

УДК: 614.841.332

DOI: 10.15587/1729-4061.2017.109484

Досліджено проблему захисту рятувальників від теплового ураження на початковому етапі ліквідації пожежі, коли немає повної інформації про пожежну небезпеку об'єкта й не задіяні протитеплові засоби. Обґрунтовано конструктивні підходи до розроблення автоматичного автономного теплозахисного пристрою для захисту рятувальників від теплового ураження. Випробувано макетний зразок пристрою, який продемонстрував ефективність охолодження організму рятувальника

Ключові слова: автоматичний автономний теплозахисний пристрій, захисний одяг пожежника, охолодження тіла пожежника

Рассмотрена проблема защиты спасателей от теплового поражения на начальном этапе ликвидации пожара, когда нет полной информации о пожарной опасности объекта и не задействованы противотепловые средства. Обоснованы конструктивные подходы к разработке автоматического автономного теплозащитного устройства для защиты спасателей от теплового поражения. Испытан макетный образец устройства, который продемонстрировал эффективность охлаждения организма спасателя

Ключевые слова: автоматическое автономное теплозащитное устройство, защитная одежда пожарного, охлаждение тела пожарного

АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПРОТИТЕПОВОГО ЗАХИСТУ РЯТУВАЛЬНИКІВ У ПОЧАТКОВИЙ ПЕРІОД ЛІКВІДАЦІЇ ПОЖЕЖІ

В. К. Костенко

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри

Кафедра природоохоронної діяльності

Донецький національний технічний університет МОН України

пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Україна, 85300

E-mail: vk.kostenko@gmail.com

Т. В. Костенко

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: tatiana.kostenko@gmail.com

О. М. Землянський

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: Omzem1@gmail.com

А. О. Майборода

Кандидат педагогічних наук, доцент*

E-mail: mayboroda101@gmail.com

С. В. Куценко

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри*

E-mail: kutsenkos@ukr.net

*Кафедра автоматичних систем безпеки та електроустановок

Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

Національного університету цивільного захисту України

вул. Онопрієнко, 8, м. Черкаси, Україна, 18034

1. Вступ

Протягом останніх років прослідковується тенденція до збільшення щорічної кількості пожеж на території України [1]. Попри це кількість людей травмованих під час пожеж скоротилася майже вдвічі, хоч число загиблих залишається стабільно високим і перевищує цей показник у розвинених країнах [2].

Особливістю діяльності рятувальних підрозділів є те, що всі виконувані роботи пов'язані з небезпекою травмування та ризиком для життя. Основними видами негативних чинників ураження є: вибухи й обвали, обмежена видимість або повна її відсутність, екстремальні температурні умови, вологість повітря, загроза отримання електротравм, хімічного ураження тощо.

Для захисту пожежників-рятувальників створюють та вдосконалюють пристрої захисту від різних небезпечних чинників із метою запобігання травмизму чи мінімізації його наслідків. Особливу увагу

проділено розробленню засобів захисту від дії високих температур [3–7].

На сьогодні засоби захисту рятувальників від дії екстремальних температур на початковому етапі ліквідації пожежі не використовують через значну вагу й габарити. Такі засоби захисту сковують рухи рятувальників та уповільнюють виконання екстрених робіт. Крім того, передчасне використання додаткової амуніції збільшить час до початку пожежогасіння. У цій ситуації рятувальники працюють лише у спеціальному одязі загального призначення, що не має суттєвих теплозахисних властивостей і не захищає від екстремальних температур та випромінювання. Такий підхід до використання спеціального одягу існує в усіх відомих авторам закордонних службах надзвичайних ситуацій.

Крім того, відсутність інформації про межі зон ураження, що визначає небезпеку раптової зміни обстановки та ризик неадекватної реакції людини на це. Водночас, індивідуальні засоби захисту від тепла

застосовують після виявлення зон теплового враження. Актуальність наукового пошуку зумовлена необхідністю розв'язання проблеми захисту рятувальників від теплового ураження на початковому етапі ліквідації пожежі. Потребують обґрунтування конструктивні підходи до розроблення автоматичного автономного пристрою для захисту рятувальників від теплового ураження.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Для оцінювання стану виробничого травматизму в підрозділах Державної служби з надзвичайних ситуацій України (ДСНС України) проаналізовано результати розслідування нещасних випадків за 2005–2016 рр.

Загалом за 12 років на території України під час проведення оперативних дій із ліквідації надзвичайних ситуацій сталося 877 нещасних випадків, під час яких було травмовано 1034 рятувальники (рис. 1, 2).

