УДК 687.157.004

ТРЕТЯКОВА Л. Д., доктор техн. наук, професор
ІЛЬЧУК О. С., кандидат техн. наук
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

ПРОЕКТНІ ТА КОМПОЗИЦІЙНІ РІШЕННЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ ПОЖЕЖНИКІВ-РЯТУВАЛЬНИКІВ

Анотація. *У статті наведено результати вирішення актуального науково-технічного завдання з розробки захисного одягу для аварійно-рятувальних робіт у разі виникнення пожеж та вибухів. Досліджено професійну діяльність рятувальників, визначено перелік можливих небезпечних і шкідливих чинників і встановлено топографію їх впливу. Сформульовано вимоги до захисного одягу та пакету матеріалів для його виготовлення. На підставі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вибрано моделі захисного одягу та розроблено їхні конструктивно-технологічні рішення з різними рівнями захисту.*

Ключові слова: *аварійно-рятувальні роботи, рятувальник, захисний одяг, проектування.*

Abstract. *The article is devoted to the solution of the actual scientific and technical task on the development of protective clothing, designed for handling of the emergency-rescue works. Professional and qualification work of the rescuers was studied, the range of hazardous and harmful factors was developed and the topography of their influence was established, main requirements for the protective clothing and for the materials for its manufacture were formed. Based on the conducted theoretical and experimental researches, the assortment range of the protective clothing was formed, structural and technological solutions of the overalls with different levels of protection was carried out.*

Keywords: *emergency-rescue works, rescuers, protective clothing, design-projecting.*

Упродовж 2018 року в Україні зареєстровано 128 надзвичайних ситуацій, які відповідно до Національного класифікатора «Класифікатор надзвичайних ситуацій» ДК 019:2010 розподілили за характером виникнення і наслідками, у такий спосіб: техно-

генні – 48; природного характеру – 77; соціального характеру – 3. За масштабами надзвичайні ситуації, розподілили так: державного рівня – 2; регіонального рівня – 6; місцевого рівня – 64; об'єктового рівня – 56. 2018 року зафіксовано зростання на 12,5 % кількості надзвичайних ситуацій, які пов'язано з аваріями на транспорті, та на 10 %, які пов'язані з пожежами та вибухами.

У разі виникнення аварійної ситуації спеціально підготовлені та оснащені команди рятівників оперативно прибувають на місце та розпочинають пошукову та аварійно-рятувальну операції, спрямовані на локалізацію та ліквідацію аварії. Під час аварій рятівники виконують роботи в умовах підвищеної загазованості та запиленості, високого рівня теплового випромінювання, серед уламків металевих та будівельних конструкцій. Можливі контакти з нагрітими поверхнями, розливами паливо-мастильних матеріалів або води тощо. Локалізація та ліквідація аварій потребує негайного реагування та прийняття відповідних рішень. Проведення аварійно-рятувальних робіт супроводжується низкою небезпечних і шкідливих чинників та зумовлює потребу в ефективній організації системи захисту рятувальників, першочергово нових різновидів захисного одягу з покращеними показниками захисту, надійності та ергономічності.

Наявний на споживчому ринку аварійно-рятувальний захисний одяг українського виробництва не забезпечує належного захисту рятувальників від можливих видів небезпек і не повністю відповідає вимогам, особливо щодо ергономічності конструкції. Окрім того, він не завжди забезпечує захист від специфічних умов середовища під час пожеж і вибухів.

Метою роботи є розробка сучасного ефективного захисного одягу для аварійно-рятувальних робіт під час пожеж і вибухів з прогнозованими показниками надійності, ергономічності, естетичності.

Основним призначенням захисного одягу є надійний захист людини від несприятливих чинників і забезпечення працездатності та нормального функціонального стану організму [1].

Попередній аналіз ризиків виникнення аварій, які супроводжуються пожежею та вибухами показав, що засоби захисту рятівників повинні забезпечити три основні вимоги: захист від основного ризику; надійність під час багаторазового використання та тривалого зберігання; ергономічність та інформаційність. У захисному одязі для рятувальників важливим є поєднання максималь-

ного ступеня захисту з ергономічністю конструкції [2]. Проектування даного виду захисного одягу передбачає врахування специфіки виконання аварійно-рятувальних робіт в умовах кліматичних змін впродовж року, широкий спектр можливих шкідливих чинників та топографію їх впливу, тривалий період безперервного виконання робіт.

Індивідуальне спорядження рятувальника містить спеціальний захисний одяг, черевики, шолом з підшоломником, шкіряні рукавички, маску, дихальний апарат, респіратор або протигаз для захисту органів дихання [3]. Передумовою проектування захисного одягу для рятувальників є методологічний підхід до його інформаційного забезпечення, який базується на вивченні небезпечних і шкідливих чинників та топографії їх впливу, кліматичних умов робочого середовища, комплектності виробів, особливостей професійної діяльності. У разі виникнення аварійної ситуації рятувальники тривалий проміжок часу використовують весь комплект. Деякі вироби та їх комплектація використовуються під час чергування на робочих змінах.

