

УДК 351.101

В.М. СТІЛЕЦЬ

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

РОЗРОБКА ОПЕРАТИВНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ПРОВЕДЕННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ ПЕРШИМ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИМ ПІДРОЗДІЛОМ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Розроблено оперативно-технічний метод скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій. Відповідно до нього обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт відбувається за результатами ранжування факторів за ступенем їх впливу на ефективність ліквідації надзвичайної ситуації в однофакторних моделях аварійно-рятувальних робіт. Ці моделі визначаються при стабілізації в загальній моделі, яку отримують за результатами імітаційного моделювання за обраним планом, інших факторів в центрі і на краях факторного простору.

Постановка проблеми. Ефективне проведення аварійно-рятувальних робіт (АРР) вимагає розробки комплексу оперативно-технічних заходів, реалізація яких забезпечить скорочення часу ліквідації надзвичайної ситуації (НС) при обмеженнях на людські і технічні ресурси, не знижуючи при цьому рівень безпеки рятувальників. В той же час, проведення АРР, пов'язаних з ліквідацією техногенних НС, першими ПРП ускладнюється тим, що: - основне пожежно-технічне озброєння і відповідні тактичні прийоми були розроблені в 60÷70-х роках двадцятого сторіччя, внаслідок чого вони не відповідають сучасним вимогам (наприклад, оперативний розрахунок автоцистерни складає 3-4 чоловіка, а його завдання були розроблені виходячи з чисельності в 6 чоловік); - Статут Дій [1] вимагає проведення АРР в метрополітені рятувальниками, які використовують регенеративні дихальні апарати, проте ПРП, що мають на озброєнні апарати на стисненому повітрі, прибувають до місця надзвичайної ситуації на 15-30 хвилин раніше; - засоби індивідуального захисту особового складу були розроблені для використання в умовах, які відповідають найгіршим умовам пожежі, тоді як умови в осередку НС з викидами небезпечних речовин на 1-2 порядки гірші; - нормативи для оцінювання рівня підготовленості особового складу не враховують місцеві особливості та специфіку об'єктів, до охорони яких залучаються ПРП); - в ПРП з'явилась нова техніка (аварійно-рятувальні автомобілі, автомобілі ГДЗС тощо), для якої відсутні рекомендації щодо підготовки рятувальників до її ефективного використання під час проведення АРР тощо. Враховуючи це, проблема невідповідності існуючого аварійно-рятувального озброєння в ПРП сучасним завданням, які стоять перед ним стосовно ліквідації техногенних НС, є актуальною і вимагає системних досліджень.

Аналіз останніх досягнень і публікацій показав, що процес ліквідації НС є предметом вивчення з різних сторін: – у більшості випадків його розглядають з позицій організації робіт з її ліквідації [2-5] або з позицій розвитку надзвичайної ситуації [6-8]; – рідше з позицій загальної теорії профілактики [9-10]. Проте системним дослідженням проблем забезпечення ефективності проведення АРР на локальному рівні та їх теоретичному узагальненню приділяється явно недостатньо уваги, що створює певні «білі плями» у безперервному ланцюгу вдосконалення АРР в умовах техногенних НС.

З комплексних позицій АРР як процес функціонування складної людино-машинної системи розглядався в [11-13]. Там відзначено, що для об'єктивної оцінки такого процесу необхідно проаналізувати велику кількість взаємозалежних проміжних робіт, які

забезпечують ліквідацію НС, евакуацію та рятування (при необхідності) постраждалих. І зробити це можна за допомогою відповідної імітаційної моделі. Проте розроблені імітаційні моделі використовувались для розробки пропозицій тільки за одним із обраних факторів, який міг бути або таким, що стосується особового складу (і його можна розглядати в більшій, чи меншій мірі оперативним), або аварійно-рятувального озброєння ПРП (і в цьому випадку його можна розглядати у якості технічного).

