаждающего устройства теплозащитного костюма обеспечивает сохранение целостности внешнего слоя теплозащитного костюма спасателя при длительном воздействии высоких температур, наличии искр, головешек, брызг горящего жидкого топлива с одновременным обеспечением в подкостюмном пространстве комфортных условий работы спасателя.

Ключевые слова: теплозащитная одежда, тепловое излучение, пенное устройство, температура термодеструкции.

Annotation. In the article, the author proposes design of foam device assigned for cooling surface of the heat-protective suit for firefighters and mine rescuers during fire extinguishing in conditions of intense heat radiation. Using of foam cooling device in the heat-protective suit ensures integrity of the outer layer of the rescuer's suit at long-term exposure to high temperatures, presence of sparks, glazes, splashes of burning liquid fuel and, at the same time, provides for rescuers comfortable working conditions under the suit.

Keywords: heat-protective clothing, thermal radiation, foam device, temperature of thermal destruction temperature.

Статья поступила в редакцию 20.11.2017

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Т.В. Бунько