

*В.М. Стрелець, д.т.н., с.н.с., ст. наук. співр. НДЛ, НУЦЗУ,
Є.І. Стецюк, ст. викладач, НУЦЗУ,
Є.В. Іванов, нач. курсу, НУЦЗУ,
І.В. Шепелєв, курсант, НУЦЗУ*

МЕТОД ОБГРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ОСОБОВОМУ СКЛАДУ ПІРОТЕХНІЧНИХ ПІДРОЗДІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЇХ ДІЯЛЬНОСТІ

(представлено д.т.н. Тарасенком О.А.)

Розроблено метод обґрунтування рекомендацій особовому складу піротехнічних підрозділів, відповідно до якого визначення пропозицій щодо підвищення ефективності проведення зі знищення вибухонебезпечних предметів відбувається у відповідності до результатів ранжування факторів за ступенем їх впливу на ефективність ліквідації надзвичайної ситуації шляхом аналізу однофакторних моделей, отриманих при стабілізації в загальній моделі, що визначається за результатами імітаційного моделювання за обраним планом, інших факторів в центрі та на краях факторного простору.

Ключові слова: ефективність, піротехнічний підрозділ, пропозиції, ранжування факторів.

Постановка проблеми. Ефективне проведення робіт при пошуку, виявленню, знешкодженню, транспортуванню та знищенню вибухонебезпечних предметів (ВНП) піротехнічними підрозділами ДСНС України (ПП) супроводжується протиріччям між тактичними прийомами, які були розроблені в 60-70-х роках двадцятого сторіччя і наведені в діючих документах [1-3], та наявною практикою бойової роботи піротехніків. Наприклад, розрахунок піротехнічного відділення на цей час складає 5 чоловік, але алгоритми дій зі знищення ВНП визначені на 4 чоловіки і не враховують всі можливі елементи, етапи і фактори проведення робіт. При цьому деяке основне оснащення ПП (наприклад, засоби індивідуального захисту піротехніків або засоби дистанційного виявлення та знешкодження ВНП) морально застаріло та не відповідає такому, яке використовується у провідних країнах світу [4] і поступає до підрозділів в рамках гуманітарної допомоги.

Все це свідчить, що проблема розробки науково-обґрунтованих рекомендацій особовому складу ПП та визначення (коригування) тактико-технічних вимог до засобів захисту та забезпечення піротехнічних робіт є актуальною, а її розв'язання забезпечить обґрунтування комплексу оперативно-технічних заходів, реалізація яких забезпечить підвищення ефективності дій цих підрозділів без зниження рівня безпеки піротехніків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що розробка рекомендацій особовому складу ПП на сьогоднішній день відбувається за результатами дослідження процесу знищення вибухонебезпечних предметів. В той же час:

– у більшості випадків його розглядають з позицій організації відповідних робіт на державному рівні [9-11], але при цьому дії конкретного ПП не аналізуються;

– під час розгляду з позицій забезпечення безпеки особового складу ПП в розроблених моделях досліджуються особливості вибухового ураження особового складу, у тому разі у випадку застосування ними засобів захисту різного класу [5-7]. Питання підвищення ефективності виконання основних операцій по пошуку, виявленню, знешкодженню, транспортуванню та знищенню ВВП розглядаються опосередковано;

– виконання окремих дій піротехніками аналізується достатньо рідко. При цьому, як правило, надаються [12,13] експертні оцінки фахівців стосовно особливостей проведення піротехнічних робіт в окремому кризисному районі. В [14] наведені імітаційні моделі виконання найбільш складних типових процесів ПП, проте, вони обмежені простим відображенням існуючих алгоритмів бойової роботи піротехніків.

Все це свідчить, що питанням обґрунтування рекомендацій конкретним ПП, які б забезпечили підвищення ефективності пошуку, виявлення, знешкодження, транспортування та знищення вибухонебезпечних предметів на локальному рівні приділяється явно недостатньо уваги. В той же час, в авіації [15] та космонавтиці [16], пожежній охороні [17] для визначення системних характеристик та обґрунтування за результатами їх аналізу відповідних організаційно-технічних рекомендацій створювались імітаційні моделі. Їх особливістю була можливість отримання за результатами імітаційного моделювання кінцевої узагальнюючої моделі. Аналіз останньої і ставав основою для обґрунтування відповідних рекомендацій.