Постановка задачі та її розв'язання. У зв'язку з цим необхідно розробити оперативно-технічний метод, який базується на результатах імітаційного моделювання, скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій.

У відповідності до методології імітаційного моделювання [14] обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення АРР ПРП повинно спиратися на аналіз закономірностей здійснення цього процесу, які мають бути отриманими за результатами оцінки того, як функціонує система «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація» (СРЗЗНС). При цьому у якості вихідних перемінних виступають показники, що характеризують безпосередньо рятувальників (множина $X_{\text{РЯТ}}$), аварійно рятувальне обладнання (множина $X_{\text{АРО}}$), місце проведення АРР (множина $X_{\text{М}}$) та надзвичайну ситуацію (множина $X_{\text{НС}}$). Враховуючи те, що вихідні дані розглядаються на момент виникнення НС, можна вважати – в кожній множині відсутні спільні перемінні і, відповідно, вони є такими, які не перетинаються,

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

Крім того, в нормативно-довідковій літературі, якою користуються в ПРП, визначається порядок ліквідації (локалізації) НС, який уявляє собою множину варіантів проведення АРР ПРП

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

де Q_m – m -ий варіант проведення АРР; n_m – кількість варіантів бойової роботи; K_m – множина, яка впорядковує правила організації СРЗЗНС таким чином, щоб при вихідних показниках X отримати m -ий алгоритм ліквідації (локалізації) НС; φ_1 – відображення $K_m \times X$ в множину Q .

В процесі функціонування СРЗЗНС під час виконання окремих складових (наприклад, операцій), які забезпечують проведення АРР ПРП 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 АРР ПРП; n_k – кількість складових для Q^* ; Z_k – множина, яка впорядковує зв'язки між елементами множини Q^* та результатами виконання окремих складових процесу проведення АРР ПРП; 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 АРР ПРП. 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 АРР.

Якщо окремі властивості СРЗЗНС, у тому разі множина G , є частковими характеристиками системи, то ефективність системи є нормованим до вихідних перемінних X результатом функціонування СРЗЗНС на певному інтервалі часу, тобто ефективність проведення обраного варіанту АРР ПРП за умови визначення множини G (наприклад, в результаті використання закономірностей виконання рятувальниками окремих складових процесу проведення АРР) представляє собою впорядковану множину

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

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 АРР ПРП; φ_3 – відображення $H_q^* \times X \times G^*$ в множину Y^* (наприклад, визначення показників ефективності в результаті імітаційного моделювання АРР ПРП).

Оскільки у виразі (5) враховуються як технічні (X_{ARO}), так і оперативні ($X_{РЯТ}$, X_M , $X_{НС}$, Q) складові функціонування СРЗЗНС, то множина Y відображає оперативно-технічний характер проведення АРР ПРП і може розглядатись як закономірність проведення АРР ПРП

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

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

Впорядкованість множини Y дозволяє перейти від (6) до багатofакторної поліноміальної моделі [15], 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 АРР ПРП.

Так, наприклад, підвищення рівня спеціальної витривалості газодимозахисників буде більш сильно впливати на час виконання поставленого завдання при переході від початкового рівня підготовленості до середнього, ніж від середнього до високого. Або, підвищення рівня практичної виучки як особового складу ПРП, так і персоналу метрополітену буде більш сильно впливати на час ліквідації НС в метрополітені 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 комплексі засобів індивідуального захисту (КЗІЗ), в яких ізолюючий апарат знаходиться всередині костюма, та коли використовується комбінація,

при якій ізолюючий апарат знаходиться ззовні костюму, або ж особовий склад працює в КЗІЗ, що включають до свого складу фільтрувальні протигази. Нелінійний вплив факторів в поліноміальній моделі можна врахувати їх квадратичним уявленням.

