

Д.Ю. Белюченко, В.М. Стрілець

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

## БАГАТОФАКТОРНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ПОЖЕЖНИХ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

Показано, що підвищення ефективності аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру вимагає багатофакторної оцінки оперативного розгортання пожежних автомобілів. Під час здійснення такої оцінки необхідно врахувати, що вихідні показники можуть мати нелінійний вплив на показники ефективності та бути взаємопов'язані між собою. Визначена доцільність використання плану 3x2x2 для проведення багатофакторного експерименту та отримання поліноміальних моделей залежності часу оперативного розгортання від класу пожежного автомобіля, рівня підготовленості особового складу та пори року. За наявних експериментальних результатів отримано та проаналізовано трифакторні поліноміальні моделі функціонування системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – поря року».

**Ключові слова:** оперативне розгортання, пожежний автомобіль, надзвичайна ситуація, багатофакторна оцінка

### Постановка проблеми

Ефективне проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру супроводжується протиріччям між тактичними прийомами, що були розроблені в 60-70-х роках двадцятого сторіччя з урахування створеної на той час рятувальної техніки і наведені в діючих документах [1], та наявною практикою оперативної роботи рятувальників, які використовують нові зразки такої техніки з покращеними тактико-технічними характеристиками [2]. При цьому для них відсутні рекомендації щодо їх використання, які б враховували рівень підготовленості особового складу або пори року тощо.

Все це свідчить, що проблема розробки науково-обґрунтованих рекомендацій особовому складу оперативно-рятувальних підрозділів з урахуванням сучасних умов є актуальною, а її розв'язання забезпечить підвищення ефективності дій цих підрозділів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В [3-5] показано, що в результаті несвочасного оперативного розгортання пожежно-рятувальної техніки під час ліквідації надзвичайних ситуацій або пожеж може мати місце велика кількість потерпілих. Підтвердженням актуальності питань щодо скорочення часу оперативних розгортань перших пожежно-рятувальних підрозділів є і те, що саме ці дії складають 65-80

відсотків загального обсягу роботи першого відділення в залежності від регіону [6], а під час ліквідації надзвичайних ситуацій бойові роботи із залученням автоцистерн виконуються майже у 90% всіх випадків [7]. Тобто, основним автомобілем, який використовується особовим складом оперативно-рятувальних підрозділів під час ліквідації надзвичайних ситуацій є автоцистерна. В той же час, існуючі нормативні вимоги в ДСНС України до оперативних розгортань автоцистерн конкретизовані тільки для базової автоцистерни АЦ-40 (131) [8], хоча в пожежно-рятувальних підрозділах використовуються й інші автоцистерни, наприклад, МАЗ АЦ-4-60 або АППД-2 «Валдай», які суттєво відрізняються як за своїми технічними характеристиками, так і за оперативно-тактичними умовами їх застосування.

Питання вдосконалення оперативних дій підрозділів оперативно-рятувальної служби є актуальними у всьому світі. Так, в США Федеральне агентство по реагуванню на надзвичайні ситуації ФЕМА координує дії всіх державних служб з урахуванням, у відповідності до [9,10], як місцевих особливостей (у тому разі метеорологічних), так і пожежно-рятувальної техніки, яка є в підрозділах. При цьому Стандарти NFPA [11-13] уточнюють, що особовий склад під час оперативного розгортання рятувальної техніки повинен врахувати місцеві особливості та метеорологічні умови, а також забезпечити оптимальне застосування і раціональне використання пожежно-рятувальної техніки та оснащення [14]. Проте, яким чином повинні бути

враховані ці фактори не конкретизовано, у тому разі під час використання пожежних автоцистерн різного класу [15,16]. В Німеччині технічне оснащення аварійно-рятувального формування визначається конкретними можливостями кожної общини та погодними особливостями кожного регіону [17]. Базовим стандартом є стандарт EN 1846 [18,19], який, серед іншого, поділяє пожежні автомобілі на три масових класи, з урахуванням різноманітних чинників та місцевих умов. Але і там особливості оперативного розгортання, пов'язані з класом пожежно-рятувальної техніки, порою року та рівнем підготовленості особового складу, не розглядаються.

