

УДК 331.101

В.М. Стрілець, М.В. Васильєв

Національний університет цивільного захисту України, Харків

## АНАЛІЗ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ, ЯКІ ПРИЗНАЧЕНІ ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ ВИКИДУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

*Обґрунтовано критерій та визначені особливості аналізу конкретного комплексу засобів індивідуального захисту, дотримання яких забезпечить безпечну роботу особового складу в умовах викиду небезпечних хімічних речовин.*

**Ключові слова:** ізолюючий костюм, ізолюючий апарат, лицева частина, коефіцієнт захисту, коефіцієнт токсичної небезпеки.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Закон України «Про правові засади цивільного захисту» поставив нові завдання перед оперативно-рятувальними підрозділами. Однією з таких задач стала участь особового складу в ліквідації надзвичайних ситуацій з викидами небезпечних хімічних речовин, умови яких суттєво відрізняються від найгірших умов пожежі. А саме у відповідності до них були визначені тактико-технічні вимоги [1] до ізолюючих апаратів у зборі з лицевими частинами. Тобто, перед керівництвом гарнізонів повстало питання вибору такого комплексу засобів індивідуального захисту (КЗІЗ), який би забезпечив безпеку газодимозахисників під час проведення аварійно-рятувальних робіт.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій** показав, що питання забезпечення безпеки рятувальників в таких умовах в Україні розглядались, в основному, стосовно до засобів індивідуального захисту органів дихання. Так, в [1] відмічено, що газоповітряна суміш з навколишнього середовища може потрапити всередину системи «ізолюючий апарат – органи дихання людини» як в результаті негерметичності самого апарату, так і нещільності прилягання лицевої частини, тобто підсоси в результаті цих причин можуть складуватись. В [2] показано, що тактико-технічні характеристики ізолюючих апаратів суттєво впливають на герметичність системи, і відмічена висока ефективність апаратів на стисненому повітрі (АСП), якщо ті обладнані масками з підпором повітря в підмасочний простір, у порівнянні їх з регенеративними дихальними апаратами (РДА). Проте, питання роботи газодимозахисників при цьому в ізолюючих костюмах (ІК) не розглядались.

Не наведені кількісні показники про те, коли та в якому костюмі працювати і в наказі МНС № 733 від 13.10.2008 [3], який регламентує порядок вибору захисного одягу для проведення аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації надзвичайних ситуацій з викидами небезпечних хімічних речовин

(НХР). Його аналіз показав, що розробники, вказавши зону, всередині якої потрібно працювати в ІК (для аміаку вона, наприклад, складає 800 м), передбачають роботу в костюмах (на вибір рятувальників) різних модифікацій, які суттєво відрізняються навіть зовнішньо (в першу чергу тим, де повинен знаходитись ІА – всередині або ззовні костюму).

За кордоном результати досліджень роботи в ІК узагальнені в стандартах. Так, в США є прийнятим стандарт NFPA 1991 [4], в якому захисний одяг поділяється на чотири рівні. При цьому ІК рівня А забезпечує захист від прямого впливу небезпечної речовини. Характерною особливістю костюмів такого типу є те, що ІА знаходиться в під костюмному просторі, де створюється збитковий тиск. Для костюмів рівня В останній ефект місця не має, навіть якщо ІА і знаходиться всередині костюму. Аналогічна ситуація має місце і в Європі, де захисний одяг поділяється на шість типів. Аналіз стандартів PrEN 943 [5] та PrEN1511 [6] показує, що вони достатньо сильно корелюють з рівнями, які використовуються в США. Тим не менш, конкретних кількісних показників в них також не наведено.

В Російській Федерації питання захисту особового складу, який приймає участь в ліквідації наслідків аварій, розглянуті в [7 – 9], де відмічено, що вибір КЗІЗ і визначення порядку його використання відбувається в залежності від характеру та масштабів аварії. За відсутності інформації про аварійно хімічно небезпечних речовинах та ступінь забруднення зовнішнього середовища використовуються засоби індивідуального захисту ізолюючого типу. Ницьому конструктивні особливості стосовно до умов роботи не деталізуються, хоча у відповідності до [4 – 6] саме місце знаходження ІА є зовнішньою відзнакою, за якою можна віднести костюм до такого, який дозволяє працювати всередині найбільш небезпечної зони.