При цьому є очевидним взаємозв'язок між інтенсивністю викиду небезпечної хімічної речовини (НХР) та комбінацією засобів індивідуального захисту рятувальників. Крім того, можна передбачити й інші взаємозв'язки між факторами. Наприклад, що підготовленість рятувальників сильніше буде проявлятися під час роботи в більш складних умовах. Або, при швидких та правильних діях співробітників метрополітену аналогічні дії особового складу ПРП буде проявлятися слабкіше, та навпаки. Схожа ситуація має місце й зі ступенем реалізації нормативно-технічних вимог – чим більше вони задоволені, тим менше будуть працювати рятувальники. В поліноміальній моделі ефекти взаємодії можуть бути враховані відповідними коефіцієнтами при добутках факторів, що розглядаються.

З урахуванням вищевикладеного поліноміальна модель проведення АРР ПРП в загальному випадку має вид

$$Y = a_0 + a_1X_1 + \dots + a_nX_n + a_{11}X_1^2 + \dots + a_{nn}X_n^2 + a_{12}X_1X_2 + \dots + a_{(n-1)n}X_{n-1}X_n, \quad (7)$$

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 [16]

$$y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n + b_{11}x_1^2 + \dots + b_{nn}x_n^2 + b_{12}x_1x_2 + \dots + b_{(n-1)n}x_{n-1}x_n. \quad (8)$$

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

$$y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n + b_{11}x_1^2 + \dots + b_{nn}x_n^2 + b_{12}x_1x_2 + \dots + b_{(n-1)n}x_{n-1}x_n$$

$$\Downarrow$$

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

Це можна здійснити шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей $y = f_i(x_i)$, отриманих при стабілізації інших $x_{j \neq i}$ факторів [17].

Наявність масиву даних щодо часу проведення АРР ПРП, 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 оперативних 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 $y_{\max}$,

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

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

а також в центрі факторного простору

$$\left\{ \begin{array}{l} y_0(x_1) = f(x_1; x_2 = 0; \dots; x_n = 0) = \\ \quad = b_{0y_0(x_1)}(x_2 = 0; \dots; x_n = 0) + b_{y_0(x_1)} \cdot x_1; \\ y_{\min}(x_n) = f(x_n; x_1 = 0; \dots; x_{n-1} = 0) = \\ \quad = b_{0y_0(x_n)}(x_1 = 0; \dots; x_{n-1} = 0) + b_{y_0(x_n)} \cdot x_n, \end{array} \right. \quad (12)$$

можуть відрізнятися. І в цьому випадку

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

Відповідно, обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення АРР ПРП 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

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

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 аварійно-рятувальних робіт пожежно-рятувальним підрозділом 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.

При відборі основних факторів для детального дослідження та виборі плану імітаційного експерименту доцільно враховувати побажання експертів, які залучаються до аналізу закономірності проведення АРР ПРП, не розглядати одночасно більше трьох факторів [17]. Це вони пояснюють тим, що вплив більшої кількості факторів, які впливають на СРЗЗНС оцінити складно, оскільки її стан постійно та достатньо швидко змінюється. З урахуванням цього та результатів аналізу особливостей проведення АРР ПРП, наведених в [18], для процесу ліквідації НС з викидами НХР, наприклад, виділені такі значимі фактори: x_1 – приведена інтенсивність ψ викиду НХР; x_2 – підготовленість особового складу; x_3 – комбінація засобів індивідуального захисту рятувальників, в якій будуть працювати рятувальники. Крім цього експерти також вказали на доцільність оцінки впливу обраних факторів, коли вони міняються на двох рівних інтервалах.