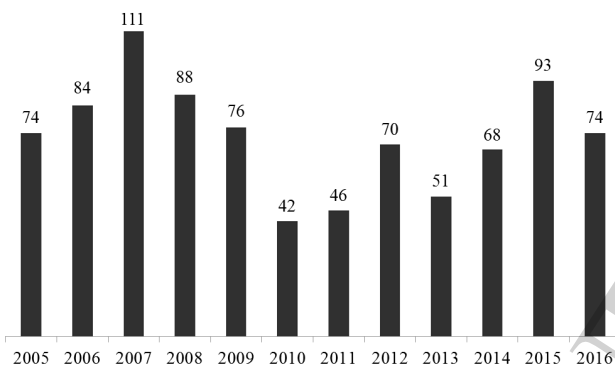


Рис. 1. Динаміка нещасних випадків серед особового складу ДСНС України

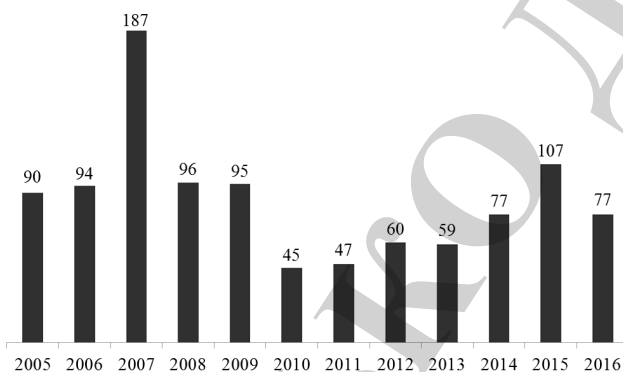


Рис. 2. Чисельність постраждалих рятувальників під час виконання службових обов'язків

За 12 років смертельно травмовано близько 7 % від загальної кількості потерпілих, що проілюстровано на рис. 3.

Аналіз причини травматизму рятувальників показав, що найбільша кількість осіб – 464 отримала механічні травми різного характеру (переломи, рани, удари, вивихи тощо). Теплові травми, а саме опіки, термічні удари, гіпертермію та гіпотермію отримало 79 осіб. Хімічні опіки й отруєння отримало 55 осіб. Від небезпечної дії електричного струму травмувалися 11 рятувальників (рис. 4).

За даними, що були отримані від ДСНС України, упродовж трьох останніх років травмовано 16 осіб, які

брали участь в антитерористичній операції на Сході України. Через ДТП, хвороби (ішемічну хворобу серця, набряк легенів, гостру коронарну недостатність), укуси комах, тварин тощо постраждало 45 рятувальників.

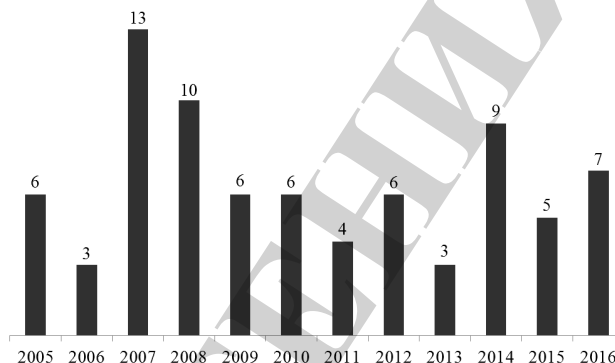


Рис. 3. Кількість рятувальників, смертельно травмованих під час виконання службових обов'язків

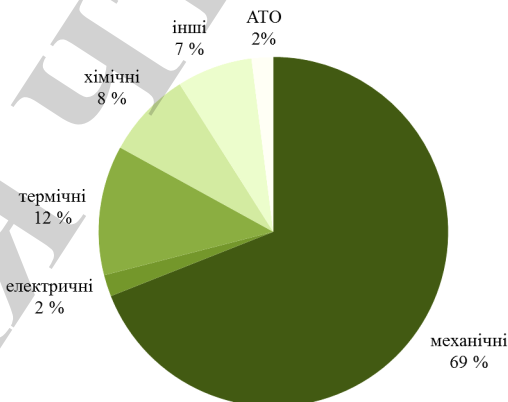


Рис. 4. Види травм рятувальників за період 2005–2016 рр.

Згідно з даними результатів розслідування нещасних випадків у ДСНС України, найбільше осіб загинуло (рис. 5) від механічних травм (14), а також унаслідок раптового погіршення стану здоров'я (15 осіб). Через термічні, електричні та хімічні ураження загинуло відповідно 5, 2 та 1 особа. Під час виконання службових обов'язків у зоні антитерористичної операції не загинув жоден рятувальник.

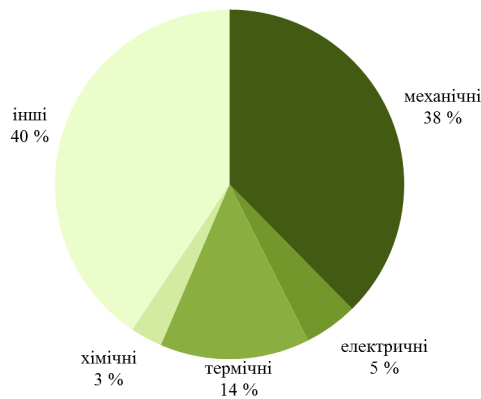


Рис. 5. Смертельний травматизм рятувальників упродовж 2005–2016 рр.

Велика кількість механічних та електричних травм зумовлена тим, що оперативно-рятувальні дії часто проводяться в умовах поганої видимості, високої темпе-

ратури й вологості повітря, у середовищі, непридатному для дихання. Причиною, що призводить до теплових уражень рятувальників на початковій стадії та їх ускладнень, є недостатня захисна дія спеціального захисного одягу загального призначення, яким оснащені рятувальні підрозділи. Під час розвідки пожежі, евакуації людей або в процесі виконання невідкладних дій із локалізації надзвичайної ситуації можливі різкі зміни теплової обстановки. Неадекватна або несвоєчасна реакція рятувальника на такі зміни підвищує ризик отримання теплового ураження.