Захисний одяг є основним складником комплекту рятувальника та виконує функцію останнього бар'єру між людиною та навколишнім агресивним середовищем. До захисного одягу рятувальників в нормативних документах висувають велику кількість вимог, деякі з яких є суперечливими. Одяг повинен відповідати комплексу розроблених жорстких і суперечливих вимог, зумовлених його функціональним призначенням.

Захисний одяг для рятувальників повинен бути: всесезонним; складатися з достатньої та необхідної кількості виробів комплекту, кожен з яких повинен мати ергономічне та естетичне конструктивно-технологічне рішення; забезпечувати комфортний мікроклімат у підодяговому просторі; не створювати ускладнень у виконанні службових обов'язків, не обмежувати рухів, робочих положень або чуттєвого сприйняття, не викликати рухів, які можуть становити небезпеку для інших рятувальників або сторонніх осіб; забезпечувати правильну посадку на тілі та залишатися в правильному положенні впродовж усього терміну використання незалежно від середовища, рухів та положення рятувальника; бути багаторазового використання, а саме: витримувати режими очищення, дезактивації та дегазації за потреби; ремонтопридатним з можливістю заміни окремих деталей; мати конструкцію, яка забезпечує швидке та правильне його одягання. Отже, захисний

одяг для рятувальників повинен мати регламентований термін використання та зберігання, постійно підлягати перевірці на придатність та ремонту або відмови від використання за необхідності.

Найголовнішою функцією одягу під час його проектування є захисна. Захисний одяг рятувальників треба виготовляти з матеріалів та мати конструкцію, за яких рідини або аерозолі стікатимуть з поверхні одягу та не проникатимуть в підодяговий простір. Тому всі зовнішні кишені повинні мати клапани. В умовах постійного спілкування та координації дій рятувальники використовують рації або інші прилади. Показники надійності забезпечують накладки в зонах стирання, проколів, порізів (ліктьові, колінні, плечові тощо). Для забезпечення адаптації одягу до фігури рятувальників використовують пати, хлястики, куліси, бретелі та ін. З метою запобігання зачеплення за рухомі механізми деталі одягу не повинні мати елементи, які не зафіксовані.

Аварійно-рятувальні роботи виконують з великим механічним навантаженням. Енерговитрати людини передусім залежать від інтенсивності м'язової роботи. Зі збільшенням важкості праці підвищується потреба в кисні та витраченої енергії. За важчої праці витрати енергії м'язами зростають на 95 %. Так, стосовно рятівників добові енерговитрати становлять 16,3−18 МДж [4]. Під час виконання фізичної праці в захисному комплекті (захисний одяг і протигаз) може суттєво змінюватися характер робочих рухів рятувальників. Так, у разі роботи в захисних костюмах, вага яких перевищує 3 кг, з недосконалими ергономічними конструкціями спостерігається зменшення активних рухів, що пов'язано зі скороченням і розслабленням м'язів (динамічне навантаження), та водночас з'являється збільшення механічного тиску і виникає м'язове статичне напруження, які найчастіше спостерігаються у м'язах ніг, спини та плечового поясу. Під час статичних навантажень суттєво порушується кровообіг у м'язах, що відчутно знижує можливість відновлювання їхнього енергетичного потенціалу. За великих зовнішніх теплових навантажень спочатку з'являється перегрів внутрішньої поверхні захисного одягу, а потім починає підвищуватися температура тіла рятівника. Математичну модель таких фізичних процесів подано у вигляді двох диференційних одновимірних рівнянь теплопровідності та дифузії з початковими умовами у вигляді:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial m_c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D\,\frac{\partial m_c}{\partial x} + D_T\,\frac{\partial T}{\partial x}\right), \qquad (2)$$

де c – масова питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг · К); t – час, с; ρ – об'ємна густина матеріалу, кг/м^3; T – температура матеріалу, К; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м К); $a_т = \lambda/(c\rho)$ – коефіцієнт температуропровідності, м^2/с; m_c – масова концентрація (маса компоненту в розрахунку на одиницю маси суміші, безрозмірна величина); D – коефіцієнт дифузії, м^2/с; D_T – коефіцієнт дифузії, який характеризує зміну дифузійного потоку між дифузією та теплопровідністю.

Вирішення рівнянь (1) і (2) дало можливість обчислити змінення температури в кожному шарі пакета захисного одягу [5]. За тривалих робіт з високим рівнем механічного навантаження перегріватися організм людини не повинен більше за 38,6°С, відповідно до розрахунків температура у підодяговому просторі захисного одягу не повинна перевищувати значення 45°С.

Автори пропонують моделі захисного одягу у вигляді куртки та штанів і комбінезонів. Куртка має закривати штани не менше ніж на 30 см відносно лінії початку штанів. Вироби повинні мати накладки в області колін та забезпечувати можливість їх одягання у захисному взутті. Кількість, форма та розміри накладок, кишень та інших елементів повинні бути обґрунтованими та узгоджені з вимогами замовника. Конструкція має прямий силует, що відповідає вимогам зручності під час одягання і знімання.