Аналіз відібраних факторів показує, що можна очікувати їх нелінійний вплив на загальний час проведення АРР ПРП при локалізації НС з викидом НХР. Так, стосовно

приведеної інтенсивності ψ викиду НХР (x_1) в [6] відмічено, що при $\psi = 1 \frac{\text{кг/с}}{\text{мг/м}^3}$ ($x_1 = -1$)

всі операції повинні виконуватись особовим складом в комплексі засобів індивідуального захисту, який передбачає обов'язкову наявність ізолюючого апарату всередині

ізолюючого костюму; при $\psi = 0,1 \frac{\text{кг/с}}{\text{мг/м}^3}$ ($x_1 = 0$) – обов'язкова наявність ізолюючого

апарату, який може бути й поверх ізолюючого костюму; при $\psi = 0,01 \frac{\text{кг/с}}{\text{мг/м}^3}$ ($x_1 = +1$) –

рятувальники можуть бути в фільтрувальних протигазах. Можна передбачати, що фактор x_1 на час проведення АРР буде впливати нелінійно.

В [19] зазначено, що час виконання окремих операцій в залежності від рівня підготовленості рятувальників змінюється за експоненціальним законом, тобто рівень практичної виучки буде сильніше позначатися на часі розглянутого процесу при переході від початкового рівня підготовленості ($x_2 = -1$) до середнього ($x_2 = 0$), ніж від середнього до високого ($x_2 = +1$). Аналогічна ситуація має місце і при порівнянні того, як швидко виконуються окремі операції в КЗІЗ першого типу, коли ізолюючий апарат знаходиться всередині костюма ($x_3 = -1$), в порівнянні з тими, коли використовується комбінація, при якій ізолюючий апарат знаходиться зовні костюма ($x_3 = 0$), або ж особовий склад працює в комбінації ізолюючого костюма з фільтруючим протигазом ($x_3 = +1$).

При цьому є очевидним взаємозв'язок між інтенсивністю викиду НХР та комбінацією засобів індивідуального захисту рятувальників. Крім того, можна передбачити й інші взаємозв'язки між факторами. Наприклад, що підготовленість рятувальників більш сильно проявляється під час роботи в більш складних умовах. В поліноміальній моделі (8) нелінійний вплив факторів можна врахувати їх квадратичним уявленням, а ефекти взаємодії – відповідними коефіцієнтами при добутках факторів, що розглядаються.

Аналогічна ситуація має місце й під час проведення АРР першим ПРП при НС в метрополітені. Так, при виборі плану імітаційного експерименту, за результатами якого передбачається розробити оперативно-технічні рекомендації щодо підвищення ефективності АРР на станціях метрополітену глибокого залягання, як і в ситуації з аналізом дій ПРП під час ліквідації НС з викидом НХР, необхідно враховувати, що не доцільно розглядати одночасно більше трьох факторів. При цьому останні в процесі імітаційного експерименту будуть мінятися на двох рівних інтервалах. Враховуючи результати аналізу особливостей проведення АРР на станціях метрополітену [17], для детального аналізу можна вибрати наступні фактори, які будуть розглядатись експертами в нормованому вигляді: u_1 – підготовленість ПРП; u_2 – підготовленість співробітників метрополітену; u_3 – ступінь реалізації на станції вимог нормативних документів до техногенної та пожежної безпеки [20].

Аналіз цих факторів показує, що слід враховувати їх нелінійний вплив на ефективність проведення АРР на станції. Можна очікувати, що підвищення рівня підготовленості пожежних першого ПРП та співробітників метро від початкового рівня ($u_1 = -1$; $u_2 = -1$), який відповідає навичкам та знанням після первинної підготовки та отримання допуску на проведення самостійної роботи, до середнього ($u_1 = 0$; $u_2 = 0$), який відповідає підготовленості більшості задіяних в проведенні АРР, що мають кількарічний досвід, вплине сильніше на скорочення часу проведення АРР на станціях метрополітену, ніж перехід від середнього рівня підготовленості до високого ($u_1 = +1$; $u_2 = +1$), який відповідає рівню підготовленості висококваліфікованих фахівців.

