

УДК [001.891.573:536.242]: [614.895.5:621.56-032.2]

В.К. КОСТЕНКО, (д-р техн. наук, проф.)

О.Л. ЗАВ'ЯЛОВА, (канд.техн. наук, доц.)

Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна

Т.В. КОСТЕНКО (канд. техн. наук, доц.)

Д.А. ЖУРБІНСЬКИЙ, (канд. техн. наук, доц.)

Черкаський інститут пожежної безпеки ім. героїв Чорнобиля НУЦЗ України, м. Черкаси, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗАХИСНОГО ОДЯГУ РЯТУВАЛЬНИКІВ ВІД ПІДВИЩЕНОГО ТЕПЛОВОГО ВПЛИВУ

В статті виконано аналіз вимог до матеріалів захисного одягу пожежників-рятувальників з урахуванням конструктивних особливостей спеціального одягу від підвищених теплових впливів. Матеріали повинні протистояти впливу високих і низьких температур, перепадів температур, видимого та ультрафіолетового випромінювання, хімічних факторів, механічної дії. Виявлено, що найкращими характеристиками володіють арамідні тканини і базальтові волокна. Для багатошарової конструкції спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів найкращими показниками володіють наступні поєднання матеріалів: для верхнього шару - арамідні тканини з алюмінієвим напиленням; для теплоізоляційного шару - базальтове волокно; для внутрішнього шару - прогумована тканина.

Ключові слова: температура, теплообмін, спеціальний захисний одяг рятувальників, механічні, вогнестійкі, теплостійкі і теплозахисні властивості матеріалів.

Постановка проблеми. Спеціальний захисний одяг рятувальників від підвищених теплових впливів, який використовується в підрозділах пожежно-рятувальної служби ДСНС, був розроблений в другій половині минулого століття на основі брезентових і парусинових тканин зі спеціальними обробками. Він не повною мірою захищає співробітників від небезпечних факторів пожежі. Питання захисту рятувальників від впливу теплового випромінювання та підвищених температурних дій при виконанні їх службових обов'язків (гасіння пожеж та ліквідація надзвичайних ситуацій) як і раніше залишається актуальним.

Оперативні співробітники ДСНС в ході ліквідації пожеж та надзвичайних ситуацій піддаються впливу безлічі самих різних небезпечних і шкідливих факторів, характерних також і для інших галузей промисловості – рухомі частини машин і механізмів, електричний струм, підвищена температура поверхонь обладнання, підвищені рівні шуму, шкідливі гази, рідкі хімічні речовини, недостатня освітленість робочої зони та ін. [1].

Разом з тим, найбільш імовірним чинниками, які впливають на рятувальника на пожежі є: полум'я та іскри; підвищена температура навколишнього середовища; токсичні продукти горіння і термічного розкладання; дим; знижена концентрація кисню [2].

Розслідування більшості нещасних випадків показують, що в 39 % випадків рятувальники при ліквідації аварій та пожеж на вибухопожежонебезпечних об'єктах отримували травми в результаті впливу відкритого полум'я або інтенсивного теплового потоку.

Яскравим прикладом такого розвитку подій служить пожежа, що виникла 8 червня 2015 на території нафтобази товариства з обмеженою відповідальністю в смт. Глеваха Васильківського району Київської області. У результаті впливу теплового випромінювання та конвективних потоків від палаючого палива в ході гасіння пожежі постраждало 20 осіб, з них 6 осіб зі смертельним результатом (4 людини загинули на місці, 2 - померли в лікарні) [3].

При розвитку таких сценаріїв спеціальний захисний одяг рятувальника повинен бути розроблений в першу чергу для ефективного захисту від підвищених температурних дій з використанням сучасних матеріалів.

Результати аналізу останніх досліджень та публікацій.

В узагальненому вигляді вимоги, що перед'являються до спеціального захисного одягу в залежності від його типу (БОП – бойовий одяг пожежників; СЗО ПТВ – спеціальний захисний

одяг від підвищеної теплової дії; СЗО ІТ - спеціальний захисний одяг ізолюючого типу), представлені в таблиці 1 [4].

Таблиця 1. Вимоги, що перед'являються до спеціального захисного одягу

Найменування показника	БОП	СЗО ПТВ легкого типу	СЗО ПТВ напів- важкого типу	СЗО ПТВ важкого типу	СЗО ІТ тип ІІ
1 Витривалість до дії теплового потоку:					
- 5,0 кВт/м ² , с, не менше	240	—	—	—	240
- 10,0 кВт/м ² , с, не менше	—	480	900	—	—
- 14,0 кВт/м ² , с, не менше	—	—	—	—	180
- 18,0 кВт/м ² , с, не менше	—	—	600	960	—
- 25,0 кВт/м ² , с, не менше	—	—	—	240	—
- 40,0 кВт/м ² , с, не менше	—	—	—	120	—
2 Витривалість до однократної дії відкритого полум'я, с, не менше	5	15	20	30	5

Міжнародний стандарт ISO 11612: 2008 «Одяг захисний. Одяг для захисту від тепла і полум'я»[5] визначає мінімальні експлуатаційні вимоги до матеріалів вогнезахисного спецодягу, методи лабораторних випробувань, а також вимоги до конструктивного виконання вогнезахисного спецодягу. Фактично, з введенням в дію даного стандарту споживач отримує можливість об'єктивної оцінки та порівняння експлуатаційних характеристик усіх світових зразків вогнезахисного спецодягу, без оглядки на стандарти, що застаріли і втратили актуальність.