Постановка завдання та його вирішення. У зв'язку з цим необхідно розробити метод обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій особовому складу піротехнічних підрозділів за результатами імітаційного моделювання пошуку, виявлення, знешкодження, транспортування та знищення вибухонебезпечних предметів на локальному рівні.

У відповідності до методології імітаційного моделювання [18] обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення РЗВВП повинно спиратися на аналіз закономірностей здійснення цього процесу, які мають бути отриманими за результатами оцінки того, як функціонує система «піротехнік – засоби захисту та забезпечення РЗВВП – надзвичайна ситуація» (СПЗНС). При цьому у якості вихідних перемінних виступають показники, що характеризують безпосередньо піротехніків (множина $X_{\text{РЯТ}}$), засоби захисту та забезпечення (множина $X_{\text{ЗЗЗ}}$), місце проведення РЗВВП (множина $X_{\text{М}}$) та надзвичайну ситуацію (множина

$X_{НС}$). Враховуючи те, що вихідні данні розглядаються на момент виникнення НС, можна вважати – в кожній множині відсутні спільні перемінні і, відповідно, вони є такими, які не перетинаються,

$$X = X_{РЯТ} \cup X_{АРО} \cup X_M \cup X_{НС}. \quad (1)$$

Крім того, в нормативно-довідковій літературі, якою користуються в ПП, визначається порядок ліквідації НС, який уявляє собою множину варіантів проведення РЗВНП

$$Q = \langle \{Q_m\}; m = 1, \dots, n_m; \varphi_1 : K_m \times X \rightarrow Q_m \rangle, \quad (2)$$

де Q_m – m -ий варіант проведення РЗВНП; n_m – кількість варіантів проведення РЗВНП; K_m – множина, яка впорядковує правила організації СПЗЗНС таким чином, щоб при вихідних показниках X отримати m -ий алгоритм проведення РЗВНП; φ_1 – відображення $K_m \times X$ в множину Q .

В процесі функціонування СПЗЗНС під час виконання піротехніками окремих операцій, які забезпечують проведення РЗВНП ПП для обраного варіанту Q^* , на інтервалі T має місце множина ефектів

$$G^* = \langle \{G_k^*\}; k = 1, \dots, n_k; \varphi_2 : Z_k \times Q^* \times T \rightarrow G_k^* \rangle, \quad (3)$$

де G_k^* – ефект від виконання k -ої складової обраного варіанту проведення РЗВНП ПП; n_k – кількість складових для Q^* ; Z_k – множина, яка впорядковує зв'язки між елементами множини Q^* та результатами виконання окремих складових процесу проведення РЗВНП ПП; φ_2 – відображення $Z \times Q^* \times T$ в множину G^* (визначення ефектів).

Відображення φ_2 фактично уявляє собою процес визначення ефектів від реалізації конкретних складових обраного варіанту проведення РЗВНП ПП. Такі ефекти можуть бути отримані як після натурних досліджень, і тоді реалізація Z_k уявляє собою методику отримання емпіричних даних, так і в результаті використання попередньо визначених функціональних залежностей

$$G_k^* = F_k^*(X, T), \quad (4)$$

яка фактично є закономірністю виконання рятувальниками k -ої складової обраного процесу проведення РЗВНП.