Результати таких досліджень наведені в [20,21], проте вони відображають тільки однофакторні залежності, хоча в [22] відзначається їх багатофакторний характер: фактори між собою взаємозалежні, а кожний окремий фактор впливає на ефективність оперативної діяльності особового складу, яку можна розглядати як функціонування системи «рятувальник – аварійно-рятувальне озброєння – середовище» [23], нелінійно. В той же час, у відповідності до методології імітаційного, у тому разі фізичного, моделювання [24] обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт повинно спиратися на аналіз закономірностей здійснення цього процесу, які мають бути отриманими за результатами оцінки того, як функціонує система «рятувальник – аварійно-рятувальне озброєння – середовище».

Таким чином, важливою та нерозв'язаною частиною проблеми є розробка пропозицій щодо підвищення ефективності оперативного розгортання пожежних автомобілів під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру з урахуванням взаємозалежного та нелінійного впливу найбільш важливих факторів, до яких можна віднести рівень підготовленості особового складу як характеристику компоненти «рятувальник», клас пожежного автомобіля як характеристику компоненти «аварійно-рятувальне озброєння» та пору року як характеристику компоненти «середовище».

### Формування мети статті

Метою дослідження є багатофакторна оцінка ефективності оперативного розгортання пожежних автомобілів в умовах виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

– визначити особливості отримання багатофакторної оцінки ефективності

функціонування системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року» у вигляді поліному;

– обґрунтувати план експериментальних досліджень, здійснення якого дозволить отримати поліноміальну оцінку оперативного розгортання пожежних автомобілів під час ліквідації надзвичайної ситуації;

– у відповідності до наявних експериментальних результатів отримати багатофакторні поліноміальні моделі функціонування ергатичної системи, яка розглядається;

– проаналізувати отримані поліноміальні моделі та обґрунтувати рекомендації щодо підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

### Виклад основного матеріалу

Аналіз системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року» показує, що в ній у якості вихідних перемінних виступають показники, що характеризують безпосередньо рятувальників (множина  $X_{РЯТ}$ ), пожежні автоцистерни та їх оснащення (множина  $X_{АЦ}$ ), місце проведення аварійно-рятувальних робіт (множина  $X_M$ ) та надзвичайну ситуацію (множина  $X_{НС}$ ). Враховуючи те, що вихідні дані розглядаються на момент виникнення НС, можна вважати [24] – в кожній множині відсутні спільні перемінні і, відповідно, вони є такими, які не перетинаються,

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

Крім того, в [26,27] регламентується порядок ліквідації НС, який стосовно оперативних розрахунків пожежних автоцистерн уявляє собою множину варіантів оперативного розгортання пожежних автомобілів

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

де  $Q_m$  – m-ий варіант оперативного розгортання АЦ;  $n_m$  – кількість варіантів оперативного розгортання АЦ;  $K_m$  – множина, яка впорядковує правила організації системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року» таким чином, щоб при вихідних показниках  $X$  отримати m-ий алгоритм оперативного розгортання;  $\varphi_1$  – відображення  $K_m \times X$  в множину  $Q$ .

В процесі функціонування системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року» під час виконання особовим складом окремих

операцій, які забезпечують проведення оперативного розгортання 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 оперативного розгортання;  $n_k$  – кількість складових для  $Q^*$ ;  $Z_k$  – множина, яка впорядковує зв'язки між елементами множини  $Q^*$  та результатами виконання окремих складових оперативного розгортання;  $\varphi_2$  – відображення  $Z \times Q^* \times T$  в множину  $G^*$  (визначення ефектів).

Відображення  $\varphi_2$  фактично уявляє собою процес визначення ефектів від реалізації конкретних складових обраного варіанту проведення оперативного розгортання.

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 варіанту оперативного розгортання.

Якщо окремі властивості системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року», у тому разі множина  $G$ , є частковими характеристиками системи, то ефективність системи є нормованим до вихідних перемінних  $X$  результатом функціонування цієї системи на певному інтервалі часу, тобто ефективність проведення обраного варіанту оперативного розгортання за умови визначення множини  $G$  (наприклад, в результаті використання закономірностей виконання рятувальниками окремих складових процесу оперативного розгортання АЦ) 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, порядок виконання оперативного розгортання за певних зовнішніх умов), яка встановлює зв'язок між вихідними даними  $X$  та результатами  $G$  виконання окремих складових за обраним варіантом оперативного розгортання;  $\varphi_3$  –

відображення  $H_q^* \times X \times G^*$  в множину  $Y^*$  (наприклад, визначення показників ефективності в результаті фізичного моделювання проведення аварійно-рятувальних робіт).