Галузеві та корпоративні стандарти і технічні умови (ТУ) на спецодяг та ЗІЗ в багатьох галузях і компаніях часто не встигають за розвитком міжнародних, міждержавних та національних стандартів безпеки. Багато посилання в таких нормативних документах все ще кореспондують до стандартів СРСР, які часто суперечать один одному. В результаті, адекватні комплексні вимоги до матеріалів спеціального захисного одягу рятувальників від підвищених теплових впливів у деяких компаній просто відсутні. Вогнезахисними, наприклад, вважають тканини, які «після витримування в полум'ї протягом 20 - 30 с не горять і не тліють» (ГОСТ 11209-85), хоча, насправді, цей показник характеризує не вогнезахисні, а тільки негорючі властивості матеріалів. Вимоги по стійкості матеріалів до конвективного тепла і теплового випромінювання, які є основними вражаючими факторами при дії відкритого полум'я, часто просто відсутні.

Для захисту від термічних факторів (відкритого полум'я і підвищених теплових впливів) спецодяг повинен виконувати дві основні функції: не займатися і затримувати потужний тепловий потік.

Для виконання зазначених функцій матеріали вогнезахисного спецодягу повинні одночасно володіти:

- вогнестійкістю: не повинні підтримувати горіння на повітрі;
- теплостійкістю: не повинні розплавлятися, давати термічну усадку, руйнуватися;
- теплозахистом: повинні ефективно затримувати теплову енергію, що поширюється у вигляді теплопровідності, конвективного і променистого теплообміну.

Спеціальний захисний одяг рятувальника від підвищених теплових впливів - одяг, що виготовляється з використанням матеріалів з металізованими покриттями, призначений для захисту пожежника від підвищених теплових впливів (інтенсивного теплового випромінювання, навколишнього середовища з високою температурою, короткочасного контакту з відкритим полум'ям), механічних впливів та інших шкідливих факторів, що виникають при гасінні пожеж та проведенні аварійно-рятувальних робіт в безпосередній близькості до відкритого полум'я, а також від несприятливого кліматичного впливу [4].

Принципова схема побудови спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів представлена на рисунку 1. При цьому на малюнку відображено пасив-

ний тепловий захист, що забезпечується застосуванням пакету матеріалів з низькою теплопровідністю або високою теплоємністю без забезпечення теплоснімання холодоносіями з примусовою циркуляцією. В якості додаткового бар'єру в такій схемі виступає термобілизна з додатковим повітряним зазором між ним і основним пакетом матеріалів.

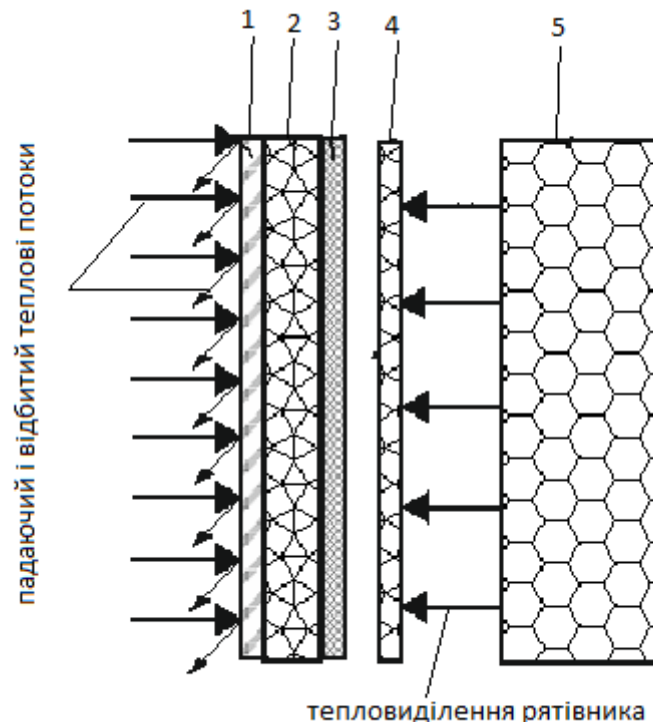


Рис.1. Конструктивні елементи спеціального захисного одягу рятувальників від підвищених теплових дій:

1 – матеріал верху; 2 – теплоізолююча прокладка; 3 – внутрішній шар; 4 – термобілизна; 5 – тіло рятувальника.