Якщо окремі властивості СПЗЗНС, у тому разі множина G , є частковими характеристиками системи, то ефективність системи є нормова-

ним до вихідних перемінних X результатом функціонування СПЗЗНС на певному інтервалі часу, тобто ефективність проведення обраного варіанту РЗВНП ПП за умови визначення множини G (наприклад, в результаті використання закономірностей виконання рятувальниками окремих складових процесу проведення РЗВНП) представляє собою впорядковану множину

$$Y^* = \left\langle \left\{ Y_q^* \right\}, q = 1, \dots, n_q; Y_1^* > Y_2^* > \dots > Y_{n_q}^*; \varphi_3 : H_q^* \times X \times G^* \rightarrow Y_q^* \right\rangle, \quad (5)$$

де Y_q^* – q -ий показник ефективності; n_q – кількість показників ефективності; H_q^* – множина (наприклад, імітаційна модель або тактико-спеціальне навчання), яка встановлює зв'язок між вихідними даними X та результатами G виконання окремих складових за обраним варіантом проведення РЗВНП ПП; φ_3 – відображення $H_q^* \times X \times G^*$ в множину Y^* (наприклад, визначення показників ефективності в результаті імітаційного моделювання РЗВНП ПП).

Оскільки у виразі (5) враховуються як технічні ($X_{\text{АРО}}$), так і оперативні ($X_{\text{РЯТ}}$, $X_{\text{М}}$, $X_{\text{НС}}$, Q) складові функціонування СПЗЗНС, то множина Y відображає оперативно-технічний характер проведення РЗВНП ПП і може розглядатись як закономірність проведення РЗВНП ПП

$$Y^* = F^*(X), \quad (6)$$

за обраним варіантом, оскільки являє собою закономірність, яка відображає функціонування даної системи, встановлюючи об'єктивний, повторюваний за певних умов зв'язок між показниками якості системи і властивими їй ефектами.

Виходячи з цього, цілями оцінки процесу проведення РЗВНП ПП, яка спирається на імітаційні моделі її функціонування, є встановлення причинно-наслідкових зв'язків діяльності рятувальників з результатами функціонування СПЗЗНС; розкриття закономірностей виконання рятувальниками типових складових процесу проведення РЗВНП ПП; визначення закономірностей проведення РЗВНП ПП від оперативних та технічних складових, що характеризують СПЗЗНС; уточнення на основі функціональної залежності таких правил організації СПЗЗНС, при яких буде перевищено визначене значення показника ефективності.

Впорядкованість множини Y дозволяє перейти від (6) до багатofакторної поліноміальної моделі [19], розробка якої спирається на відповідний план імітаційного експерименту, при виборі якого необхідно враховувати те, що вихідні показники можуть мати нелінійний вплив на показники ефективності проведення РЗВНП ПП.

Так, наприклад, підвищення рівня спеціальної витривалості піротехніків буде більш сильно впливати на час виконання поставленого завдання при переході від знешкодження артилерійських снарядів до важких протитанкових мін, ніж від протипіхотних мін до артилерійських снарядів. Або, підвищення рівня практичної виучки особового складу ПП буде більш сильно впливати на час проведення РЗВНП при переході від початкового рівня підготовленості до середнього, ніж від середнього до високого. Аналогічна ситуація має місце й під час порівняння того, як швидко виконуються окремі операції в бронезилетах третього класу до бронезилетів четвертого класу, ніж від першого до третього [20]. Нелінійний вплив факторів в поліноміальній моделі можна врахувати їх квадратичним увлеченням.

При цьому є очевидним взаємозв'язок між типом вибухонебезпечного предмету та комбінацією засобів індивідуального захисту піротехніків. Крім того, можна передбачити й інші взаємозв'язки між факторами. Наприклад, що підготовленість піротехніків сильніше буде проявлятися під час роботи в більш складних умовах. В поліноміальній моделі ефекти взаємодії можуть бути враховані відповідними коефіцієнтами при добутках факторів, що розглядаються.

З урахуванням вищевикладеного поліноміальна модель проведення РЗВНП ПП в загальному випадку має вид

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_n X_n + a_{11} X_1^2 + \dots + a_{nn} X_n^2 + a_{12} X_1 X_2 + \dots + a_{(n-1)n} X_{n-1} X_n, \quad (7)$$

де X_1, \dots, X_n – обрані для дослідження фактори, які конкретизують вихідні перемінні.