**Постановка завдання.** Виходячи з вищевикладеного було поставленим завдання розробки ме-

тодики вибору комплексу засобів індивідуального захисту органів дихання, дотримання якої забезпечить безпечну роботу газодимозахисників в умовах викиду небезпечних хімічних речовин.

### Виклад основного матеріалу

Враховуючи те, що ІА, який захищає органи дихання, може знаходитись як всередині (і в цьому випадку токсична небезпека навколишнього середовища буде зменшуватись як захисними властивостями костюму, так і захисними властивостями ІА), так і ззовні ІК (в цьому випадку токсична небезпека для рятувальника визначається тим коефіцієнтом захисту костюму або апарату, який є меншим) загальний коефіцієнт захисту може розглядатись як

$$K_3 = \begin{cases} K_3(IA) \cdot K_3(ИК), \text{ якщо ізолюючий} \\ \text{апарат знаходиться} \\ \text{всередині костюму;} \\ \min(K_3(IA); K_3(ИК)), \text{ якщо ізолюючий} \\ \text{апарат знаходиться} \\ \text{ззовні костюму,} \end{cases} \quad (1)$$

де  $K_3(IA)$  – коефіцієнт захисту ізолюючого апарату;

$K_3(ИК)$  – коефіцієнт захисту ізолюючого костюму.

Оскільки у відповідності до [10] захисні властивості матеріалу для ІК повинні забезпечувати захист від газоподібного хлору з масовою концентрацією 70 мг/л, а гранично допустима концентрація хлору в робочій зоні [3] дорівнює  $C_{ГДК}(Cl) = 1 \text{ мг/м}^3$ ,

$$K_3(ИК) \geq \frac{C_m}{C_{ГДК}(Cl)} = 7 \cdot 10^4. \quad (2)$$

Тобто, ізолюючий костюм забезпечує надійний захист в підкостюмному просторі при об'ємній концентрації хлору

$$V_{\%}(Cl) = \frac{22.4 \cdot C_m(Cl)}{10 \cdot M(Cl)} = \frac{22.4 \cdot 70}{10 \cdot 2 \cdot 35.4527} \approx 2.24\% \quad (3)$$

і при концентраціях хлору більше (3) не можна працювати в ІК, які передбачають розміщення ІА ззовні костюму.

В той же час, аналогічні розрахунки для аміаку ( $C_{мГДК} = 20 \text{ мг/м}^3 = 0.2 \text{ мг/л}$ ) показують

$$V_{\%}(NH_3) = \frac{22.4 \cdot K_3(ИК) \cdot C_{мГДК}(NH_3)}{10 \cdot M(NH_3)} = \frac{22.4 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot 0.2}{10 \cdot 17.03} > 100\% \quad (4)$$

що свідчить про можливість розміщення ІА поверх ізолюючого костюму.

Первинний аналіз показує, що ІА у зборі з лицевою частиною (ЛЧ) у відповідності до [1] повинні

забезпечувати  $K_3(IA) \geq 5 \cdot 10^3$ . Таким чином, видно, що, коли ІА одягнутий поверх ІК, в загальному випадку в питаннях забезпечення безпеки необхідно орієнтуватись на захисні властивості апарату.

Це дозволяє визначити ті показники масових концентрацій, при яких робота рятувальників становиться небезпечною для їх здоров'я. Так, у випадку ліквідації аварій, які є пов'язаними з викидами хлору, масова концентрація, вище якої не можна працювати в ІА, що відповідають вимогам [1], буде дорівнювати

$$C_m(Cl) \leq K_3(IA) \cdot C_{мГДК}(Cl) = 5 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3 = 5 \text{ мг/л} \quad (5)$$

що відповідає об'ємній концентрації

$$V_{\%}(Cl) = \frac{22.4 \cdot C_m(Cl)}{10 \cdot M(Cl)} = \frac{22.4 \cdot 5}{10 \cdot 2 \cdot 35.4527} \approx 0.16\% \quad (6)$$

де 22,4 – число Авогадро; М - молекулярна маса речовини.