Ефективність захисного спецодягу на 70 % залежить від правильного вибору матеріалів, з яких він виготовлений. Розуміння взаємозв'язку умов праці з експлуатаційними вимогами до спеціального захисного одягу рятувальників від підвищених теплових впливів і знання самих матеріалів формують основу процесу прийняття рішення щодо вибору захисних матеріалів. Матеріали спеціального захисного одягу повинні вибиратися виходячи з адекватного рівня захисту, відповідного ризику. Таким чином, необхідне включення в керівні документи з питань організації пожежогасіння температурних параметрів, при яких просто бойовий одяг пожежного не є засобом захисту від теплового впливу.

Необґрунтоване підвищення захисту може бути не менш небезпечно, ніж недостатній захист. Воно призводить до теплового перенапруження, швидкої перевтоми, зниження рухливості і уваги, збільшення часу реакції.

Формулювання мети роботи і постановка завдань. Метою досліджень є оцінка сучасних матеріалів для використання їх при виготовленні конструктивних елементів спеціального захисного одягу рятувальників від підвищених теплових впливів.

Для досягнення поставленої мети необхідне рішення наступних завдань:

- з урахуванням конструктивних особливостей спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів виконати аналіз вимог до матеріалів, що використовуються для виготовлення кожного шару одягу;

- з асортименту сучасних термостійких матеріалів вибрати для кожного шару багатошарової конструкції матеріал з оптимальними характеристиками, що забезпечують необхідну ступінь захисту виробу в цілому.

Результати досліджень. Вогнестійкість матеріалів можна оцінювати за значенням кисневого індексу (KI), що позначає мінімальний об'ємний вміст кисню в навколишньому просторі, при якому можливе свічкоподібне горіння даного матеріалу. Текстильні матеріали з $KI > 21$ не схильні до підтримання стійкого горіння на повітрі. Волокна і тканини з кисневим індексом рівним 26-28 мають тенденцію до уповільнення горіння на повітрі і проходять елементарні тести на займання смужки тканини. Матеріали з $KI > 30$ мають високі вогнезахисні властивості. Значення KI для поширених текстильних волокон наведено в табл. 2. Щоб уникнути непорозумінь слід зазначити, що стосовно до текстильних матеріалів під «вогнестійкістю» не мається на увазі «вогнетривкість». Вогнетривкі матеріали абсолютно стійкі до впливу полум'я, практично не змінюють фізичних і хімічних характеристик і можуть витримувати вплив полум'я як зазвичай довго. Прикладом вогнетривких матеріалів можуть служити, азбест або цегла. Вогнестійкі матеріали не підтримують горіння на повітрі, але на відміну від вогнетривких матеріалів можуть зазнавати фізичні та хімічні зміни під дією полум'я і підвищених температур.

Здатність матеріалів витримувати підвищені температури, не змінюючи своїх фізичних характеристик, називається теплостійкістю. У термопластичних волокон фізичні зміни від нагрівання настають при так званих температурах склування (розм'якшення) T_g і плавлення T_m , а хімічні зміни мають місце при температурі піролізу T_p , коли настає термічна деструкція полімеру, за якою слідує загоряння при температурі T_c .

Чим нижче температури фізичних змін (склування T_g і плавлення T_m), тим гірша теплостійкість матеріалу. Для поширених текстильних волокон, таких, як поліпропілен, поліестер, нейлон (поліамід 6 і поліамід 6.6) відповідні низькі температури склування T_g і плавлення T_m означають низьку теплостійкість. Поглинаючи теплову енергію, такі матеріали будуть не тільки усаджуватися, і деформуватися, але і почнуть плавитися, руйнуючи текстильну структуру з трагічними наслідками для рятувальника [8]. При термічній усадці тканини з таких волокон - зникають підодяговий повітряні зазори (ефект термоусадки), що серйозно збільшує відсоток і ступінь тяжкості термічних опіків рятувальника. Для спеціального захисного одягу рятувальників від підвищених теплових впливів рекомендується вибирати нетермопластичні теплостійкі матеріали з високими температурами фазових переходів (фізичних змін), що не плавляться, а повільно карбонізують з мінімальною усадкою.

Основні температурні показники найбільш розповсюджених тканин наведені в табл. 2.

З таблиці видно, що під впливом високих температур арамід не плавляється, а починають повільно карбонізувати, вони не підтримують горіння на повітрі, тому що мають $KI > 29$.