Оскільки у виразі (5) враховуються як технічні ( $X_{АЦ}$ ), так і оперативні ( $X_{РЯТ}$ ,  $X_M$ ,  $X_{НС}$ ,  $Q$ ) складові функціонування системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року», то множина  $Y$  відображає оперативно-технічний характер проведення аварійно-рятувальних робіт і може розглядатись як закономірність проведення оперативного розгортання

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

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 оперативного розгортання АЦ, яка спирається на імітаційні фізичні моделі цього процесу, є: - встановлення причинно-наслідкових зв'язків діяльності рятувальників з результатами функціонування системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року»; - розкриття закономірностей виконання рятувальниками типових складових оперативного розгортання; - визначення закономірностей проведення оперативного розгортання АЦ від оперативних та технічних складових, що характеризують систему «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року»; - уточнення на основі функціональної залежності таких правил організації системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року», при яких буде перевищено визначене значення показника ефективності.

Впорядкованість множини  $Y$  дозволяє перейти від (6) до багатофакторної поліноміальної моделі [26], розробка якої спирається на відповідний план імітаційного фізичного експерименту, при виборі якого необхідно враховувати те, що вихідні показники можуть мати нелінійний вплив на показники ефективності проведення оперативного розгортання автоцистерн, а також взаємопов'язані між собою [23].

Нелінійний вплив факторів в поліноміальній моделі можна врахувати їх квадратичним уявленням, а ефекти взаємодії – відповідними коефіцієнтами при добутках факторів, що розглядаються [26].

З урахуванням вищевикладеного поліноміальна модель оперативного розгортання АЦ під час

ліквідації надзвичайних ситуацій 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 [26]

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

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

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

$$\Downarrow$$

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

Це можна здійснити шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей  $y = f_i(x_i)$ , отриманих при стабілізації інших  $x_{j \neq i}$  факторів [29].

За результатами аналізу особливостей проведення оперативних розгортань, характерних для проведення аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації НС техногенного характеру, були обрані наступні варіанти оперативного розгортання: - «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» (типовий варіант під час ліквідації надзвичайних ситуацій 10230, 10113 та 10310 за Класифікатором НС [30]); - «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» (типовий варіант під час ліквідації надзвичайних ситуацій 10210, 10211 та 10220 за Класифікатором НС [30]).

Враховуючи результати експериментальних досліджень часу виконання оперативних розгортань автоцистерн різного класу [20,21], для детального розгляду були вибрані наступні фактори, що розглядаються в нормованому вигляді: -  $x_1$  – клас пожежного автомобіля;  $x_2$  – рівень підготовленості особового складу;  $x_3$  – пора року.

Аналіз відібраних факторів та результати експериментальних досліджень показують, що клас пожежного автомобіля впливає на час оперативного розгортання нелінійно. В той же час, стосовно рівня

підготовленості та пори року для оперативних розгортань, пов'язаних з НС техногенного характеру можна говорити тільки про два рівні (початковий і фаховий рівень підготовленості стосовно особового складу та літо-весна і зима-осінь стосовно пори року). При цьому очевидним є взаємозв'язок між рівнем підготовленості та класом пожежного автомобіля (більш важкий клас вимагає більших знань від особового складу та кращої практичної підготовленості), а також між результатами бойового розгортання в залежності одночасно від рівня підготовленості та пори року, або ефективності використання пожежних автомобілів різного класу за різної пори року.

Все це зумовило вибір плану  $3 \times 2 \times 2$  для проведення багатофакторного експерименту та отримання поліноміальної моделі часу у оперативного розгортання (в кодованих перемінних) в загальному вигляді типу

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_2 \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_3 \cdot x_3. \quad (10)$$

При цьому обраний план має гарні статистичні характеристики та точнісні оцінки всіх коефіцієнтів регресії [26].