Аналогічна ситуація має місце і під час роботи в зоні, яка заражена аміаком:

$$C_m(NH_3) \leq 10^5 \text{ мг/м}^3 = 100 \text{ мг/л}; \\ V_{\%}(NH_3) \leq 13.15\%.$$

При цьому, аналіз [2] лицевих частин відразу показує, що особовому складу можна буде працювати тільки в лицевих частинах типу шолом-маска або маска з підпором повітря в підмасочний простір, оскільки коефіцієнт захисту маски або мундштукового пристрою з носовим затискачем значно менший коефіцієнта токсичної небезпеки середовища, захист від якого забезпечує ізолюючий костюм

$$K_{31} \geq 10^4 \ll K_{ТН} = 7 \cdot 10^4. \quad (7)$$

Тим більше, це відноситься і до мундштукового пристрою із загубником та носовим затискачем, оскільки він не тільки має низький коефіцієнт захисту, але й не закриває обличчя.

Таким чином, у разі застосування ІА поверх ІК коефіцієнт захисту  $K_3(IA)$  в зборі з лицевою частиною повинен перевищувати (2), а також коефіцієнт  $K_{ТН}$  токсичної небезпеки середовища

$$K_3(IA) \geq 7 \cdot 10^4 \geq K_{ТН} = \begin{cases} \sum_i \frac{C_{m_i}}{C_{ГДК_i}} - \text{якщо гази мають} \\ \text{однаправлену дію;} \\ \max_i \left\{ \frac{C_{m_i}}{C_{ГДК_i}} \right\} - \text{якщо гази не мають} \\ \text{однаправленої дії,} \end{cases} \quad (8)$$

де  $C_{m_i}$  – концентрація і-го шкідливого газу в навколишньому середовищі, мг/м<sup>3</sup> (%);

$C_{ГДК_i}$  – гранично допустима концентрація і-го шкідливого газу в навколишньому середовищі, мг/м<sup>3</sup> (%).

Загальний коефіцієнт захисту системи „апарат – органи подиху людини” розраховується [2] як

$$K_3(IA) = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}}, \quad (9)$$

де  $K_{31}$  – коефіцієнт захисту ізолюючого апарату;

$K_{32}$  – коефіцієнт захисту лицевої частини.

При цьому коефіцієнти захисту лицевих частин  $K_{32}$  визначені в експлуатаційно-технічній та науковій літературі [1], а коефіцієнт захисту безпосередньо апарату можна розрахувати за показниками, які наведені в науковій [1, 2] та нормативній документації [11]. Так, коефіцієнт захисту апарату може розглядатись [1] як

$$K_{31} = \frac{\omega_{л.}}{\omega_{п1}}, \quad (10)$$

де  $\omega_{л.}$  – легенева вентиляція, л/хв.;

$\omega_{п1}$  – підсос всередину системи „апарат – органи подиху” через порушення цілісності повітроподаючої системи ізолюючого апарату, л/хв.

Показники легеневої вентиляції залежать в залежності від важкості роботи, яку виконує газодимозахисник, але для оціночних розрахунків рекомендується [2] приймати  $\omega_{л.} \approx 40$  л/хв. при застосуванні АСП та [1]  $\omega_{л.} \approx 30$  л/хв. – при застосуванні РДА.

В [1] показано, що

$$\omega_{п1} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{P_{вд}}{P_{пер}}}}{m \cdot P_a}, \quad (11)$$

де  $\Delta P / \Delta t$  – швидкість падіння розрідження під час перевірки герметичності, Па/хв.;

$V_p$  – місткість повітроподаючої системи при розрідженні, л;

$P_{вд}$  – опір ЗІЗОД вдиху при відповідному навантаженні, Па;

$P_{пер}$  – розрідження у повітроподаючій системі при перевірці, Па;

$m = 0.16$  – коефіцієнт, який враховує, що повітропровідна система не є жорсткою;

$P_a$  – атмосферний тиск, Па.