Теплозахист текстильних матеріалів полягає в їх здатності сповільнювати потік теплової енергії від трьох видів теплопередачі - теплопровідності, теплового випромінювання, конвекції, а також від комбінації з двох і більше видів. Наприклад, полум'я формує конвективну реакційну зону, в якій теплову енергію переносять не тільки молекули розпеченого газу (конвективна теплопередача), але і тверді дисперговані частинки, включаючи дим (теплопровідність). Енергія променистого тепла (теплове випромінювання) передається без участі передавального середовища, за допомогою електромагнітних хвиль, що випускаються нагрітими поверхнями або полум'ям. Теплове випромінювання несе теплову енергію, головним чином, у видимій та інфрачервоній частині електромагнітного спектру. Це інфрачервоне випромінювання поглинається молекулярною структурою волокон і покриття поверхні тканини і може підвищувати її температуру до декількох сотень градусів Цельсія (зазвичай $> 300^{\circ}\text{C}$). Це вже само по собі досить для термічної деструкції (піролізу) і навіть загоряння більшості відомих полімерів (див. табл. 2). Як правило, саме променисте тепло стає причиною швидкого розповсюдження полум'я на навколишні предмети за допомогою їх дистанційного розігріву з подальшим займанням [6].

Нарешті, теплопровідність теж може прискорити термічне руйнування і займання текстильних матеріалів теплозахисного спецодягу та привести до термічних опіків рятувальника. Матеріали такого одягу повинні мати високий питомий тепловий опір. Існує безліч прикладів негорючих матеріалів з високим кисневим індексом, але вкрай низькими теплоізоляційними властивостями. Застосування таких матеріалів популярно в техніці, де розсіювання надлишкового тепла має певне значення (наприклад, гальмівні механізми або чохли літакових крісел), але неприпустимо в спеціальному захисному одязі рятувальників.

Таблиця 2. Температури піролізу та фазових переходів розповсюджених волокон

Волокно	$T_g, ^\circ\text{C}$ (склування)	$T_m, ^\circ\text{C}$ (плавління)	$T_p, ^\circ\text{C}$ (піроліз)	$T_c, ^\circ\text{C}$ (загоряння)	$T_f, ^\circ\text{C}^*$ (полум'я)	$KI, \%$ (кисн. індекс)
Шерсть	-	-	245	570-600	680-825	25
Бавовна	-	-	350	350	974	18,4
Віскоза	-	-	350	420	-	18,9
Нейлон 6	50	215	431	450	-	20-21,5
Нейлон 6.6	50	265	403	530	861	20-21,5
Поліестер	80-90	255	420-447	480	649-820	20-21
Акрил	100	>220	290	>250	910-1050	18,2
П-пропилен	20	165	470	550	-	18,6
Модакрил	<80	>240	273	690	-	29-30
ПВХ	<80	>180	>180	450	-	37-39
М-арамід	275	375	>425	>500	-	29-30
П-арамід	340	560	>590	>550	-	29
Kermel®	340	430	>450	>500	-	32

Для вибору матеріалів ефективного спеціального захисного одягу необхідно керуватися не окремо взятими експлуатаційними характеристиками того чи іншого волокна (тканини), а розглядати в комплексі вогнестійкі, теплостійкі і теплозахисні властивості.

Наприклад, деякі матеріали можуть бути негорючими, але при цьому плавитися при відносно невисоких температурах, погано відображати променисте тепло або мати високу теплопровідність. У результаті висока негорючість такого матеріалу буде малоефективною в захисті рятувальника від термічних опіків. Саме тому чергова «найбільш вогнестійка тканина на ринку» може бути зовсім непридатною для вогнезахисного спецодягу. У дійсності, одночасної вогнестійкості і теплостійкості володіє лише нечисленна група волокон з числа добре відомих фахівцям ароматичних поліарамідів, що перераховані в нижній частині табл. 2. Саме ці волокна найбільш підходять для тканини СЗО ПТВ.

Високомодульні пара-арамідні волокна широко відомі своїм застосуванням для виготовлення засобів балістичного захисту. Однак через неможливість їх фарбування пара-араміди в чистому вигляді не застосовується для виготовлення промислового спеціального захисного одягу. Для виготовлення ефективного і комфортного спеціального захисного одягу від підвищених температурних дій найбільш підходять мета-арамідні волокна або їх композиції з пара-арамидами.

Ці волокна не тільки вогнестійкі і теплостійкі, але і відрізняються від аналогів удвічі більшим питомим тепловим опором, тому забезпечують ефективний тепловий захист. Вони не підтримують горіння на повітрі. Арамідні волокна не плавляться і мають низьку термічну усадку. Високі вогнестійкі і термостійкі властивості арамідних волокон забезпечують максимальну їх стійкість від підвищених термічних впливів.

Виходячи з вимог нормативних документів матеріал верху - зовнішній шар пакету матеріалів і тканин, що використовуються для виготовлення спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів, повинен мати металізоване покриття з високим ступенем відбиття інфрачервоного випромінювання і забезпечувати захист від високих температур навколишнього середовища і відкритого полум'я [4, 5].