Результати розслідувань нещасних випадків засвідчують, що близько 12 % рятувальників під час ліквідації аварій і пожеж отримали травми внаслідок впливу відкритого полум'я або інтенсивного теплового потоку. Прикладом такого розвитку подій є пожежа, що виникла 8 червня 2015 року на території нафтобази ТОВ «БРСМ-Нафта» в смт. Глеваха Васильківського району Київської області. Через теплове випромінювання та конвекційні потоки від палаючого палива в ході гасіння пожежі постраждало 20 осіб, із них 3 рятувальники – зі смертельними наслідками. Тому вдосконалення способів і засобів захисту особового складу рятувальних підрозділів від негативної дії тепла є актуальним завданням, розв'язання якого забезпечить підвищення ефективності роботи й безпеки рятувальників під час гасіння пожежі.

Професійна діяльність особового складу підрозділів ДСНС України передбачає роботу на об'єктах різного призначення, тривале перебування в зонах дії високих температур, у задимленому й загазованому середовищі. Для таких видів екстремальної діяльності характерні ризики теплових травм і професійних захворювань, тому проблема забезпечення безпечних умов роботи та запобігання травматизму особового складу рятувальних підрозділів особливо важлива.

Згідно з вимогами правил безпеки роботи в органах і підрозділах ДСНС України, особовий склад не допускають до організації та ведення оперативних дій на пожежі без справного захисного одягу. Під час проведення оперативних дій у непридатному для дихання середовищі рятувальники повинні виконувати роботи в засобах індивідуального захисту організму.

Процес ліквідації надзвичайної ситуації умовно можна поділити на два етапи. Перший етап протікає від моменту прибуття підрозділів до аварійного об'єкта й полягає в проведенні розвідки місцевості та джерела небезпеки, виявленні меж зони ураження небезпечними чинниками надзвичайної ситуації. Паралельно проводять роботи з пошуку та евакуації людей, яких настигла аварія. Відповідно до плану першочергових дій виконують невідкладні роботи з локалізації лиха.

На першому етапі розробляють план оперативних дій, який реалізують на другому етапі. Другий етап охоплює безпосередню ліквідацію джерела надзвичайної ситуації за допомогою використання відповідних способів та засобів.

Найменш захищеними є рятувальники, які проводять оперативні дії з розвідки аварійних об'єктів, порятунку й евакуації постраждалих людей, проводять невідкладні першочергові дії щодо локалізації надзвичайних ситуацій. Для цього періоду ведення робіт характерний дефіцит інформації про зони ураження, теплові поля, зони задимлення й загазованості

токсичними та отруйними речовинами. Водночас на цьому етапі зазвичай не розгорнуті засоби водяного, порошкового й пінного гасіння пожежі, а також не застосовують газодимозахисну апаратуру. Додатковою проблемою є дефіцит часу для реагування рятувальника на неочікувану зміну обстановки. Відомо, що організмові потрібно 15–20 с, щоб відповісти на раптову зміну ситуації. На пожежах з можливим стрімким підвищенням температури теплових потоків (до 1000 °C/с і більше) необхідно застосувати додаткові засоби захисту, які працюють незалежно від реакції людини. Тому, з метою попередження травматизму, важливо використати швидкодіючі автоматичні засоби індивідуального захисту від теплового ураження.

Дослідження у напрямі удосконалення спеціального одягу пожежних та засобів захисту від дії тепла активно провадять у цілому світі. Увагу приділяють питанню обґрунтування раціональних термоізоляційних характеристик шарів матеріалу з якого виготовляють амуніцію рятувальника. При цьому захисний одяг або його фрагменти піддавали як конвекційному, так і променистому термостійкому тестуванню [8]. Встановлено, що конструктивні особливості та властивості тканини є ключовими факторами, що впливають на її теплозахисні властивості. Наявність більш товстого теплового вкладиша в багатошаровій тканинній системі призводить до підвищення теплопровідності. Багатошарова тканинна система, що містить бар'єр вологи в зовнішньому шарі, показала найменшу провідність. Більш того, було продемонстровано, що вага, товщина і тепловий опір роблять значний вплив на робочі характеристики одягу [9]. Варіювали порядком та підбирали параметри шарів теплоізолюючих матеріалів в конструкціях захисного одягу з метою мінімізації теплової навантаги на пожежника. Для вимірювання ізоляційних властивостей, опору випаровуванню і загальних втрат тепла крізь оболонку при різних комбінаціях захисних шарів використовують манекени за допомогою яких моделюють пітливість людини [10].

Для оцінки впливу вологи на теплозахисні властивості багатошарових тканинних систем захисного одягу пожежного змодельовані різні умови вологості для зовнішньої оболонки. Для цього застосовували тестер зі змінною теплозахисною характеристикою [11]. Індивідуальне моделювання теплового захисту при різних швидкостях вітру, що проводили на манекені в натуральну величину. Тепловий потік на поверхні манекена зменшувався зі збільшенням швидкості вітру. Зменшення випромінювальної здатності було запропоновано в якості захисних стратегій [12].

Розглядалася поведінка пожежно-технічного обладнання при впливі підвищених температур [13]. Запропоновано використовувати для охолодження пожежників омивання тіла спеціальним складом, однак його використання передбачається після проведення рятувальних дій [14].