Отримані результати багатофакторного імітаційного фізичного моделювання [20,21] були упорядковані таким чином, що найгірші показники відповідали рівню "-1-1-1", а найкращі – "+1+1+1". Стосовно класу пожежного автомобіля також розглядався середній рівень " $x_1=0$ ". В підсумку для розглянутих варіантів оперативного розгортання було отримано по 12 значень середніх значень часу виконання та по 12 значень середньоквадратичних відхилень.

Для розрахунку параметрів поліноміальної моделі використовувались кодовані значення отриманих [20,21] середніх та середньоквадратичних відхилень

$$\bar{y}'(\sigma'_y) = \frac{\bar{t}(\sigma_t) - t_{\min}(\sigma_{\min})}{t_{\max}(\sigma_{\max}) - t_{\min}(\sigma_{\min})}. \quad (11)$$

Зміна відібраних факторів через рівні інтервали дозволила суттєво спростити побудову шуканих поліноміальних моделей, оскільки в результаті цього під час розрахунку оцінок коефіцієнтів  $b_0, b_1, b_{ii}, b_{ij}$  можна використовувати готові формули, які наведені в [26]:

$$b_0 = A_0(0Y) - \sum A_{0i}(iiY), \quad (12)$$

$$b_i = A_i(iY), \quad (13)$$

$$b_{ij} = A_{ij}(ijY), \quad (14)$$

$$b_{ii} = A_{ii}(iiY) - A_{0i}(OY), \quad (15)$$

де  $A_0, A_{0i}, A_i, A_{ij}, A_{ii}$  – постійні для розрахунку коефіцієнтів регресії для симетричних планів [27];

$OY, iiY, iY, ijY$  – суми результатів експериментів в кодованих перемінних.

Отримані результати розрахованих коефіцієнтів дозволили побудувати трифакторні квадратичні моделі, які встановлюють кількісний зв'язок між часом оперативного розгортання (в кодованих перемінних) пожежного автомобіля під час локалізації НС техногенного характеру, для варіанту «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни»

$$y_1(t) = 0.6 - 0.28 \cdot x_1 - 0.096 \cdot x_2 - 0.109 \cdot x_3 - 0.128 \cdot x_1^2 + 0.0003 \cdot x_2^2 + 0.0001 \cdot x_3^2 - 0.03 \cdot x_1 x_2 + 0.029 \cdot x_1 x_3 + 0.03 \cdot x_2 x_3 \quad (16)$$

та варіанту «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант»

$$y_2(t) = 0.49 - 0.31 \cdot x_1 - 0.11 \cdot x_2 - 0.065 \cdot x_3 - 0.028 \cdot x_1^2 + 0.0013 \cdot x_2^2 + 0.0008 \cdot x_3^2 + 0.03 \cdot x_1 x_2 - 0.016 \cdot x_1 x_3 + 0.017 \cdot x_2 x_3. \quad (17)$$

В моделях (16) та (17) збережені всі коефіцієнти.

За двостороннього ризику  $\alpha=0,01$  отримані моделі дещо спрощуються

$$y_1(t) = 0.6 - 0.28 \cdot x_1 - 0.096 \cdot x_2 - 0.109 \cdot x_3 - 0.03 \cdot x_1 x_2 + 0.029 \cdot x_1 x_3 + 0.03 \cdot x_2 x_3, \quad (18)$$

$$y_2(t) = 0.49 - 0.31 \cdot x_1 - 0.11 \cdot x_2 - 0.065 \cdot x_3 - 0.016 \cdot x_1 x_3 + 0.017 \cdot x_2 x_3. \quad (19)$$

При цьому всі вони взаємозалежні, а клас автомобіля, як це і передбачалось, впливає нелінійно.

Аналіз (18) та (19) показав (рис.1), що можна стверджувати, що на час оперативного розгортання

пожежних автомобілів під час ліквідації НС техногенного характеру впливають всі фактори.

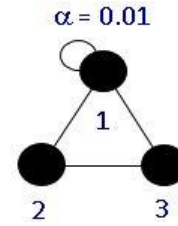


Рис. 1. Зміна графів зв'язку між факторами

Видно (рис.2, рис.3), що фактором, на які ми реально можемо вплинути, є рівень підготовленості особового складу, який найбільш сильно проявляється в зимовий час для більш простих варіантів оперативного розгортання у літній час, а для більш складних – в зимовий.