У зарубіжній практиці широке застосування одержало нанесення на матеріал верху алюмінієвої фольги, що дозволяє відображати до 96% падаючого теплового потоку. Однак, як показала практика застосування таких композицій, через невисоку механічну міцність фольги спецодяг перетворюється в одяг одноразового застосування.

Плівка, одержувана методом напилення алюмінієвого покриття на матеріал верху, дозволяє відображати до 90% падаючого теплового потоку, але при цьому володіє необхідною механічною міцністю.

В якості теплоізоляційної підкладки - шару, який входить до складу пакету матеріалів спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів, і призначений для захисту від конвективного тепла використовують матеріали, що мають низьку теплопровідність.

Теплопровідність матеріалу складається з трьох складових: теплопровідності твердої основи, теплопровідності повітряного середовища і вологості, що знаходиться в порожнинах матеріалу, і передачі тепла випромінюванням. Теплопровідність твердої основи, як основна складова загальної теплопровідності, залежить від геометрії й орієнтації волокон у просторі. При заданій щільності найбільш ефективним теплоізолятором є мінеральна вата з хаотично розташованими і безладно орієнтованими волокнами.

В даний час близько 60 відсотків всієї теплоізоляції, що застосовується, представлено волокнистими матеріалами - скляною, мінеральною та базальтовою ватою.

Базальтове волокно - це волокнистий матеріал, що одержують із силікатних розплавів гірських порід. Воно має природну формулу вулканічних порід. Вироблені з базальтового волокна вироби - це базальтохолст, базальтові мати, тканини, плити, картон.

У табл. 3 наведені «найкращі» показники температурних характеристик для скляного і мінерального волокон. Вони можуть істотно відрізнитися залежно від марки скла або складу шихти у мінеральному волокні. Базальтове волокно постійне за складом і, відповідно, за температурними характеристиками. Крім того, при оцінці температурних характеристик необхідно врахувати не тільки те, як волокно «тримає» температуру, але і як змінюється його міцність при різних температурах.

Дуже важливий показник, що впливає на довговічність ізоляції - вібростійкість. Саме висока вібростійкість базальтових волокон визначила їх історично першим областю застосування - аерокосмічний комплекс і суднобудування.

У теплоізолюючих матеріалах завжди присутня деяка кількість вологи у вигляді пари або рідини. Для нашого виробу це відноситься до процесу прання та догляду за ним після застосування. За певних умов пара може конденсуватися усередині матеріалу. Вода має кислотну реакцію. Як видно з рядка 11 скляні та мінеральні волокна поступаються по хімічній стійкості базальтовим в 2,5-3 рази для нормальних і лужних середовищ і 8-17 для кислотних. Водопоглинання базальтового волокна в 85 разів нижче, ніж скловолокна. Отже, руйнування скляних і мінеральних волокон протікає значно швидше, ніж базальтових.

Незаперечна перевага базальтового волокна в його довжині і тонкощі. У маті волокна сплутується і тримаються без сполучень. Для транспортування і додання базальтовому матеріалу «товарного вигляду» мати іноді прошивають ниткою або обшивають тканиною. У виробах з склової і мінерального волокна завжди використовують сполучні - для додання їм форми, захисту від вологи, підвищення механічних характеристик, підвищення біостійкості і т.п. (тобто для виправлення властивостей самих волокон). В якості сполучень в переважній більшості випадків використовуються фенольні смоли (від 1,5 до 10% по масі виробу). Всі виробники мінеральних і скляних теплозвукоізоляційних виробів на фенольній зв'язці мають відповідні гігієнічні сертифікати та дозволи. Разом з тим відкритим залишається питання про екологічність таких матеріалів (фенол визнаний канцерогеном), їх довговічності, а також продуктах розпаду і накопичення їх в підкостюмному просторі.

Таким чином, базальтові волокна отримані з розплаву власне базальту, а також деяких близьких до нього порід без будь-яких доповнень у вигляді синтетичних або мінеральних речовин. Отже, по сировині, що використовується, волокна можна розташувати за ступенем їх «ненатуральності» або, іншими словами, віддаленості від природних матеріалів в наступному порядку: скловолокно - по суті, результат хімічних технологій; шлаковата - теж саме; мінеральне волокно - фабрикується на основі природних матеріалів, але в суміші вони являють собою штучно створений мінерал; базальтове волокно - має природну формулу вулканічних порід. Вироби з базальтового волокна: базальтохолст, базальтові мати, тканини, плити, картон використовуються надалі без штучних сполучних матеріалів. Тисячолітнє перебування базальтових порід на поверхні планети обумовлює їх хімічну інертність. Таким чином, базальтові волокна мають незаперечну перевагу перед скло- мінеральними волокнами.

Внутрішній шар - шар, що входить до складу пакету матеріалів і тканин, призначений для забезпечення гігієнічних властивостей виробу. В якості внутрішнього шару застосовується

прогумована тканина. Цей матеріал дозволяє легко прибирати сліди забруднення і оберігає проникнення вологи виділяється рятувальником у теплоізоляційну підкладку одягу.