Відомо, що для РДА [1] обсяг повітроподаючої системи при розрідженні не повинен перевищувати 2,5 л, а для АСП [12] – при розрідженні не перебільшує

мертвого простору апарату, тобто  $V_p \leq 0,2$  л. Крім того, в усіх апаратах клапан вдиху повинен [2] спрацювати при створенні розрідження не більше 300 Па.

Поряд з цим треба мати на увазі й те, що дещо відрізняються вимоги до швидкості падіння тиску під час перевірки герметичності, які наведені в технічній документації [1, 12] виробника ( $\Delta P / \Delta t \leq 50$  Па / хв.), та в Настанові [11] з газодимозахисної служби ( $\Delta P / \Delta t \leq 30$  Па / хв.).

Таким чином, підсос (10) у повітропровідну систему РДА буде

$$\omega_{п1} = \begin{cases} 0,00166 \text{ л / хв. – при виконанні умов} \\ \text{виробника;} \\ 0,001 \text{ л / хв. – при виконанні умов} \\ \text{Настанови з ГДЗС.} \end{cases} \quad (12)$$

При легеневої вентиляції біля 30 л/хв. відповідний коефіцієнт захисту РДА буде

$$K_{31} \geq \frac{\omega_{л.}}{\omega_{п1}} \approx \begin{cases} 1,8 \cdot 10^4 \text{ – при виконанні умов} \\ \text{виробника;} \\ 3 \cdot 10^4 \text{ – при виконанні умов} \\ \text{Настанови з ГДЗС.} \end{cases} \quad (13)$$

Отримані результати дозволяють оцінити загальний коефіцієнт захисту системи „апарат – лицева частина” у разі обладнання РДА шолом-маскою ( $K_{32} \geq 10^6$ )

$$K_3(\text{ШМ}) = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} \geq \geq 2,9 \cdot 10^4 < K_3(\text{ІК}) \geq 7 \cdot 10^4 \quad (14)$$

Видно, що під час роботи в регенеративних дихальних апаратах в першу чергу необхідно орієнтуватись на його захисні властивості. В той же час, аналогічні розрахунки (12)÷(14) для АСП дають

$$\omega_{п1} = \begin{cases} 0,000133 \text{ л / хв. – при виконанні умов} \\ \text{виробника;} \\ 0,00008 \text{ л / хв. – при виконанні умов} \\ \text{Настанови з ГДЗС.} \end{cases} ; \quad (15)$$

$$K_{31} \geq \frac{\omega_{л.}}{\omega_{п1}} \approx \begin{cases} 3 \cdot 10^5 \text{ – при виконанні умов} \\ \text{виробника;} \\ 5 \cdot 10^5 \text{ – при виконанні умов} \\ \text{Настанови з ГДЗС.} \end{cases} ; \quad (16)$$

$$K_3(\text{ШМ}) \geq 2,3 \cdot 10^5 > 7 \cdot 10^4. \quad (17)$$

Це стосується і системи „апарат – лицева частина” у разі обладнання АСП маскою з підпором повітря в підмасочному просторі ( $K_{32} \geq 10^7$ ), оскільки в цьому випадку загальний коефіцієнт захисту

$$K_3 (\text{М з підпором}) \geq 2.3 \cdot 10^5 > 7 \cdot 10^4. \quad (18)$$

Отже, видно, що при застосуванні АСП з шолом-масками (або масками з підпором повітря в підмасочний простір) поверх ІК, саме останні зумовлюють захисну ефективність КЗІЗ.

Проте, КЗІЗ першого типу (такі комплекси призначені для забезпечення безпеки робіт, які відбуваються в умовах, що передбачають максимально можливі концентрації НХР та контакт з їх рідкою фазою) згідно до [9] повинні забезпечити безпеку рятувальників під час ситуації, яка передбачає концентрацію хлору  $C_{\text{mmax}}(\text{Cl}) = 3600 \text{ мг/л}$ . В цьому випадку КЗІЗ повинен забезпечити

$$K_3 \geq \frac{C_{\text{mmax}}(\text{Cl})}{C_{\text{ПДК}}(\text{Cl})} = 3.6 \cdot 10^6. \quad (19)$$

Оскільки у відповідності з (7) комбінацію ІК та ІА, коли останній знаходиться ззовні, використовувати не можна, визначимо вимоги до загального коефіцієнта захисту ІА, коли він знаходиться всередині ізолюючого костюму

$$K_3(\text{ІА}) \geq \frac{K_3}{K_3(\text{ІК})} = \frac{3.6 \cdot 10^6}{7 \cdot 10^4} \approx 0.52 \cdot 10^2 \ll 5 \cdot 10^4. \quad (20)$$

Видно, що перший рівень захисту забезпечує комбінація сертифікованого ІК та любого ІА, який знаходиться всередині захисного одягу.