З урахуванням того, що порівняльна оцінка впливу факторів, що обрані для розгляду, має виконуватись в тотожному (7) виразу в нормованих перемінних [20]

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n + b_{11} x_1^2 + \dots + b_{nn} x_n^2 + b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{(n-1)n} x_{n-1} x_n. \quad (8)$$

В цьому випадку постановка завдання обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності функціонування СПЗЗНС конкретизується в задачу ранжування факторів x_i за ступенем їх впливу на ефективність проведення

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n + b_{11} x_1^2 + \dots + b_{nn} x_n^2 + b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{(n-1)n} x_{n-1} x_n$$

$$\Downarrow$$

$$\left(x_{i \in (1, n)}^{(1)} \geq x_{j \in (1, n; j \neq i)}^{(2)} \geq \dots \geq x_{\gamma \in (1, n; \gamma \neq i \neq \dots \neq j)}^{(n)} \right). \quad (9)$$

Це можна здійснити шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей $y = f_i(x_i)$, отриманих при стабілізації інших $x_{j \neq i}$ факторів [19].

Наявність масиву даних щодо часу проведення РЗВНП ПП, який може бути отриманим у відповідності до обраного плану проведення імітаційного експерименту, дозволяє визначити залежність $Y=[F\{X\}]$ у вигляді (7) і перейти до визначення оперативно-технічних рекомендацій шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей $y = f_i(x_i)$, отриманих при стабілізації інших $x_{j \neq i}$ факторів.

Проте, однофакторні моделі, визначені на рівнях, що відповідають координатам екстремумів y_{\min} та y_{\max} ,

$$\begin{cases} y_{\min}(x_1) = f(x_1; x_2 = -1; \dots; x_n = -1) = \\ \quad = b_{0y_{\min}(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1) + b_{y_{\min}(x_1)} \cdot x_1; \\ y_{\min}(x_n) = f(x_n; x_1 = -1; \dots; x_{n-1} = -1) = \\ \quad = b_{0y_{\min}(x_n)}(x_1 = -1; \dots; x_{n-1} = -1) + b_{y_{\min}(x_n)} \cdot x_n, \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} y_{\max}(x_1) = f(x_1; x_2 = +1; \dots; x_n = +1) = \\ \quad = b_{0y_{\max}(x_1)}(x_2 = +1; \dots; x_n = +1) + b_{y_{\max}(x_1)} \cdot x_1; \\ y_{\max}(x_n) = f(x_n; x_1 = +1; \dots; x_{n-1} = +1) = \\ \quad = b_{0y_{\max}(x_n)}(x_1 = +1; \dots; x_{n-1} = +1) + b_{y_{\max}(x_n)} \cdot x_n, \end{cases} \quad (11)$$

а також в центрі факторного простору

$$\begin{cases} y_0(x_1) = f(x_1; x_2 = 0; \dots; x_n = 0) = \\ \quad = b_{0y_0(x_1)}(x_2 = 0; \dots; x_n = 0) + b_{y_0(x_1)} \cdot x_1; \\ y_0(x_n) = f(x_n; x_1 = 0; \dots; x_{n-1} = 0) = \\ \quad = b_{0y_0(x_n)}(x_1 = 0; \dots; x_{n-1} = 0) + b_{y_0(x_n)} \cdot x_n, \end{cases} \quad (12)$$

можуть відрізнятися. І в цьому випадку

$$\begin{cases} b_{0y_{\max}(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1) \neq b_{0y_0(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1); \\ \quad \dots \\ b_{0y_0(x_n)}(x_1 = +1; \dots; x_{n-1} = +1) \neq b_{0y_{\min}(x_1)}(x_1 = +1; \dots; x_{n-1} = +1); \\ \quad b_{y_{\max}(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1) \neq b_{y_0(x_1)}(x_2 = -1; \dots; x_n = -1); \\ \quad \dots \\ b_{y_0(x_1)}(x_2 = +1; \dots; x_n = +1) \neq b_{y_{\min}(x_1)}(x_2 = +1; \dots; x_n = +1). \end{cases} \quad (13)$$

Відповідно, обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення РЗВНП ПП доцільно здійснювати за максимальними перепадами Δy в (11)÷(13). Тобто, пропозиції для центра факторного простору, що будуть отримані за результатами аналізу (13), та для його країв (отримуються за результатами аналізу (11) та (12)) можуть відрізнятися.