Таблиця 3. Порівняльні характеристики волокон

№	Параметр (характеристика)	Скло-волокно	Мінеральне волокно	Базальтове волокно
Механічні характеристики				
1	Щільність, кг/м ³	12-25	25-40	15-23
2	Діаметр елементарного волокна, мкм	4-12	4-10	1-3
3	Довжина волокон, мм	15-50	16	40-70
4	Модуль пружності, кгс/мм ²	до 7200	5400...8000	9100...11000
5	Коефіцієнт ущільнення при експлуатації	1,6	1,8	1,2
6	Залишкова міцність при розтягуванні (після термообробки при температурах), %:			
	20° С	100	100	100
	200° С	92	95	98
	400° С	52	60	85
	600° С	спікання	20	76
Температурні характеристики				
7	Діапазон температур використання, °С	-60...+250	-180...+450	-250...+700
8	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м°С	0,038..0,042	0,04...0,047	0,031..0,034
9	Температура спікання, °С	600	850	1100
Вібростійкість (втрата маси при дії вібрації) при різних температурах %, (v=50 Гц, A=1 мм, t=3 години)				
10	200°С	12	40	-
	450°С	41	75	0,01
	900°С	100	100	0,35
Хімічна стійкість (утрата маси), %				
11	в воді	6,2	4,5	1,6
	в лужному середовищі	6	6,1	2,75
	в кислотному середовищі	38,9	24	2,2
12	Водопоглинення за 24 години, %	1,7	0,95	0,02

Білизна термостійка - комплект білизни літнього або зимового із трикотажного полотна з застосуванням термостійких волокон, що використовується в комплекті зі спеціальним захисним спецодягом і призначений для додаткового теплового захисту рятувальника і вбирання потовиділення [4].

Білизна термостійка виготовляється з вогнетермостійкого трикотажного полотна арт. 77-059 ТК ІА з мета-арамідних волокон Nomex®. Випускається термостійка білизна зимою або літньою.

У комплект білизни входять фуфайка і кальсони. Фуфайка прямого силуету з бічними швами, втаченими довгими рукавами, манжетами по низу рукавів. Горловина оброблена обтачкою. Кальсони без бічних швів, з ластовицею, манжетами по низу. Верхній зріз зібраний еластичною тасьмою. Комплект зимової білизни може бути виготовлений на бавовняної або віскозної підкладці.

Основні експлуатаційні характеристики термостійкої білизни представлені в табл. 4.

При виборі матеріалів для спеціального захисного спецодягу необхідно звернути увагу на механічні характеристики запропонованих матеріалів, щоб з одного боку вони забезпечували захист рятувальника від механічних впливів і були зносостійкими і міцними, але з іншого боку не були позамежно міцними, що дозволяє без зусиль захопити і травмувати рятувальника рухомими машинами і механізмами. Незважаючи на високу механічну міцність, арамідні тканини виготовляються з пряжі однойменних волокон і від самого початку були розроблені для спецодягу, а не для бронежилетів або парашутів.

Таблиця 4. Характеристики термостійкої білизни

№ п/п	Найменування показника	Значення показника за НТД	
		літня	зимня
1	Поверхнева щільність, г/м ²	210±20	290±20
2	Розривне навантаження: по основі (довжині), Н, не менше	500	500
	по утку (ширині), Н, не менше	400	400
3	Стійкість до впливу температури навколишнього середовища до 300°C, сек, не менше	300	300
4	Стійкість до впливу відкритого полум'я, с, не менше	15	15
5	Усадка після намокання і висушування, %, не більше	2,5	2,5
6	Стійкість до впливу теплового потоку 5,0 кВт/м ² ,с, не менше	240	240
7	Вага білизни, кг, не більше	2,0	2,5

Зносостійкість тканини визначає термін служби спеціального захисного одягу. Тканина повинна витримувати високі механічні навантаження і відрізнятися високою стійкістю до стирання. Механічні характеристики арамідних тканин перевищують мінімальні вимоги всіх відомих стандартів безпеки та технічних регламентів навіть після 50 циклів промислового прання/сушіння при 75°, що гарантує довговічність захисного спеціального одягу.

За даними Національного інституту професійної техніки безпеки та охорони здоров'я (США), кількість нещасних випадків збільшується при підвищених оточуючих температурах. Одна з причин в зниженні концентрації уваги і працездатності. Спекта і фізичний дискомфорт провокують дратівливість, злість і інші емоційні стани, які іноді стають причиною того, що працівники забувають про техніку безпеки або не уважно виконують небезпечні види робіт. Робота в товстому, важкому і громіздкому спецодязі збільшує теплове та фізичне навантаження на користувача, що відбивається в підвищеному навантаженні на серцево-судинну систему. Матеріали спеціального захисного спецодягу необхідно особливо ретельно підбирати з дотриманням балансу захисту і комфорту.