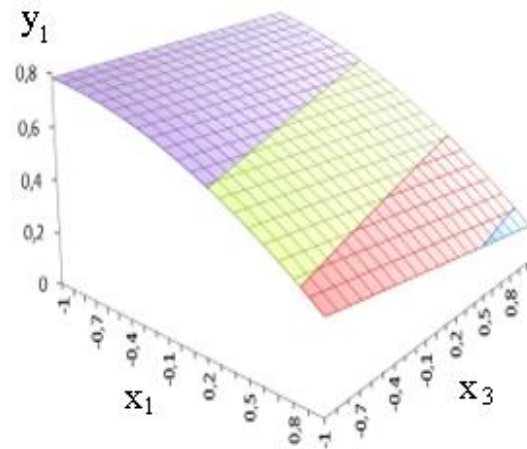


Рис.2. Залежність (в кодованих перемінних) часу оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» від типу пожежного автомобіля та пори року

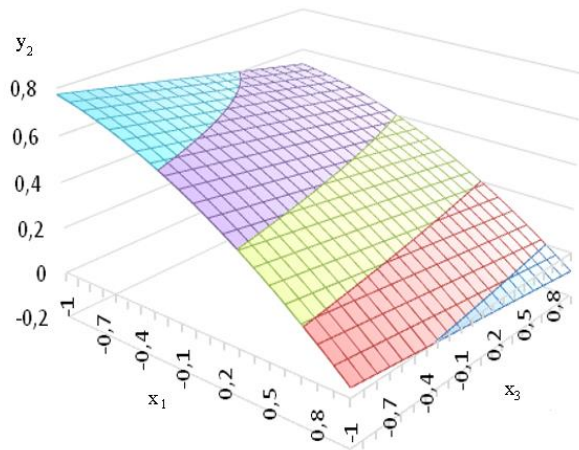


Рис.3. Залежність (в кодованих перемінних) часу оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від типу пожежного автомобіля та пори року

## Висновки

Оперативне розгортання пожежних автомобілів під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру можна розглядати у вигляді упорядкованої множини, що дозволяє перейти до розгляду багатофакторної поліноміальної моделі, розробка якої спирається на відповідний план імітаційного фізичного експерименту. При виборі останнього необхідно враховувати те, що вихідні показники можуть мати нелінійний вплив на показники ефективності проведення оперативного розгортання автоцистерн, а також можуть бути взаємопов'язані між собою.

Визначена доцільність використання плану 3x2x2 для проведення багатофакторного експерименту та отримання поліноміальних моделей залежності часу оперативного розгортання (в кодованих перемінних) від класу пожежного автомобіля, рівня підготовленості особового складу та пори року під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

За наявних експериментальних результатів отримані трифакторні поліноміальні моделі функціонування системи «рятувальник – пожежна автоцистерна – пора року» для типових варіантів оперативного розгортання, які використовуються під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру, «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» та «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант».

Аналіз отриманих поліноміальних моделей показав, що на час оперативного розгортання пожежних автомобілів під час ліквідації НС техногенного характеру впливають розглянуті фактори (клас пожежного автомобіля, рівень підготовленості особового складу та пора року). При цьому фактором, на які ми реально можемо вплинути, є рівень підготовленості особового складу, який найбільш сильно проявляється в зимовий час для більш простих варіантів оперативного розгортання у літній час, а для більш складних – в зимовий.