Для визначення того, які вихідні чинники з множини X вимагають першочергової уваги в центрі факторного простору $(x_0^{(1)})$ та на його краях $(x_{\min}^{(1)}; x_{\max}^{(1)})$ необхідно проранжувати у відповідності з вагою коефіцієнтів при відповідній змінній в (7)÷(9) в центрі факторного простору

$$(x_0^{(1)} \geq x_0^{(2)} \geq \dots \geq x_0^{(n-1)} \geq x_0^{(n)}) = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} |b_{y_0(x_1)}| \\ \dots \\ |b_{y_0(x_n)}| \end{array} \right\} \quad (14)$$

та на його краях

$$(x_{\min(\max)}^{(1)} \geq x_{\min(\max)}^{(2)} \geq \dots \geq x_{\min(\max)}^{(n-1)} \geq x_{\min(\max)}^{(n)}) = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} |b_{y_{\min(\max)}(x_1)}| \\ \dots \\ |b_{y_{\min(\max)}(x_n)}| \end{array} \right\}. \quad (15)$$

Оскільки обґрунтування пропозицій в цьому випадку базується на (6), де враховано вплив не тільки безпосередньо (у тому разі нелінійний) кожного окремого показника x_i , але й ефекти взаємодії з іншими показниками x_j ($j \neq i$), то вони (пропозиції) мають оперативно-технічний характер.

Тобто, обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення РЗВНП ПП відбувається у відповідності до результатів ранжування факторів за ступенем їх впливу на ефективність ліквідації надзвичайної ситуації шляхом аналізу однофакторних моделей (табл.1), отриманих при стабілізації в загальній моделі, що визначається за результатами імітаційного моделювання за обраним планом, інших факторів в центрі та на краях факторного простору.

Аналіз ваги коефіцієнтів в однофакторних моделях (табл. 1) у відповідності до (14) та (15) дозволить провести ранжування обраних факторів та визначити, який з них є найбільш вагомим та навпаки у кожній зоні.

Табл. 1. Однофакторні моделі $y = f_i(x_i)$ при різних умовах стабілізації

	В зоні максимуму	В центрі факторно-го простору	В зоні мінімуму
x_1	$y = (b_0 - b_2 - \dots - b_n + b_{22} + \dots + b_{nn}) + (b_1 - b_{12} - \dots - b_{1n}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$	$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2$	$y = (b_0 + b_2 + \dots + b_n + b_{22} + \dots + b_{nn}) + (b_1 + b_{12} + \dots + b_{1n}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$
x_2	$y = (b_0 - b_1 - b_3 - \dots - b_n + b_{11} + b_{33} + \dots + b_{nn}) + (b_2 - b_{12} - \dots - b_{2n}) \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_{22}^2$	$y = b_0 + b_2 \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_2^2$	$y = (b_0 + b_1 + b_3 - \dots - b_n + b_{11} + b_{33} + \dots + b_{nn}) + (b_2 + b_{12} + \dots + b_{2n}) \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_{22}^2$
...
x_n	$y = (b_0 - b_1 - b_2 - \dots - b_{n-1} + b_{11} + b_{22} + \dots + b_{(n-1)(n-1)}) + (b_n - b_{1n} - \dots - b_{(n-1)n}) \cdot x_n + b_{nn} \cdot x_{nn}^2$	$y = b_0 + b_n \cdot x_n + b_{nn} \cdot x_n^2$	$y = (b_0 + b_1 + b_2 + \dots - b_{n-1} + b_{11} + b_{22} + \dots + b_{(n-1)(n-1)}) + (b_n + b_{1n} + \dots + b_{(n-1)n}) \cdot x_n + b_{nn} \cdot x_{nn}^2$

Ці висновки стануть основою конкретних оперативно-технічних рекомендацій, оскільки обрані фактори характеризують як технічну, так і оперативну складові: роботу особового складу ПП (людський фактор) ПП під час знешкодження ВВП (фактор навколишнього середовища).