## Висновки.

### Напрямки подальших досліджень

Таким чином, запропоновано підхід, який забезпечує аналіз засобів захисту рятувальників, які працюють в умовах впливу НХР, а також показано, що комбінація сертифікованого ІК та любого ІА, який знаходиться всередині захисного одягу, забезпечує безпеку рятувальників в найгірших можливих умовах. Під час подальших досліджень доцільно визначити умови та особливості виконання робіт в КЗІЗ другого та третього типів.

### АНАЛИЗ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ВЫБРОСА ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

В.М. Стрелец, М.В. Васильев

Обосновано критерий и определены особенности анализа конкретного комплекса средств индивидуальной защиты, соблюдение которых обеспечит безопасную работу личного состава в условиях выброса опасных химических веществ.

**Ключевые слова:** изолирующий костюм, изолирующий аппарат, лицевая часть, коэффициент защиты, коэффициент токсичной опасности.

### ANALYSIS OF THE PROTECTIVE PROPERTIES OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT DESIGNED TO OPERATE IN RELEASE OF HAZARDOUS CHEMICALS

V.M. Strelec, M.V. Vasilyev

Reasonable criteria and features of the analysis identified a specific set of PPE. Their implementation will ensure the safety of rescuers due to the release of dangerous chemicals.

**Keywords:** insulating suit, insulating vehicle, facial part, coefficient of defence, coefficient of toxic danger.

## Список літератури

1. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н.С. Диденко. – М.: Недра, 1984. – 296 с.
2. Стрелец В.М. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Основи створення та експлуатації / В.М. Стрелець. – Х.: АПБУ, 2001. – 117 с.
3. Наказ МНС від 13.10.2008 N 733 "Про затвердження Рекомендації щодо захисту особового складу підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків аварій за наявності небезпечних хімічних речовин (аміак, хлор, азотна, сірчана, соляна та фосфорна кислоти)".
4. NFPA 1991 – Standard on Vapor-Protective Ensembles for Hazardous Materials Emergencies, 2005 Edition – 52 pp.
5. prEN 943-1:2002 - Protective clothing against liquid and gaseous chemicals, including liquid aerosols and solid particles Part 1: Performance requirements for ventilated and non-ventilated "gas-tight" (Type 1) and "non-gas-tight" (Type 2) chemical protective suits.
6. prEN 1511: Liquid chemicals for limited life/use (liquid-tight) Type 3 equipment.
7. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий // Ч. 2. Ликвидация последствий химических аварий / В.А. Владимиров, А.Г. Лукьянченков, К.Н. Павлов, В.А. Пучков, Р.Ф. Садиков, А.И. Ткачев / под об. ред. д-ра техн. наук В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
8. Средства индивидуальной защиты / Справочное пособие / под об. ред. д-ра техн. наук С.Л. Каминского. – Ленинград, Химия, 1989. – 347 с.
9. ГОСТ Р 22.9.05-95. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования.
10. НПБ 162-97. Специальная защитная одежда пожарных изолирующего типа. Общие технические требования. Методы испытаний.
11. Настанова по газодимозахисній службі пожежної охорони МВС України. Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. – К., 1994. – 128 с.
12. Основи створення та експлуатації апаратів на стисненому повітрі: навч. посібн. / П.А. Ковальов, В.М. Стрелець, О.В. Єлізаров, О.Є. Безуглов. – Х.: АЦЗУ, 2005 – 314 с.

Надійшла до редколегії 16.12.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Є. Басманов, Національний університет цивільного захисту України, Харків.