## Література

1. Наказ МНС України від 26.04.2018 року № 340 "Про затвердження Статуту дії у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дії органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж" [Текст]
2. ДСТУ EN 1846-1:2017 Протипожежна техніка. Пожежно-рятувальні автомобілі. [Текст] Частина 1. Номенклатура і позначення (EN 1846-1:2011, IDT).
3. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році. [Текст]
4. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2019 року. [Текст]
5. Присяжнюк, В.В. Аналіз сучасного стану парку пожежних і пожежно-рятувальних автомобілів в Україні та ефективності дії пожежно-рятувальних підрозділів [Текст] / Присяжнюк В.В., Якіменко М.Л., Кухарішин С.Д. // Науковий вісник УкрНДІПБ, - №1(27) – 2013 – С. 68-74
6. Гащук, П.М. Особливості й труднощі побудови класифікації самохідної техніки для ліквідації надзвичайних ситуацій [Текст] / Гащук П.М., Сичевський М.І. // Збірник наукових праць «Пожежна безпека - №27 – 2015 – С.33-43.
7. Звіт про НДР «Провести дослідження та розробити проект типу пожежних автомобілів на 2012-2016 роки» [Текст] - УкрНДІЦЗ № Держреєстрації 0111U004210. Київ. – С. 325.
8. Наказ МВС України від 20.11.2015 № 1470 "Про затвердження Нормативів виконання навчальних вправ з підготовки осіб рядового і начальницького складу служби цивільного захисту та працівників Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України до виконання завдань за призначенням". [Текст]
9. NFPA 1500 Standard on Fire Department Occupational Safety and Health Program. 2002 Edition. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.fsans.ns.ca/pdf/research/nfpa1500.pdf>
10. Subburajah, J. OSHA's Interpretation for Fire Emergency Planning. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.linkedin.com/pulse/oshas-interpretation-fire-emergency-planning-subburajah-j>
11. NFPA 1001, Standard for Fire Fighter Professional Qualifications [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://sa5e44a321405f035.jimcontent.com/download/version/1268192963/module/3735826357/name/61ns.pdf>
12. NFPA 1710 Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.como.gov/CMS/granicus/downloadfile.php?id=11785&type=attachment>
13. NFPA 1720, Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppres Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Volunteer Fire Departments [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www.niordc.ir/uploads/nfpa\\_1720\\_-\\_2004.pdf](http://www.niordc.ir/uploads/nfpa_1720_-_2004.pdf)
14. NFPA 1410, Standard on Training for Initial Emergency Scene Operations. [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www.niordc.ir/uploads/nfpa\\_1410\\_-\\_2005.pdf](http://www.niordc.ir/uploads/nfpa_1410_-_2005.pdf)
15. NFPA 1901, Standard for Automotive Fire Apparatus. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/1901/1901-A2003-rop.PDF>