Професійний захисний одяг має бути комфортним, незалежно від рівня захисту. Комфорт означає відсутність дискомфорту, тобто больових або неприємних відчуттів. Розрізняють 4 типи комфорту користувача: тепловий; сенсоріальний; фізичний; психологічний.

Тепловий або тепло-фізіологічний комфорт виражається в задоволенні користувача термальним середовищем, коли не холодно і не жарко, а волога (піт) може безперешкодно випаровуватися. При будь-якій активності тіло людини генерує теплову потужність від 80 Вт (під час сну) до 1000 Вт (при високих фізичних навантаженнях). Влітку надлишкове тепло необхідно віддавати в навколишнє середовище якнайшвидше, проте вже при температурі повітря 34-37°C єдиним способом терморегуляції тіла залишається охолодження випаровуванням. Для спеціального захисного одягу від підвищеного теплового впливу необхідно застосовувати активне знімання тепла. При цьому тканини костюма охолодження повинні бути повітряпроникними й гігроскопічними, що забезпечують, відповідно, термовентіляцію і регулювання кількості вологи в пододержаному просторі.

Вимоги захисту і комфорту часто суперечать один одному і мета захисного спецодягу - забезпечення розумного балансу. Специфічні захисні властивості спецодягу для співробітників ДСНС України вимагають застосування тканин зі спеціальними обробками і накладками, що знижують тепловий комфорт. Дуже важливо вибрати мультифункціональну тканину, яка при необхідних захисних властивостях не перешкоджає тепло-

обміну з навколишнім середовищем і дозволяє обійтися без додаткових накладок, верств, напилювань тощо. Тобто треба піти від підходу, при якому винаходиться листовий «пиріг» з малоефективних, але дешевих тканин. Проведені дослідження показали, що максимальна щільність тканини зі 100% вмістом арамідних волокон з алюмінієвим напиленням, що забезпечує необхідний захист і прийнятний комфорт користувача, становить близько 500 г/м² [6].

Сенсорний комфорт пов'язаний з відсутністю у користувача неприємних тактильних відчуттів, таких, як свербіж, жорсткість, прилипання до тіла. На цей тип комфорту впливають безпосередньо властивості самих волокон. Низькомодульні арамідні волокна з гладкою поверхнею і майже круглим поперечним перерізом забезпечують користувачеві натуральну м'якість, а конструкція тканини не дозволяє їй прилипати до тіла. Остання властивість пов'язана також і з тепловим комфортом, оскільки одяг, що прилипає до тіла, перешкоджає випаровуванню поту.

Фізичний комфорт пов'язаний з правильною підгонкою одягу за розміром, а також з її масогабаритними характеристиками. Арамідні волокна легше бавовняних аналогів на 43% і дозволяє відчувати більшу зручність в носінні. Нульова усадка цієї тканини в киплячій воді і стійкість до детергентів зберігають первинні розмірні характеристики, тому користувач не буде відчувати дискомфорту від усадки спецодягу після прань або чисток.

Психологічний комфорт забезпечується естетичними властивостями одягу (конструкцією, стилем, зовнішнім виглядом), відповідністю одягу її призначенню і почуттям захищеності користувача. Постійна кольоростійкість нанесеного напилення арамідних тканин, відсутність утворення пілей забезпечують захисному спецодягу презентабельний зовнішній вигляд на весь термін служби. Повністю вогнестійкий однорідний склад тканини не викликає сумнівів в сталості і надійності захисту, що дає користувачеві впевненість роботи в небезпечному середовищі.

Матеріали професійного спеціального захисного одягу повинні бути зручні у догляді і обслуговуванні, передбачати режим промислового прання при температурі не менше 60°C і різні режими сушіння при високих температурах, в іншому випадку вогнезахисний одяг буде погано пратися і накопичувати забруднення, які можуть знижувати захисні і гігієнічні властивості. Арамідні тканини неодноразово протестовані після промислових прань при температурі 75°C і можуть витримувати більш 100 прань.

Безпека для людини і навколишнього середовища в ряді випадків обумовлені обробкою вогнезахисних тканин пропитками, що містять фосфор і галогени (хлор), які при впливі високих температур виділяють у великих концентраціях токсичні продукти горіння. Арамідні тканини повністю складаються з волокон, при виробництві яких не використовуються канцерогенні, мутагенні і токсичні для репродукції людини речовини. Вогнезахисні властивості тканини постійні і обумовлені арамідною хімічною структурою полімеру, а не хімічними модифікаціями тканини. Це дозволяє використовувати одяг з таких тканин в закритих приміщеннях.

При розгляді питання вартості тканин для виготовлення спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів необхідно враховувати ймовірність реалізації і тяжкість наслідків для його здоров'я і життя.