Для оцінки того, чи доцільно ці рекомендації впроваджувати в практичну діяльність, необхідно перевірити, наскільки значимо будуть відрізнятися обрані показники ефективності проведення РЗВВП, отримані до і після впровадження рекомендацій. З цією метою необхідно спочатку визначити як зміняться закономірності (4) виконання піротехніками k-ої складової СПЗЗНС

$$G_k' = F_k'(X - \Delta X, T), \quad (16)$$

де ΔX – зміни у множині вихідних перемінних (3.1) за визначеними після аналізу результатів ранжування в різних зонах рекомендацій, у тому разі пов'язаних із можливою ситуацією зміни початкового варіанту k проведення РЗВВП.

Оскільки визначення (16) відбувається як етап прогностичної порівняльної оцінки, його здійснення можливе шляхом використання методу безпосередніх експертних оцінок. Наявність (16) дозволить знову прове-

сти імітаційне моделювання РЗВНП ПП за вихідними даними, які будуть відкоригованими стосовно первинних у відповідності до розроблених оперативно-технічних рекомендацій.

В результаті будуть отримані нові моделі, порівняння яких в натуральному вигляді з відповідними, що були отримані за первісними вихідними даними, дозволить оцінити наскільки ефект від впровадження буде значимим. У відповідності до цього розроблені пропозиції і будуть рекомендуватись для впровадження в остаточному вигляді.

Висновки. Обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення робіт по знищенню вибухонебезпечних предметів повинно спиратися на аналіз закономірностей здійснення цього процесу, які мають бути отриманими за результатами оцінки того, як функціонує система «піротехнік – засоби захисту та забезпечення РЗВНП – надзвичайна ситуація».

Метод обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо підвищення ефективності проведення робіт зі знищення вибухонебезпечних предметів особовим складом піротехнічних підрозділів полягає у ранжуванні обраних для аналізу факторів у відповідності до максимальних перепадів в однофакторних моделях, які одержані на рівнях, що відповідають координатам екстремумів, а також в центрі факторного простору багатфакторної поліноміальної моделі, отриманої за результатами імітаційного моделювання.

Отримана багатфакторна модель повинна відображати залежність обраного показника ефективності проведення робіт зі знищення вибухонебезпечних предметів від факторів, які характеризують оперативні та технічні складові загального процесу ліквідації надзвичайної ситуації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наказ МНС України від 20.09.2010 № 791 «Про затвердження інструкції з організації та проведення робіт з розмінування місцевості на території України підрозділами та спеціалізованими підприємствами МНС».

2. Руководство по подрывным работам – М.: Воениздат. МО СССР, 1969. – 464 с.

3. Наказ ДСНС України від 9.03.2016 № 116 «Про затвердження методичних рекомендацій щодо організації та порядку проведення нетехнічної розвідки територій, імовірно забруднених (забруднених) вибухонебезпечними предметами».

4. Ultimate Protection for Bomb Disposal Squad. – Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.oshodefence.com/bds.php>.

5. Тоан, Dang Quang (2015) "Train-the-Trainer Trauma Care Program in Vietnam," *Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 19: Iss. 1,

Article 9. – Режим доступу: <http://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol19/iss1/9>.

6. Іванець Г.В. Індивідуальний захист саперів від дії осколків і куль / Г. В. Іванець, Є. І. Стецюк, М. Г. Іванець // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 4. – С. 21-24.

7. Smith, Andy (2017) "An APT Demining Machine," *Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 21: Iss. 2, Article 15. – Режим доступу: <http://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol21/iss2/15>.

8. Advanced EOD Bombsuit and Helmet. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.wiltd.com/defence/Protective_Clothing/Bomb.

9. "Qasef: Escaping the Bombing: The Use of Explosive Weapons in Populated Areas and Forced Displacement: Perspectives from Syrian refugees." Handicap International (2016). Accessed 19 May 2017. – Режим доступу: <http://bit.ly/2qBI5Vu>.

