

УДК 621.03

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.1.5-19>

Дмитро Белюченко, канд. техн. наук (ORCID: 0000-0001-7782-2019)

Денис Льовін (ORCID: 0000-0002-1066-0286)

Віктор Стрілець, д-р техн. наук, професор, с. н. с. (ORCID: 0000-0002-9109-8714)

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна

Валерій Стрілець, канд. техн. наук, с. н. с. (ORCID: 0000-0003-1913-7878)

Наук.-дослід. експеримент.-випробувальний центр «БрандТРЕЙД», м. Харків, Україна

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ АВТОМОБІЛІВ

Застосування методів планування експериментальних досліджень показало, що для отримання багатофакторної математичної моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів, яка буде враховувати як вплив, у тому разі нелінійний, обраних параметрів (класу пожежно-рятувальних автомобілів, рівня підготовленості оперативного розрахунку та пори року), так і ефекти взаємодії між ними, доцільно провести багатофакторний експеримент у відповідності до плану $3 \times 2 \times 2$. Для реалізації обраного плану достатньо отримати по 12 оцінок середніх значень часу оперативного розгортання за обраним варіантом та по 12 значень відповідних середньоквадратичних відхилень. Відмічено, що це можна зробити за результатами імітаційного фізичного моделювання обраних для розгляду варіантів оперативного розгортання на навчально-тренувальній базі, яка існує в кожному оперативно-рятувальному підрозділі і є ідентичною. Реалізація обраного плану забезпечує гарні статистичні та точнісні характеристики всіх коефіцієнтів регресії. Показано, що результати натурних експериментів, у якості яких розглядалось здійснення оперативних розгортань за двома варіантами (варіант 1 «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» та варіант 2 «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») збіглись з результатами теоретичних розрахунків і вклались в довірчі інтервали, розраховані з надійністю 0,95. Це підтвердило достовірність математичної моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру першим рятувальним підрозділом. Статистичний аналіз отриманих багатофакторних моделей оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів показав, що отримані варіанти моделі без спрощення забезпечують досягнення достовірних результатів з рівнем двостороннього ризику $\alpha=0,05$ і дозволяють їх використовувати для визначення оперативно-технічних рекомендацій за результатами ранжування факторів по ступеню їх впливу на час дій особового складу.

Ключові слова: оперативне розгортання, пожежно-рятувальний автомобіль, багатофакторна модель, статистичний аналіз, достовірність

Введення.

Важливість підвищення ефективності оперативного розгортання (ОР) пожежно-рятувальних автомобілів (ПРА) підкреслюється в керівних документах як в нашій країні [1], так і в провідних країнах світу [2].

Враховуючи те, що оперативне розгортання – це функціонування системи «рятувальник – озброєння пожежно-рятувального автомобіля – надзвичайна ситуація» в процесі проведення аварійно-рятувальних робіт, обґрунтування відповідних пропозицій щодо його покращення передбачає розробку оперативно-технічних заходів [3], реалізація яких повинна забезпечити статистично значиме скорочення часу дій оперативного

розрахунку пожежно-рятувального автомобіля при обмеженні на людські та технічні ресурси, не знижуючи при цьому рівня безпеки особового складу.

Аналіз останніх публікацій і постановка проблеми.

Аналіз останніх досліджень показав, що, незважаючи на розгляд процесу попередження та ліквідації надзвичайної ситуації (НС) з різних сторін: – з точки зору розвитку НС [4,5]; – з позиції організації робіт з ліквідації НС [6,7]; – організації профілактичної роботи інспекторського складу [8,9] тощо, – в усіх випадках обґрунтування конкретних пропозицій ґрунтується на системних моделях, достовірність яких доводиться із визначеним рівнем значущості.

Прикладом цього є обґрунтування рекомендацій [10] піротехнічним підрозділам у разі попередження НС, пов'язаних із малогабаритними вибухонебезпечними предметами за допомогою захисного пристрою куполоподібної форми [11], за результатами аналізу математичної моделі [12], достовірність якої доведена з рівнем надійності 0,95.

Стосовно ОР ПРА слід відзначити, що в базовому стандарті EN1846 [13], який регламентує процес оперативного розгортання в провідних країнах світу, особливості, що пов'язані із системним характером впливу класу ПРА, пори року та рівня підготовленості оперативних розрахунків не розглянуті. Це здійснено в [14,15], де за результатами аналізу отриманих однофакторних залежностей, достовірність яких доведена статистично, обґрунтовуються відповідні пропозиції. Багатофакторний характер дій оперативних розрахунків ПРА не відображається, хоча, наприклад, в [16,17], підкреслюється як нелінійний вплив факторів, так і їх взаємозалежність. Це підтвердили і результати досліджень, які наведені в [18,19].