16. Fire Protection Handbook [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://tocanthike.files.wordpress.com/2015/10/nfpa-fire-protection-handbook-2008-20th-edition.pdf>
17. Emergency Incident Rehabilitation February 2008 [Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/fa\\_314.pdf](https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/fa_314.pdf)
18. Multi-part Document BS EN 1846 - Firefighting and rescue service vehicles. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://doi.org/10.3403/BSEN1846>
19. BS EN 1846-2:2009+A1:2013 Firefighting and rescue service vehicles. Common requirements. Safety and performance. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://doi.org/10.3403/30233210>
20. Стрілець, В.М. Порівняльний аналіз виконання оперативних розгортань на пожежних автоцистернах різного класу [Текст] / В.М. Стрілець, Д.Ю. Белюченко, С.В. Іванов // Проблеми пожежної безпеки – № 43 – 2018 – С. 168-177.
21. Belyuchenko, D., Maksymov, A., Strelec, V. (2019) Analysis of the influence of the time of the year on the operational deployment of fire truck tanks of different class. *Problems of Emergency Situations*, 30, 42-53.
22. Беюченко, Д.Ю. Обґрунтування нормативів для оцінювання оперативних розгортань на нових пожежних автомобілях різного класу [Текст] / Белюченко Д.Ю., Дейнеко Н.В., Сошинський О.І., Стрілець В.М. // Науково-технічний збірник Комунальне господарство міст. - 2018. – №142 - С. 137-144.
23. Белюченко, Д.Ю. Оцінка ефективності виконання оперативних розгортань на пожежних автоцистернах легкого та важкого класу з використанням нормативів [Текст] / Белюченко Д.Ю. // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст. – 2018. – №146 - С. 151-156.
24. Strilec, V.M. (2001) Simulation analysis of the human-machine system as a method of ergonomic assessment of emergency services. *Radioelectronics & Informatics*, 3(16), 125-128
25. Організація аварійно-рятувальних робіт [Текст] : Текст лекцій / Уклад. В.Г. Аветисян, В.В. Бондар, Ю.О. Куліш, В.В. Тригуб. – Х.: УЦЗУ, 2007. – 140 с.
26. Андронов, В. А. Оперативно-технічний метод скорочення часу локалізації пожежно-рятувальним підрозділом надзвичайної ситуації екологічного характеру з викидом небезпечної хімічної речовини. [Текст] / В.А. Андронов, В.М. Стрілець // Техногенно-екологічна безпека – № 1 – 2017 – С. 8–14
27. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст] / В.А. Вознесенский // М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
28. Наказ Держспоживстандарту України 11.10.2010 N 457 «Національний класифікатор України. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010» [Текст]
- Ministry of Emergency Situations of Ukraine dated 04.26.2018 No. 340.
2. DSTU EN 1846-1: 2017 Fire fighting equipment. Fire rescue vehicles. Part 1. Nomenclature and designations (EN 1846-1: 2011, IDT).
3. Report on the main results of the activities of the state service of Ukraine in emergency situations in 2019.
4. Analytical report on fires and their consequences in Ukraine for 12 months of 2019.
5. Prisyazhnyuk, V.V. Yakimenko, M.L., Kukharishin, S.D. (2013). Analysis of the current state of the fleet of fire and rescue vehicles in Ukraine and the effectiveness of the fire and rescue units, *Scientific Bulletin of UkrNIPIP*, 1 (27), 68-74.
6. Gaschuk, P.M., Sychevsky, M.I. (2015). Features and difficulties of building a classification of self-propelled equipment for emergency response, *Collection of scientific papers Fire Safety*, 27, 33-43.
7. Research report "Conduct research and develop a project of the type of fire trucks for 2012-2016" - UkrNDITsZ state registration number 0111U004210. Kiev. - S. 325.
8. Pro zatverdzhennia normatyviv vykonannia navchalnykh vprav z pidhotovky osib riadovoho i nachalnytskoho skladu. Nakaz MVS Ukrainy vid 20.11.2015 № 1470. (20.11.2015) Kyiv: Min'ust Ukrainy
9. NFPA 1500 Standard on Fire Department Occupational Safety and Health Program. 2002 Edition. Retrieved from: <http://www.fsans.ns.ca/pdf/research/nfpa1500.pdf>
10. Subburajah J. OSHA's Interpretation for Fire Emergency Planning. Retrieved from: <https://www.linkedin.com/pulse/oshas-interpretation-fire-emergency-planning-subburajah-j>
11. NFPA 1001, Standard for Fire Fighter Professional Qualifications Retrieved from: <https://sa5e44a321405f035.jimcontent.com/download/version/1268192963/module/3735826357/name/61ns.pdf>
12. NFPA 1710 Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments. Retrieved from: <https://www.como.gov/CMS/granicus/downloadfile.php?id=11785&type=attachment>
13. NFPA 1720, Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppres Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Volunteer Fire Departments Retrieved from: [http://www.niordc.ir/uploads/nfpa\\_1720\\_-\\_2004.pdf](http://www.niordc.ir/uploads/nfpa_1720_-_2004.pdf)
14. NFPA 1410, Standard on Training for Initial Emergency Scene Operations, Retrieved from: [http://www.niordc.ir/uploads/nfpa\\_1410\\_-\\_2005.pdf](http://www.niordc.ir/uploads/nfpa_1410_-_2005.pdf)
15. NFPA 1901, Standard for Automotive Fire Apparatus. Retrieved from: <https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/1901/1901-A2003-rop.PDF>
16. Fire Protection Handbook Retrieved from: <https://tocanthike.files.wordpress.com/2015/10/nfpa-fire-protection-handbook-2008-20th-edition.pdf>
17. Emergency Incident Rehabilitation February 2008 Retrieved from: [https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/fa\\_314.pdf](https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/fa_314.pdf)
18. Multi-part Document BS EN 1846 - Firefighting and rescue service vehicles. Retrieved from: <https://doi.org/10.3403/BSEN1846>
19. BS EN 1846-2:2009+A1:2013 Firefighting and rescue service vehicles. Common requirements. Safety and performance. Retrieved from: <https://doi.org/10.3403/30233210>
20. Strilec, V.M., Belyuchenko, D.Yu., Ivanov, E.V. (2018). Comparative analysis of the implementation of operational