10. Torbet, Nick and Thompson, Patrick (2017) "21st Century Survey in Eastern Ukraine and the Use of Technology in Insecure Environments," *Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 21 : Iss. 2 , Article 6. – Режим доступу: <http://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol21/iss2/6>

11. Tania Xiao. Analysing mine emergency management needs: a cognitive work analysis approach / Tania Xiao; Tim Horberry; David Cliff // *International Journal of Emergency Management (IJEM)*, Vol. 11, No. 3, 2015 , pp.191 – 208. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.inderscience.com/offer.php?id=71705>.

12. Toan, Dang Quang (2015) "Train-the-Trainer Trauma Care Program in Vietnam," *Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 19 : Iss. 1 , Article 9. – Режим доступу: <http://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol19/iss1/9>

13. Lauritzen, Erik (2014) "Lessons From Lebanon: Rubble Removal and Explosive Ordnance Disposal," *Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 18: Iss. 1, Article 9. – Режим доступу: <http://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol18/iss1/9>.

14. Розробка рекомендацій щодо підвищення рівня індивідуальної безпеки особового складу піротехнічних підрозділів при вибухонебезпечних предметів [Текст]: Звіт про НДР (заключ.) / НУЦЗУ; кер. Вальченко О.І.; вик.: Стецюк Є.І. [та ін.]. – Харків, 2015. – 99 с. – № ДР 0114U002245.

15. Зигель А. Модели группового поведения в системе "человек-машина" / А. Зигель, Дж. Вольф. – М.: Мир, 1976. – 356 с.

16. Попович П.Р. Эргономическое обеспечение деятельности космонавтов / П.Р. Попович, А.И. Губинский, Г.М. Колесников – М.: Машиностроение, 1985.– 272 с.

17. Стрілець В.М. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: моногр. /

В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха; НУЦЗУ. – Х.: НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2012. – 112 с.

18. Стрелец В.М. Имитационный анализ системы «человек-машина» как метод эргономической оценки функционирования аварийных служб / В.М. Стрелец // Радиоэлектроника и информатика. – 2001. – № 3 (16) – С. 125-128.

19. Стрелец В.М. Развитие метода имитационной эргономической оценки функционирования системы «спасатель – средства защиты личного состава и ликвидации аварии – чрезвычайная ситуация» / В.М. Стрелец // Вестник Кокшетауского технического института. – Кокшетау. – 2014. – № 4 (16). – С.19-26.

20. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

21. NIJ Standard – 0101.03 – Bullet Resistance of Personal Body Armor. – Режим доступа: <http://www.ballisticedge.com.au/NIJ0103.htm>.

Отримано редколлегією 06.09.2017

В.М. Стрелец, Е.И. Стецюк, Е.В. Иванов, И.В. Шепелев

Метод обоснования рекомендаций личному составу пиротехнических подразделений по результатам имитационного моделирования их деятельности

Разработан метод обоснования рекомендаций личному составу пиротехнических подразделений, в соответствии с которым обоснование предложений по повышению эффективности проведения работ по уничтожению взрывоопасных предметов происходит в соответствии с результатами ранжирования факторов по степени их влияния на эффективность ликвидации чрезвычайной ситуации путем анализа однофакторных моделей, полученных при стабилизации в общей модели, полученной в результате имитационного моделирования по выбранному плану, других факторов в центре и на краях факторного пространства.

Ключевые слова: эффективность, пиротехническое подразделение, предложения, ранжирование факторов.

V.M. Strelec, E.I. Stetsyuk, E.V. Ivanov, I.V. Shepelev

Method of justifying recommendations to the personnel of pyrotechnic units based on the results of simulation of their activities

A method for justifying recommendations to the personnel of pyrotechnic units has been developed, according to which the rationale for proposals for increasing the efficiency of work on the destruction of explosive objects occurs in accordance with the results of ranking factors by the degree of their impact on the effectiveness of emergency response elimination by analyzing single-factor models obtained with stabilization in the overall model, obtained as a result of simulation for the selected plan, other factors per cent and on the edges of the quotient space.

Keywords: efficiency, pyrotechnic subdivision, proposals, ranking of factors.