Аналогічну ситуацію можна очікувати і по відношенню до того, наскільки станція метрополітену відповідає нормативним вимогам ($u_3 = -1$ – на станції є порушення, відмічені в Приписах Держпожнадзора або Держпраці, усунення яких вимагає капіталомістких робіт; $u_3 = 0$ – є порушення, які мають некритичний характер і мають бути усуненими в робочому порядку; $u_3 = +1$ – порушень практично нема), оскільки для низького рівня ($u_3 = -1$) характерними є порушення, що пов'язані зі шляхами евакуації та з джерелами виникнення НС, у тому разі установках підвищеної небезпеки, а для порушень середнього рівня ($u_3 = 0$) – з можливими несправностями обладнання станції та їх несуттєвими недоліками. Як і для високого рівня ($u_3 = +1$), при середньому рівні відповідності шляхи евакуації забезпечують нормативний час виходу людей на поверхню.

Ефекти від впливу обраних факторів взаємодіють між собою. Це може сказатися на часі проведення АРР на станції метрополітену. Так, якщо співробітники метрополітену евакуювали всіх пасажирів, то пожежні першого ПРП рятувальні роботи проводити не будуть. Якщо під час евакуації пасажирів персонал станції діяв правильно, то навіть ті потерпілі, які вимагають рятування, знаходяться в таких місцях (як правило, на шляхах евакуації), що їх пошук не буде викликати особливих затруднень у газодимозахисників. Аналогічна ситуація може мати місце і в тому, як ступінь відповідності станції нормативним вимогам вплине на час проведення АРР ПРП, оскільки наявність порушень правил пожежної безпеки, пов'язаних із підтриманням в належному стані шляхів евакуації, може суттєво збільшити час рятувальної операції.

Як і у випадку моделі ліквідації НС з викидами НХР першим ПРП, нелінійний вплив факторів є можливим відобразити їх квадратичним уявленням, а ефекти взаємодії між факторами – відповідними коефіцієнтами при добутках обраних факторів.

Тобто, математична модель залежності часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій має вид

$$y(x) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_2 \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_3 \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_3^2. \quad (16)$$

Виходячи з вищевикладеного, доцільно обрати план імітаційного експерименту $3 \times 3 \times 3$ – традиційний план техніко-економічних експериментів, який використовується при дослідженні впливу окремо кожного з трьох факторів на трьох рівнях (при інших рівних умовах) і має гарні статистичні характеристики та кращі по точності оцінки всіх коефіцієнтів регресії $\{k_s\}$ [16].

При проведенні багатфакторного імітаційного моделювання у відповідності до обраного плану найгірші показники відповідають рівню $-1-1-1$, середні – рівню $0 \ 0 \ 0$, а найкращі – $+1+1+1$.

Зміна відібраних факторів на трьох рівнях через рівні інтервали дозволяє суттєво спростити побудову поліноміальних моделей, які необхідно знайти, оскільки в результаті цього під час розрахунку оцінок коефіцієнтів b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} та значень дисперсій оцінок отриманих коефіцієнтів можна використовувати готові формули [16].

Інтерпретація отриманої моделі (16) доцільно проводити при наростаючому ступені ризику відвернути правильну гіпотезу [17]. Значимість коефіцієнтів регресії за цим методом перевіряється багатократно від рівня значимості $\alpha = 0,01$ до $\alpha = 0,5$, враховуючи під час оцінки похибок розрахунку коефіцієнтів регресії середню дисперсію вимірів.

При кожному рівні ризику будується граф зв'язку між факторами. Найбільш достовірним будуть висновки, що здійснюються за графом, який відповідає рівню значимості $\alpha = 0,01$. По графу, що відповідає рівню значимості $\alpha = 0,5$, робиться обережний «рівно можливий» висновок, який може бути корисним на стадії початку пошукових робіт.

Прийом для аналізу двостороннього ризику $\alpha = 0,2$, оскільки розробку оперативних рекомендацій можна віднести до пошукових робіт, дозволяє вилучити незначні ефекти. Це дозволить спростити для аналізу кінцеву модель (16) та перейти до ранжування по максимальному перепаду Δy в однофакторних моделях $y = f_i(x_i)$, що одержані при стабілізації інших факторів x_i на рівнях, що відповідають координатам екстремумів $y_{\min}$ та $y_{\max}$, а також в центрі факторного простору (табл. 1).