## References

1. On approval of the Charter of emergency actions of governing bodies and units of the operational and rescue service of civil protection and the Charter of actions of governing bodies and units of the operational and rescue service of civil protection in fighting fires. Order of the

- deployments on fire truck tankers of different classes. *Fire Safety Issues*, 43, 168-177.
21. Belyuchenko, D., Maksymov, A., Streletc, V. (2019) Analysis of the influence of the time of the year on the operational deployment of fire truck tanks of different class. *Problems of Emergency Situations*, 30, 42-53.
22. Belyuchenko, D.Yu., Strelets, V.M., Deineko, N.V., Soshynsky, O. I. (2018). Substantiation of norms for evaluation of operational deployments on new fire engines of different classes, *Municipal Economy of Cities*, 142, 137-144.
23. . Belyuchenko, D.Yu.(2018). Evaluation of the effectiveness of operational deployments on light and heavy class fire tankers using standards. *Scientific and technical collection "Urban Utilities*, 146, 151-156.
24. Strilec, V.M. (2001) Simulation analysis of the human-machine system as a method of ergonomic assessment of emergency services. *Radioelectronics & Informatics*, 3(16), 125-128
25. . Organization of rescue operations: Text of lectures / Comp. V. Avetisyan, V.V. Cooper, Yu. Kulish, V.V. Trigub. - M.: UZZU, 2007. -- 140 p.
26. Andronov, V., Strelec, V. (2017) Operational-technical method of time reducing of localization by fire and rescue department of emergency situation of ecological character with hazardous chemical emission. *Technogenic and Ecological Safety*, 1, 8-14
27. Voznesenskiy, V.A. (1981) Statisticheskiye metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniyakh. *Finansy i statistika*. 263 P.
28. Order of the State Consumer Standard of Ukraine 11.10.2010 N 457 "National Classifier of Ukraine. Classifier of emergency situations DK 019: 2010 "

**Рецензент:** доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки Р.І. Шевченко, Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна.

**Автор:** БЕЛЮЧЕНКО Дмитро Юрійович  
старший викладач кафедри пожежно-рятувальної підготовки факультету оперативно-рятувальних сил  
Національний університет цивільного захисту України  
E-mail – [mr.funt1984@i.ua](mailto:mr.funt1984@i.ua)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7782-2019>

**Автор:** СТРІЛЕЦЬ Віктор Маркович  
доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки  
Національний університет цивільного захисту України  
E-mail – [vstrelec1956@ukr.net](mailto:vstrelec1956@ukr.net)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9109-8714>

## MULTIVARIATE ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE OPERATIONAL DEPLOYMENT OF FIRE TRUCKS IN THE FACE OF INDUSTRIAL EMERGENCIES

D. Belyuchenko, V. Strelets

National university of civil defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

*The effective conduct of emergency rescue operations in the context of the prevention and liquidation of technological emergencies is accompanied by a contradiction between tactics that were developed in the 60-70s of the twentieth century, taking into account the rescue equipment created at that time and given in existing documents, and current practice operational work of rescuers who use new samples of such equipment with improved tactical and technical characteristics. However, for them there are no recommendations on their use, which would take into account the level of preparedness of personnel or the time of year and the like.*

*The operational deployment of fire trucks during the liquidation of technological emergencies can be considered in the form of an ordered set, which allows us to proceed to the consideration of a multifactorial polynomial model, the development of which is based on the corresponding plan of a simulated physical experiment. When choosing the latter, it is necessary to take into account that the initial indicators can have a nonlinear effect on the performance indicators of the operational deployment of tank trucks, and can also be interconnected.*

*It is shown that increasing the effectiveness of emergency rescue operations during the liquidation of industrial emergencies requires a multifactor assessment of the operational deployment of fire trucks. When making such an assessment, it is necessary to take into account that the initial indicators can have a nonlinear effect on the performance indicators and be interconnected. The expediency of using the 3x2x2 plan for conducting a multivariate experiment and obtaining polynomial models of the dependence of the operational deployment time on the class of fire truck, the level of preparedness of the personnel and the time of the year is determined. In accordance with the available experimental results, three-factor polynomial models of the functioning of the system "lifeguard - fire truck - time of year" were obtained and analyzed.*

**Keywords:** operational deployment, fire truck, emergency, multifactor assessment