В пожежно-рятувальних підрозділах світу широко використовуються електронні прилади безпеки особового складу. Фірма "VIKING Life-Saving Equipment" (Данія) виготовляє захисний одяг для пожежників-рятувальників, який забезпечується електронними пристроями для контролю температури [15] у підкостному просторі одягу і на його поверхні. Теплові чутливі елементи для показу результатів вимірюван-

ня підключені до LED-дисплеїв за допомогою струмопровідних шин, що вшиті між шарами тканин та матеріалів захисного одягу. Індикацію пристрою максимально спрощено і вона включає три світлодіодні індикатори, що мерехтінням або постійним світінням попереджають про значення критичних температур.

Німецька фірма DRÄGER є розробником та виготовляє прилад безпеки Bodyguard 1000 [16]. За допомогою цього приладу визначають стан нерухомості, а також знаходження пожежника-рятувальника у зоні із критичним значенням температури. У випадку тривоги пристрій подає звукові та світлові сигнали.

Фірмою VDI (Німеччина) створено текстильний матеріал, що проводить електричні сигнали, для виготовлення захисного одягу пожежників-рятувальників [17]. Одяг виготовлений з цього матеріалу містить мікродатчики та чутливі волокна, які реєструють частоту серцевих скорочень, температуру тіла рятувальника та наявність чадного газу в приміщеннях.

Таким чином, у всіх сучасних типах рятувального одягу, що захищає від підвищених теплових потоків, застосовують принцип пасивного теплового бар'єру. Тобто, використовуються матеріали із низьким коефіцієнтом теплопровідності, високою теплоємністю або забезпечується відведення тепла холодоносієм з обмеженим ресурсом [18]. Можливості захисної дії такого одягу досить обмежені. Засоби індивідуального захисту від теплового ураження мають відносно велику масу й значну товщину теплоізоляційних шарів одягу, що заважає діям, пов'язаним із переміщенням на значні дистанції, нахилами, рухами в обмеженому просторі тощо. Використовувати такі засоби доцільно за умови, якщо визначено межі зон теплового ураження, у яких необхідно виконувати невідкладні аварійні роботи.

Заслугує на увагу ідея примусового подавання холодоносія, що дає змогу значно посилити теплозахисний ресурс спорядження, яке забезпечує поліпшення тактичних можливостей підрозділів, а також підвищує ефективність гасіння пожежі [19, 20]. Для використання таких засобів обов'язковою є наявність розгорнутої системи водопостачання, що не реалізовано в початковий період надзвичайної ситуації. Крім того, існує ризик теплового ураження рятувальника, оскільки рішення про ввімкнення охолодження ухвалюється самостійно на основі індивідуальних відчуттів і може бути не своєчасним.

Узагальнюючи огляд інформаційних джерел можна стверджувати що відомі технічні та конструктивні рішення не дозволяють забезпечити в автоматичному режимі захист рятувальників на початковому етапі ліквідації пожежі. Тому проблема забезпечення захисту рятувальників від теплового ураження під час розвідки об'єкта, евакуації людей, виконання невідкладних першочергових робіт із локалізації аварії, є актуальною.

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є обґрунтування конструктивних підходів до розроблення автономного засобу індивідуального захисту рятувальників від теплового ураження на початковій стадії ліквідації аварії.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв'язання таких завдань:

- умотивувати доцільність застосування автоматичного автономного засобу захисту рятувальників від теплового ураження на початковій стадії ліквідації аварії;
- створити фізичну модель автоматичного автономного пристрою захисту рятувальників від теплового ураження та перевірити працездатність засобу;
- провести попередні випробування макетного зразка автоматичного автономного засобу захисту рятувальників від теплового ураження.

4. Дослідження конструктивних підходів до захисту рятувальників від теплового ураження на початковій стадії ліквідації аварії.

У початковий період робіт із ліквідації аварії немає потреби в довгостроковому захисті рятувальника від дії теплових чинників – випромінювання, розпечених предметів (кондукційний нагрів) або конвекційних потоків газів. Для досягнення поставленої мети рятувальникові необхідно мати мобільний запас холодоагенту, що вможливить короткочасний захист від теплового ураження. Це забезпечить виконання короткочасних дій щодо локалізації надзвичайної ситуації або дасть змогу безпечно покинути зону теплового ураження.

Засіб має спрацювати в автоматичному режимі, незалежно від суб'єктивних відчуттів людини.

Автори запропонували автоматичний автономний теплозахисний пристрій, конструктивна система якого включає гідравлічну й автоматичну частини та має такий вигляд (рис. 6). Гідравлічна частина містить резервуар, наповнений холодоагентом, що перебуває під тиском. До нього приєднані трубопроводи для подавання холодоагенту від резервуара до закріпленого на касці рятувальника розпилювача. Крім того, гідравлічна частина включає заслінку електромагнітного клапана, розташовану на горловині резервуара. У початковому стані заслінка перекриває трубопровід.

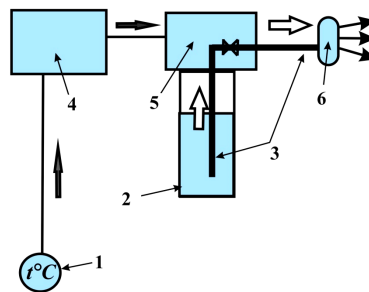


Рис. 6. Конструктивна схема автоматичного автономного теплозахисного пристрою: 1 – датчик температури; 2 – резервуар; 3 – трубопроводи; 4 – блок управління; 5 – електромагнітний клапан; 6 – розпилювач; темні стрілки – напрям подання електричних сигналів, світлі – холодоагенту

Автоматична частина пристрою складається з розміщеного в підкостюмному просторі блока управління з автономним елементом живлення, з'єднаного дротами з датчиком температури та привідною частиною електромагнітного клапана.