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. Ці висновки стануть основою конкретних оперативно-технічних рекомендацій, оскільки обрані фактори характеризують як технічну (фактор x_3), так і оперативну складові: роботу особового складу (людський фактор x_2) ПРП під час ліквідації НС в умовах впливу НХР (фактор навколишнього середовища x_1). Або роботу особового складу першого ПРП (фактор u_1) та персоналу метрополітену (фактор u_2) як оперативної складової, та рівня відповідності станції нормативним вимогам (фактор u_3) як технічної складової.

Для оцінки того, чи доцільно ці рекомендації впроваджувати в практичну діяльність, необхідно перевірити, наскільки значимо будуть відрізнятися обрані показники ефективності проведення АРР (час рятування потерпілого першим ПРП, час попереднього бойового розгортання першого ПРП, час локалізації Н з викидами НХР тощо), отримані до і після впровадження рекомендацій. З цією метою необхідно спочатку

визначити як зміняться закономірності (4) виконання рятувальниками k -ої складової СРЗЗНС

$$G_{k'}' = F_{k'}'(X - \Delta X, T), \quad (17)$$

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 АРР.

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

	В зоні максимуму	В центрі факторного простору	В зоні мінімуму
1	2	3	4
x_1	$y = (b_0 - b_2 - b_3 + b_{22} + b_{33}) + (b_1 - b_{12} - b_{13}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$	$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$	$y = (b_0 + b_2 + b_3 + b_{22} + b_{33}) + (b_1 + b_{12} + b_{13}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$
x_2	$y = (b_0 - b_1 - b_3 + b_{11} + b_{33}) + (b_2 - b_{12} - b_{23}) \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_{22}^2$	$y = b_0 + b_2 \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_{22}^2$	$y = (b_0 + b_1 + b_3 + b_{11} + b_{33}) + (b_2 + b_{12} + b_{23}) \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_{22}^2$
x_3	$y = (b_0 - b_1 - b_2 + b_{11} + b_{22}) + (b_3 - b_{13} - b_{23}) \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_{33}^2$	$y = b_0 + b_3 \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_{33}^2$	$y = (b_0 + b_1 + b_2 + b_{11} + b_{22}) + (b_3 + b_{13} + b_{23}) \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_{33}^2$

Оскільки визначення (17) відбувається як етап прогностичної порівняльної оцінки, його здійснення можливе шляхом використання методу безпосередніх експертних оцінок. Наявність (17) дозволить знову провести імітаційне моделювання АРР першим ПРП 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.

Висновок.

Оперативно-технічний метод скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій полягає в розробці оперативно-технічних рекомендацій у відповідності до максимальних перепадів в однофакторних моделях, які

одержані на рівнях, що відповідають координатам екстремумів, а також в центрі факторного простору багатофакторної поліноміальної моделі, отриманої за результатами імітаційного моделювання у відповідності до традиційного плану техніко-економічних експериментів 3х3х3. Ця модель відображає залежність часу проведення аварійно-рятувальних робіт від факторів, які характеризують оперативні та технічні складові загального процесу ліквідації надзвичайної ситуації.