При виборі високоефективних мультифункціональних тканин, таких, як розглянуті вище арамідні тканини, базальтове волокно, необхідно враховувати високу вартість подібних

виробів. Порівняння з звичайними матеріалами тут може бути недоречно з причини суттєвої різниці в захисних і споживчих властивостях.

Таким чином, комплексний підхід при виборі матеріалів для виготовлення СЗО ПТВ, що враховує їх механічні, вогнестійкі, теплостійкі і теплозахисні властивості стосовно до конструктивних елементів захисного одягу, дозволив встановити наступні поєднання матеріалів, що володіють найкращими показниками: для верхнього шару - арамідні тканини з алюмінієвим напиленням; для теплоізоляційного шару - базальтове волокно; для внутрішнього шару - прогумована тканина.

Висновки. Існуючі засоби протитеплогового захисту розроблені в минулому столітті, зношені фізично і застаріли морально. Модернізацію спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів доцільно проводити з використанням сучасних матеріалів з поліпшеними фізико-механічними властивостями.

З урахуванням конструктивних особливостей спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів виконано аналіз вимог до матеріалів, використовуваних для виготовлення шарів останнього. Ці матеріали повинні протистояти впливу: високих і низьких температур, в т.ч. перепадів температур; видимого та ультрафіолетового випромінювання; хімічних факторів, в т.ч. вологості; механічному: стирання, вигинів, тиску, розтягування; процесів чистки, прання, ремонту або дезінфекції.

З асортименту сучасних термостійких матеріалів найкращими характеристиками володіють арамідні тканини і базальтові волокна.

Стосовно до багатошарової конструкції спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів найкращими показниками володіють наступні поєднання матеріалів: для верхнього шару - арамідні тканини з алюмінієвим напыленням; для теплоізоляційного шару - базальтове волокно; для внутрішнього шару - прогумована тканина. Остаточний вибір матеріалів повинен проводитися з урахуванням техніко-економічних показників матеріалів

Библиографический список

1. ГОСТ 12.0.003-74* Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
2. ГОСТ 1-004-91 Пожарная безопасность. Общие требования
3. Звіт Урядової комісії з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, що виникла 8 червня 2015 р. у Київській області, створеної відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 9 червня 2015 р. № 583-р про результати ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на території нафтобази ТОВ «Побутрембудматеріали»
4. ГОСТ Р 53264-2009 Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний
5. ISO 11612:2008 Protective clothing - Clothing to protect against heat and flame
6. Textiles for protection. Edited by Richard A. Scott, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 2005.

Надійшла до редакції 08.09.2016

В.К. Костенко, Е.Л. Завьялова

Донецкий национальный технический университет, г. Покровск, Украина

Т.В. Костенко, Д.А. Журбинский

Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины, г. Черкассы, Украина

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ СПАСАТЕЛЕЙ ОТ ПОВЫШЕННОГО ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В статье выполнен анализ требований к материалам защитной одежды пожарных-спасателей с учетом конструктивных особенностей специальной одежды от повышенных тепловых воздействий. Материалы должны противостоять воздействию высоких и низких температур, перепадов температур, видимого и ультрафиолетового излучения, химических факторов, механического воздействия. Выявлено, что наилучшими характеристиками обладают арамидные ткани и базальтовые волокна. Для многослойной конструкции специальной защитной одежды спасателя от повышенных тепловых воздействий лучшими показателями обладают следующие сочетания материалов: для верхнего слоя - арамидные ткани с алюминиевым напылением; для теплоизоляционного слоя - базальтовое волокно; для внутреннего слоя - прорезиненная ткань.

Ключевые слова: температура, теплообмен, специальная защитная одежда спасателей, механические, огнестойкие, термостойкие и теплозащитные свойства материалов.

V. Kostenko, E. Zavyalova

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine

T. Kostenko, D. Zhurbinskiy

Cherkassy Institute Of Fire Safety Named After Heroes Of Chornobyl of National University of Civil Defense Of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

RATIONALE FOR THE CHOICE OF MATERIALS FOR MANUFACTURING SPECIAL PROTECTIVE RESCUERS CLOTHES FROM HIGH THERMAL EFFECTS

This article gives an analysis of the requirements for protective clothing materials for fire-fighters considering constructional features of special clothing on high heat. The materials must withstand exposure to high and low temperatures, temperature changes, visible and ultraviolet radiation, chemical factors and mechanical strength. It was revealed that aramid fabrics and basalt fibers have the best characteristics. For multilayer construction of special protective clothing for rescuers from high thermal effects the following combination of materials have the best indicators: for the top layer - aramid fabrics coated with aluminum; for the thermal insulation layer - basalt fiber; for the inner layer - rubberized fabric.

Keywords: temperature, heat transfer, special protective clothing rescue, mechanical, fire resistant, heat resistant and heat protection properties of materials.