Автономний теплозахисний пристрій функціонує в декілька етапів. На початковому етапі аварійно-рятувальної операції провадять розвідку об'єкта, рятування й евакуацію постраждалих людей, а також виконують невідкладні дії щодо локалізації надзвичайної ситуації. Коли не розгорнуті системи водопостачання та відсутні інші джерела холодоагентів, рятувальники використовують захисний одяг загального призначення. Для захисту від теплового ураження пожежник одягає автономний автоматичний теплозахисний пристрій.

Після цього він приєднує до пояса або кладе в спеціальну сумку резервуар, наповнений автономним ресурсом холодоагенту (рис. 7). У резервуарі завчасно створено тиск повітря, що слугує джерелом виштовхування холодоагенту до трубопроводу.



Рис. 7. Оснащення рятувальника в захисному одязі автоматичним автономним теплозахисним пристроєм.

Вид спереду та ззаду: 1 – датчик температури; 2 – резервуар; 3 – трубопроводи; 4 – блок управління; 5 – електромагнітний клапан; 6 – розпилювач

Установлений на горловині резервуара електромагнітний клапан у початковому стані утримує трубопровід перекритим. Бажано забезпечити можливість екстреного від'єднання резервуара з клапаном у разі вичерпання холодоагенту для полегшення завантаження рятувальника. Блок управління розміщують у внутрішній кишені одягу, дроти від блока підключають до датчика температури та привідної частини електромагнітного клапана. Температурний датчик, налаштований на максимально допустиму для людського організму температуру (50 °С), закріплюють на грудях рятувальника в ділянці серця між тілом і внутрішнім шаром білизни. На касці закріплюють розпилювач-форсунку, яка гнучким трубопроводом з'єднана з клапаном. Може бути одна форсунка або декілька. Факел розпилення струменів спрямований на передню частину захисного одягу рятувальника для рівномірного її зрошення.

Під час виконання оперативних дій рятувальник потрапляє в зону екстремального теплового ураження, причому відбувається інтенсивне нагрівання поверхні бойового одягу та (унаслідок її теплопроникуваності) і тіла до температури 50 °С. Людина не здатна своєчасно й чітко оцінювати рівень температури в підкостюмно-

му просторі, це створює загрозу теплового ураження у вигляді перегріву організму або теплового удару, втрати свідомості тощо. Наявність датчика температури дає змогу підвищити точність оцінювання ступеня нагрівання тіла й зробити автоматичним процес приведення в дію охолоджувального пристрою. Після досягнення критичного рівня температури (50 °С) датчик видає електричний сигнал, який потрапляє до блока управління, де надходить команда клапанові відкрити заслінку в трубопроводі. Через відкритий трубопровід холодоагент із резервуара під впливом надлишкового тиску повітря потрапляє до розпилювача. Тривалість подавання холодоагенту регульована установками на блоці управління й передбачає 3–8 с, після закінчення встановленого часу й розпилення порції холодоагенту блок управління подає команду закрити клапан. Зрошення поверхні захисного одягу призводить до зниження температури тіла рятувальника за рахунок охолодження поверхні одягу холодоагентом, а також поглинання енергії під час випаровування холодоагенту. Короткочасне охолодження дає рятувальникові змогу безпечно покинути зону теплового ураження. За умови продовження проведення невідкладних дій в зоні теплового ураження автоматичний автономний теплозахисний пристрій забезпечує періодичне охолодження в імпульсному режимі до вичерпання ресурсу холодоагенту. Імпульсне подавання холодоагенту, яке починається за досягнення критичної температури в підкостюнному просторі й припиняється після охолодження до безпечного рівня, дає змогу економно його витратити, що збільшує термін захисної дії пристрою. Охолодження поверхні захисного одягу дозволяє зменшити термодеструкцію матеріалу і збільшити термін його експлуатації.

5. Результати досліджень моделі та макетного зразка автоматичного автономного теплозахисного пристрою

Для підтвердження доцільності створення автоматичного автономного теплозахисного пристрою було виготовлено й випробувано його модель. Як датчик використано термістор NTC 10k 1 % 3950 вологозахисний, що може вимірювати температуру в діапазоні від –20 до +105 °С. Датчик був з'єднаний із блоком управління, створеним на базі мікропроцесора AT MEGA 32 (виробник – корпорація Atmel Co, Гонконг).

В якості холодоагенту були три літри води кімнатної температури (близько 21 °С), залитої в металевий резервуар об'ємом п'ять літрів. У резервуар закачали повітря під тиском 0,02 МПа. На горловині резервуара був установлений електромагнітний клапан, здатний витримати максимальний тиск у системі 0,17 МПа.

Як аналог людського тіла використано пластикову циліндричну ємність об'ємом шість літрів, заповнену водою, нагрітою до 37 °С. Датчик температури, заздалегідь налаштований на спрацювання при нагріванні до 50 °С, був розміщений на поверхні ємності та накритий тканиною. Нагрівали модельну ємність за допомогою інфрачервоного обігрівача типу UFO Ecoline/30 (Туреччина), потужністю 2900–3200 Вт, розташованого на відстані близько одного метра від моделі. Контролювали температуру в ділянці розміщення датчика за допомогою термометра типу Mastech MS 6531a (Китай).