1. Наказ МНС України від 13.03.2012 № 575 «Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 травня 2012 року за № 835/21147.
2. Реагування на виникнення надзвичайних ситуацій / за ред. С.О. Гур'єва / ІДУСЦЗ НУЦЗУ; УНПЦ ЕМД та МК. – Вінниця, 2010. – 412 с.
3. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В.А., Лукьянченков А.Г., Павлов К.Н. и др.]; под ред. В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
4. Михно Е.П. Ликвидация последствий аварий и стихийных бедствий / Михно Е.П. – М.: Атомиздат, 1979. – 412 с.
5. Collision of Norfolk Southern Freight Train 192 With Standing Norfolk Southern Local Train P22 With Subsequent Hazardous Materials Release at Graniteville, South Carolina January 6, 2005. Режим доступу: <http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/RAR0504.pdf>
6. Басманов А.Е. Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков, М.В. Васильев // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2011. – № 13. – С. 20-33.
7. Акимов В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радаев. – М.: ЗАО ФИД, 2001. – 344 с.
8. 25 Biggest Man Made Environmental Disasters In History. Режим доступу: <http://list25.com/25-biggest-man-made-environmental-disasters-in-history/1/>
9. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. Учебник. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
10. Семенов А.О. Совершенствование системы управления пожарно-спасательными подразделениями при ликвидации крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций: диссертация, канд.техн.наук: 05.13.10.– Москва, 2006.– 161 с.
11. Абрамов Ю.А. Методика эргономической оценки деятельности боевых расчетов пожарных автомобилей / Ю.А. Абрамов, В.Н. Чучковский, П.А. Ковалев, В.М. Стрелец // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. – 1998. – Вып. 4 – С.3-5.
12. Бондарев В.Ф., Семенов В.В. Имитационное моделирование боевых действий по тушению пожаров на электроподстанциях метрополитена // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО, 1989. – С. 44-59.
13. Подгрушный А.В. Исследования по спасанию людей из зданий повышенной этажности при пожарах./ А.В. Подгрушный, Ч.Д. Хонг// Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – Том 16(4). – С.66-68
14. 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.
15. 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.
16. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

17. Стрілець В.М. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: моногр. / В.М. Стрілець, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха; НУЦЗУ. – Х.: НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2012. – 112 с.
18. Васильєв М.В. Аналіз герметичності комплексу засобів індивідуального захисту першого типу / М.В. Васильєв, В.М. Стрілець, В.В. Коврегін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – № 11. – С.29-38
19. Стрелец В.М. Раскрытие закономерностей деятельности спасателей при выполнении основных операций в процессе ликвидации аварий с выбросом опасных химических веществ / В.М. Стрелец, М.В. Васильев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2013. – № 2. – С. 81-86.
20. Стрелец В.М. Метод имитационного эргономического анализа закономерностей, характеризующих отдельные этапы функционирования системы «спасатель – чрезвычайная ситуация в метрополитене – средства защиты и ликвидации аварии» / В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич // Информационное обеспечение и АСУ на железнодорожном транспорте: сб. научн. тр. – Харьков: ХГАЖТ, 2008. – Вып.21. – С.140-145.

В.М. Стрелец

РАЗРАБОТКА ОПЕРАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕТОДА СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПЕРВЫМ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Разработан оперативно-технический метод сокращения времени проведения аварийно-спасательных работ первым пожарно-спасательным подразделением в условиях техногенных чрезвычайных ситуаций. В соответствии с ним обоснование предложений по повышению эффективности проведения аварийно-спасательных работ происходит по результатам ранжирования факторов по степени их влияния на эффективность ликвидации чрезвычайной ситуации в однофакторных моделях аварийно-спасательных работ. Эти модели получают при стабилизации в общей модели, определенной в результате имитационного моделирования по выбранному плану, других факторов в центре и на краях факторного пространства.

V.M. Strelec

THE DEVELOPMENT OF OPERATIONAL AND TECHNICAL METHOD OF REDUCING THE TIME OF THE RESCUE THE FIRST FIRE AND RESCUE UNITS IN THE CONDITIONS OF TECHNOGENIC EMERGENCIES

It develops operational and technical method of reducing the time of the rescue the first fire and rescue units in terms of man-made emergencies. In accordance with this rationale of proposals to improve the effectiveness of rescue operations going on the results of ranking factors on the degree of their impact on the effectiveness of emergency response in univariate models rescue. These models are obtained by the stabilization in the general model defined as a result of the simulation for the selected plan, other factors in the center and on the edges of the factor space.