Під час розробки нового виду захисного одягу діапазон температур навколишнього середовища прийнято в межах – від мінус 20°С (під час роботи взимку) до 400°С у безпосередній близькості до місця аварії. Запропоновано принцип локального захисту з урахуванням специфіки впливу різних шкідливих виробничих чинників на окремі ділянки тіла рятувальника. Поверхню тіла людини розділено на зони з урахуванням найуразливіших органів і тканин та просторової орієнтації під час гасіння пожежі, що дало змогу обґрунтувати вимоги до зонального захисту організму. Результати аналізу показали, що найшвидше граничні температури в підкостюмному просторі (на рівні 50...55°С) піднімаються на ділянках голови, паху та грудей. На підставі результатів натурних випробувань і лабораторних досліджень виокремлено чотири зони тіла пожежника: голова, тулуб (спина, груди), ступні ніг та кисті рук, які потребують першочергового підвищеного рівня захисту.

Під час аварій часто спостерігається обмеження видимості через дим, пар або полум'я, тому обов'язковою умовою є наявність світловідбивних та флуоресцентних матеріалів шириною не менше ніж 0,02 м. Загальна площа поверхні світловідбивних матеріалів повинна бути не менш як 0,2 м^2, на рукавах – 0,12 м^2, на спині та в області грудей – не менш ніж 0,08 м^2. Сигнальні смуги на штанах та комбінезонах повинні розташовуватись по низу виробів з площею поверхні не менш як 0,05 м^2.

На одязі повинна бути не менше ніж одна кишеня для рації. Покрій рукава – вшивний для забезпечення високого рівня динамічності. Вентиляцію підодягового простору забезпечено за рахунок спеціальних отворів в зонах найбільших потовиділень. Захисний одяг має комір-стояк висотою 100 мм.

З метою зниження потовиділень для забезпечення нормального мікроклімату у підодяговому просторі захисний одяг повинен по можливості мати достатню вентиляцію. Комфортний мікроклімат підодягового простору в аварійно-рятувальному одязі забезпечують вентиляційні отвори, які розташовано у зонах найбільших потовиділень (підпахвових западинах, у крокових швах, у швах пришивання кокетки спинки). Найбільша вологовіддача відбувається у зоні підпахвових западин, тому найефективнішим є розміщення вентиляційних отворів саме в цій зоні. В рукавно-бічному шві розміщено вентиляційний отвори довжиною 20 см, які закриваються застібкою-«блискавкою» та суцільно кроєною обшивкою. Під час відкривання застібки-«блискавки» отвір закрито текстильною сіткою.

Особливістю роботи рятувальника є те, що на одягання повного комплекту спорядження відводиться не більш як 40 секунд, тому гостро постає питання швидкого та зручного одягання. Зазначимо, що одягання комбінезона доводиться виконувати не знімаючи взуття. Виявлено, що центральне розміщення застібки-«блискавки» є незручним та малоефективним, тому запропоновано новий вид застібки, яка містить дві симетрично розташовані застібки-«блискавки», які доходять до лінії стегон. Завдяки цьому комбінезон повністю розкривається і не обмежує рухів під час одягання. Для зручності одягання комбінезону у взутті збільшено ширину низу штанин та передбачено наявність пуфт у бічних швах штанів на застібці-«блискавці». Пуфти виконано з тканини сигнального помаранчевого кольору для візуального контролю закритості застібки.

Висновки. У статті наведено результати розробки захисного одягу для проведення аварійно-рятувальних робіт під час пожеж і

вибухів. Аналіз професійної діяльності рятувальників дав підстави визначити номенклатуру небезпечних і шкідливих чинників, топографію їх впливу на тіло людини. На підставі нормативних документів та умов виконання аварійно-рятувальних робіт сформульовано вимоги до захисного одягу та матеріалів до його виготовлення. Систематизовано різновиди конструктивно-декоративних рішень під час впровадження раціональних елементів у нові моделі захисного одягу, що дало можливість забезпечити належний ступінь захисту рятівника від визначених небезпек.

Література

1. Council Directive 89/686/EEC of 21 December 1989 on the approximation of the laws of the Member States relating to personal protective equipment (89/686/EEC), Strasburg, 1989.

2. ДСТУ 4366:2004. Одяг пожежника захисний. Загальні технічні вимоги та методи випробування. Вид. офіц., Київ: Держстандарт, 2004. 30 с.

3. Андрусяк З., Штайн Б., Кошеленко В., Болібрух Б. Шляхи забезпечення захисту особового складу пожежно-рятувальних підрозділів під час ліквідації надзвичайної ситуації з наявністю амоніаку. Пожежна безпека: збірник наукових праць. – 2010. – № 16. – С. 92–98.

4. Литвиненко Г., Третякова Л. Засоби захисту: виготовлення та застосування: навч. посібник. – Київ: Лібра, 2007. – 320 с.

5. Третякова Л. Д., Білан В. В. Експериментально-розрахункове дослідження теплового стану гірника // Уголь Украины. – 2011. – № 1 (649). – С. 41–45.

Інформація про авторів: Третякова Л.
E-mail: lt79@ukr.net; +38(0503)572-77-73.
Ільчук О.
E-mail: oksana_i@i.ua; +38(097)856-37-10.