Вимірювали температуру з інтервалом п'ять секунд, а також за умови спрацьовування клапана, початку роботи або припинення розпилення води крізь форсунку на ємність. Подавання води крізь форсунку становило 0,1 л с⁻¹. Тривалість подавання води визначали налаштуванням блока управління, вона становила п'ять секунд. Результати вимірювань представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Динаміка температури поверхні ємності під час роботи автономного охолоджувального пристрою*

T, c	0	5	10	15	17	20	22	25	30	35
t, C	35	35	42	45	50	38	37	42	50	37

Примітка: * – курсивом позначений період нагрівання моделі, жирним шрифтом – нагрівання і зрошення водою; T – час від початку експерименту, c; t – температура поверхні ємності, °C

Пристрій вчасно реагував на зміну температури поверхні ємності та охолоджував її протягом п'яти секунд в автоматичному режимі. Автоматичний пристрій спрацьовував при нагріві поверхні ємності-аналогу до встановленого рівня $t=50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Подавання холодоагенту тривало протягом $T=5\text{ c}$ після спрацьовування пристрою, це забезпечувало охолодження поверхні ємності до рівня моделі тіла людини – $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отримані дані засвідчили дієвість запропонованого технічного рішення.

Урахувавши результати випробувань на базі елементів моделі, розробники створили й випробували в лабораторних умовах макетний зразок автоматичного автономного теплозахисного пристрою (рис. 8). Датчик для вимірювання температури в підкостюмному просторі налаштований з урахуванням інерційності підсистеми «одяг – тіло». Датчик розташований під поверхнею захисного одягу пожежника. Спрацювання відбувається під час нагрівання до температури $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Додатково температуру в підкостюмному просторі вимірювали за допомогою термомпари, а температуру зовнішньої поверхні захисного одягу в місці нагрівання – за допомогою безконтактного термометра типу MastechMS 6531A (Китай). Нагрівали за допомогою джерела відкритого полум'я (газовий паливник), що був розташований на відстані близько 0,3 м від поверхні бойового одягу. Вимірювання температури провадили з інтервалом 10 с. Подавання води крізь форсунку становило 0,1 л с⁻¹. Тривалість подавання води визначали налаштуванням блока управління, вона становила 5 с.

Вимірювання виконували на порожньому одязі, оскільки для залучення волонтерів потрібні спеціальні заходи безпеки. Всього було проведено 12 циклів випробувань протягом п'ятох діб. При цьому отримані ідентичні показники динаміки температури в підкостюмному просторі під час роботи автономного автоматичного теплозахисного пристрою. Оцінка похибки при попередньому випробуванні макетного зразка не передбачається.

Результати випробувань макетного зразка охолоджувального пристрою свідчать про ефективність його роботи щодо захисту рятувальника. Автоматичний режим роботи пристрою забезпечує надійне оцінювання теплової обстановки в підкостюмному просторі й захист від «людського чинника». Імпульсний режим

роботи пристрою забезпечує економну витрату холодоагенту й збільшення тривалості захисту рятувальника від теплового ураження. Температура ($t_{\text{вст}}$), за якої спрацьовував пристрій, становила $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Результати випробувань, а саме зміна температури під час нагрівання та спрацювання автоматичного пристрою в підкостюмному просторі, наведені на рис. 9.

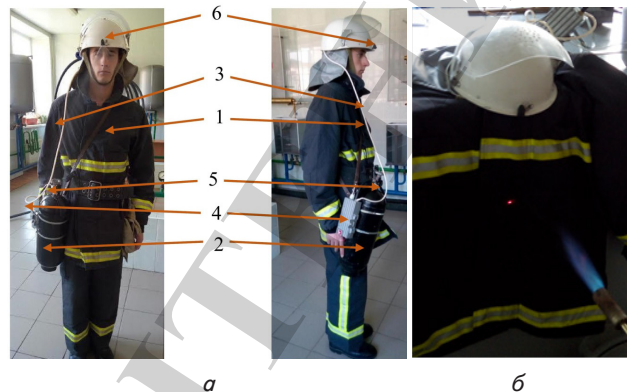


Рис. 8. Макетний зразок автоматичного автономного протитеплого пристрою: а – зовнішній вигляд рятувальника в захисному одязі; б – лабораторні вогневі випробування: 1 – датчик температури; 2 – резервуар; 3 – трубопроводи; 4 – блок управління; 5 – електромагнітний клапан; 6 – розпилювач

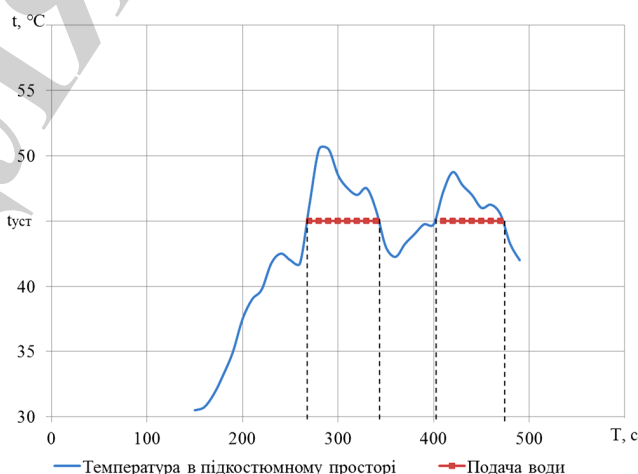


Рис. 9. Динаміка температури в підкостюмному просторі під час роботи автономного автоматичного теплозахисного пристрою

6. Обговорення результатів лабораторного дослідження макетного зразка автоматичного автономного пристрою протитеплого захисту

Отриманий результат випробувань свідчить про можливість здійснення захисту рятувальників від дії негативних чинників пожежі на початковому етапі ведення робіт по ліквідації надзвичайної ситуації. В цей період рятувальники визначають межі зон враження негативними факторами пожежі і наявність потерпілих, а також виконують роботи відповідно до плану першочергових дій з локалізації і ліквідації надзвичайної ситуації.

Такі роботи виконують в спеціальному захисному одязі загального призначення, який не забезпечує

захисту організму людини від інтенсивних теплових навантажень. Це можна пояснити необхідністю швидкого виконання розвідки, дефіцитом часу на підготовку до використання засобів індивідуального та колективного захисту від теплових чинників та відсутністю інформації щодо місць знаходження зон враження людського організму негативними чинниками пожежі.

В порівнянні з відомими засобами захисту від теплового враження, пристрій при експлуатації не потребує додаткових джерел енергії або матеріалів. Заправлення холодоагентом та заряджання акумулятору виконують завчасно в пожежній частині. Приведення пристрою до готовності здійснюється при одяганні рятувальника в спеціальний одяг загального призначення. Малий за вагою та габаритами автономний пристрій захисту від теплового впливу повинен входити до оснащення рятувальників разом з дихальною апаратурою. Важливим є автоматичний режим роботи пристрою, що дозволяє уникнути суб'єктивних оцінок стану оточуючого середовища.

Швидкість роботи пристрою перевищує реакцію свідомості рятувальника. Точність оцінки датчиком температури в підкостюмному просторі перевищує точність суб'єктивної оцінки її людиною. На відміну від існуючих засобів, запропонований пристрій самостійно оцінює стан зовнішнього середовища і дає сигнал на спрацювання гідравлічної системи зрощення. Більшість існуючих засобів захисту від тепла несуть сигнальну функцію, сповіщаючи про небезпеку. Частину засобів захисту доцільно застосовувати для ведення робіт лише в розвіданих зонах теплового враження [18]. Мобільність, малі вага і габарити запропонованого автоматичного автономного пристрою захисту рятувальників від теплового впливу дають значну перевагу перед існуючими конструкціями. Ця перевага проявляється не тільки під час використання в початковій стадії, а також і в інших стадіях ліквідації пожежі.

Запропонована конструктивна схема, а також результати випробування моделі й макетного зразка автоматичного автономного теплозахисного пристрою продемонстрували його працездатність й ефективність. Засіб спрацював при досягненні в підкостюмному просторі заданої температури $t_{уст}$. Протягом встановленого часу T видавав порцію холодоагенту, достатню для охолодження захисного одягу до безпечної температури в підкостюмному просторі.

Додатково встановлено, що за рахунок зрощення холодоагентом поверхні спеціального одягу не відбувається нагрів тканини, з якої він виготовлений, вище

температури термодеструкції волокон. Це дозволяє суттєво збільшити термін експлуатації спеціального захисного одягу загального призначення.

В підсумку можна стверджувати, що обґрунтовані конструктивні підходи до розроблення автономного засобу індивідуального захисту рятувальників від теплового ураження на початковій стадії ліквідації аварії.

У перспективі таку конструкцію можна довести до серійного виготовлення й оснастити нею підрозділи ДСНС. Для цього потрібне конструкторське й дизайнерське доопрацювання окремих вузлів і системи в цілому. Варто оптимізувати масу резервуара і його обсяг, зменшити вагу окремих елементів, опрацювати питання надійності й термостійкості трубопроводів, проводів тощо. Для дослідних зразків необхідно провести вогневі випробування на полігоні.

7. Висновки

1. Для запобігання теплових уражень пожежників умотивовано доцільність застосування автономного автоматичного засобу захисту від теплового ураження, що включає гідравлічну й електричну частини.

2. Для попередньої перевірки працездатності запропонованої схеми було створено модель автономного автоматичного пристрою. Проведені випробування засвідчили адекватність роботи пристрою заданим температурним і часовим параметрам. В автоматичному режимі забезпечено спрацювання пристрою при досягненні допустимої температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, імпульс подавання холодоагенту, що складав $0,1\text{ л с}^{-1}$ протягом 5 с – достатній для охолодження захисного покриття (аналогу одягу) до температури тіла. .

3. Створено макетний зразок автоматичного автономного теплозахисного пристрою для захисту рятувальників у початковий період ліквідації пожежі. Охолодження забезпечувалося шляхом імпульсного подавання холодоагенту через розприскувач на поверхню спеціального захисного одягу загального призначення. Проведені попередні випробування підтвердили можливість в автоматичному режимі запобігати нагріванню підкостюмного простору до температури не більше ніж $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Додатково встановлено, що зовнішнє зрощення спеціального одягу загального призначення пожежників відкриває можливість збільшити термін його експлуатації внаслідок протидії термодеструкції тканини, із якої він виготовлений.

Література

1. Аналіз масиву карток обліку пожеж (rog_stat) за 12 місяців 2016 року [Електронний ресурс]. – УкрНДІЦЗ ДСНС України, 2017. – 37 с. – Режим доступу: http://undicz.dns.gov.ua/files/2017/2/2/AD_12_2016.pdf
2. Brushlinsky, N. World Fire Statistics [Text] / N. Brushlinsky, M. Ahrens, S. Sokolov, P. Wagner // International Association of Fire and Rescue Services. Center of Fire Statistics. – 2017. – Issue 22. – P. 1–56. – Available at: http://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report22_world_fire_statistics_2017.pdf
3. Костенко, Т. В. Можливості захисту рятувальників від теплового впливу [Текст] / Т. В. Костенко // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2015. – Вип. 20. – С. 53–60.
4. Костенко, Т. В. Повышение безопасности и тактических возможностей спасателей при ликвидации пожаров с высоким тепловыделением [Текст] / Т. В. Костенко // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – Вип. 33. – С. 198–205.
5. Луценко, Ю. В. Теоретичне обґрунтування взаємозв'язків параметрів при проектуванні термозахисного одягу [Текст] / Ю. В. Луценко, О. Б. Васильєв, Є. А. Яровий // Проблеми пожежної безпеки. – 2013. – Вип. 34. – С. 120–125.

6. Луценко, Ю. В. Визначення раціонального розподілу теплозахисності для людей, що знаходяться в термозахисному спеціальному одязі в умовах високих температур [Текст] / Ю. В. Луценко, О. Б. Васильєв, Є. А. Яровий // Проблеми пожежної безпеки. – 2015. – Вип. 38. – С. 111–113.
7. Костенко, В. К. Обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення спеціального захисного одягу рятувальників від підвищеного теплового впливу [Текст] / В. К. Костенко, О. Л. Зав'ялова, Т. В. Костенко, Д. А. Журбінський // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2016. – Вип. 2. – С. 87–97.
8. Stull, J. O. Comparative Thermal Insulative Performance of Reinforced Knee Areas of Firefighter Protective Clothing [Text] / J. O. Stull // Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 21. – 2000. – P. 312-312-17. doi: 10.1520/stp14454s
9. Mandal, S. Characterizing thermal protective fabrics of firefighters clothing in hot surface contact [Text] / S. Mandal, G. Song // Journal of Industrial Textiles. – 2016. doi: 10.1177/1528083716667258
10. McQuerry, M. Evaluating turnout composite layering strategies for reducing thermal burden in structural firefighter protective clothing systems [Text] / M. McQuerry, E. DenHartog, R. Barker // Textile Research Journal. – 2016. – Vol. 87, Issue 10. – P. 1217–1225. doi: 10.1177/0040517516651101
11. Zhang, H. The effects of moisture on the thermal protective performance of firefighter protective clothing under medium intensity radiant exposure [Text] / H. Zhang, G. Song, H. Ren, J. Cao // Textile Research Journal. – 2017. – P. 004051751769062. doi: 10.1177/0040517517690620
12. Li, J. Personal thermal protection simulation under diverse wind speeds based on life-size manikin exposed to flash fire [Text] / J. Li, M. Tian // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 103. – P. 1381–1389. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.04.155
13. Horn, G. P. Evaluating Fire Service Escape Ropes at Elevated Temperatures and Fire Conditions [Text] / G. P. Horn, J. Chaussidon, M. Obstalecki, D. A. Martin, P. Kurath, R. G. Backstrom, S. Kerber // Fire Technology. – 2013. – Vol. 51, Issue 1. – P. 153–171. doi: 10.1007/s10694-013-0373-2
14. Walker, A. Cold-water immersion and iced-slush ingestion are effective at cooling firefighters following a simulated search and rescue task in a hot environment [Text] / A. Walker, M. Driller, M. Brearley, C. Argus, B. Rattray // Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. – 2014. – Vol. 39, Issue 10. – P. 1159–1166. doi: 10.1139/apnm-2014-0038
15. Viking life-saving equipment A/S [Electronic resource]. – Available at: <http://www.viking-life.com>
16. Dräger Bodyguard 1000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.draeger.com/ru_ru/Home
17. Olau, T. Sensoren in Textilien warnen die Feuerwehr [Text] / T. Olau // VDI-Nachr. – 2010. – Issue 50-52. – P. 15.
18. Костенко, В. К. Захист рятувальників від впливу тепла [Текст]: монографія / В. К. Костенко, В. М. Покалюк, А. О. Майборода та ін. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – 145 с.
19. Пат. № 109668 UA. Теплозахисний костюм. МПК А62 В17/00, А41D13/00 [Текст] / Костенко В. К., Зав'ялова О. Л., Зав'ялов Г. В., Костенко Т. В., Покалюк В. М. – № u2016 03119; заявл. 25.03.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл. № 16.
20. Пат. № 114109 UA. Охолоджуючий пристрій теплозахисних костюмів. МПК А62 В17/00, А41D 13/002 [Текст] / Костенко В. К., Костенко Т. В., Покалюк В. М., Майборода А. О., Нуязін О. М., Несстеренко А. А. – № u201609849; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.

ТОЛЬКО