З урахуванням цього було розроблено математичну модель оперативного розгортання ПРА під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру [20,21] у вигляді багатофакторного поліному. В [22] показано, що вона може стати основою відповідних оперативно-технічних рекомендацій [23], наприклад нормативів для оперативного розрахунку ПРА [24]. Проте стверджувати, що вони будуть носити науково-обґрунтований характер, складно, оскільки не була доказана достовірність цієї моделі.

Таким чином, перевірка достовірності зазначеної математичної моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів та визначених на її основі особливостей, які повинні стати основою оперативно-тактичних рекомендацій особовому складу, є актуальною науково-практичною задачею.

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є статистична оцінка математичної моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдання:

- обґрунтування плану для проведення багатофакторних експериментальних досліджень;
- характеристика експериментально-випробувальної бази;
- перевірка достовірності багатофакторних моделей різних варіантів оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів;
- статистичний аналіз отриманих багатофакторних моделей оперативного розгортання.

Обґрунтування плану для проведення багатофакторних експериментальних досліджень.

Має місце безліч показників, які впливають на підсумковий результат функціонування системи «рятувальник – озброєння пожежно-рятувального автомобіля – надзвичайна ситуація» в процесі проведення ОР ПРА. В [25] показано, що математична модель ОР ПРА має вигляд

$$t = a_0 + a_1 X_{\text{РЯТ}} + a_2 X_{\text{ПРА}} + a_3 X_{\text{У}} + a_{11} X_{\text{РЯТ}}^2 + a_{12} X_{\text{РЯТ}} X_{\text{ПРА}} + a_{13} X_{\text{РЯТ}} X_{\text{У}} + a_{23} X_{\text{ПРА}} X_{\text{У}} \quad (1)$$

де t_{\max} – час ОР ПРА (с); $X_{\text{ПРА}}$ – множина, яка характеризує пожежно-рятувальний автомобіль та його обладнання; $X_{\text{РЯТ}}$ – множина, яка характеризує безпосередньо оперативний розрахунок ПРА; $X_{\text{У}}$ – множина, яка характеризує умови проведення аварійно-рятувальних робіт.

Аналіз відібраних факторів та результати експериментальних досліджень [26] показали, що клас пожежно-рятувального автомобіля впливає на час оперативного розгортання нелінійно. Враховуючи те, що на сьогоднішній день перші оперативно-рятувальні підрозділи використовують пожежно-рятувальні автомобілі трьох класів, оцінку впливу фактору x_1 , який відповідає множині $X_{\text{ПРА}}$, доцільно здійснювати тоді, коли вона міняється на двох рівних інтервалах ($x_1=-1$ – важкий клас, $x_1=0$ – середній клас, $x_1=+1$ – легкий клас пожежно-рятувального автомобіля).

В той же час, стосовно рівня підготовленості (показник, який відповідає множині $X_{\text{РЯТ}}$) та пори року (показник, який відповідає множині $X_{\text{У}}$) для оперативних розгортань, пов'язаних з НС техногенного характеру можна говорити тільки про два рівні: початковий ($x_2=-1$) і фаховий ($x_2=+1$) рівень підготовленості стосовно особового складу та літо-весна ($x_3=+1$) і зима-осінь ($x_3=-1$) стосовно пори року. При цьому очевидним є взаємозв'язок між рівнем підготовленості та класом пожежно-рятувального автомобіля (більш важкий клас вимагає більших знань від особового складу та кращої практичної підготовленості), а також між результатами оперативного розгортання в залежності одночасно від рівня підготовленості та пори року, або ефективності використання пожежно-рятувальних автомобілів різного класу за різної пори року.

Оскільки порівняльна оцінка обраних для розгляду факторів x_1 , x_2 , x_3 повинна виконуватись в нормованих перемінних, необхідно отримати тотожній (1) вираз

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

де y – нормований час ОР ПРА; t_{\max} – час ОР особовим складом початкового рівня підготовленості ($x_2=-1$) на ПРА важкого класу ($x_1=-1$) в зимових умовах ($x_3=-1$), с; t_{\min} – час ОР особовим складом фахового рівня ($x_2=+1$) на ПРА легкого класу ($x_1=+1$) в літньо-весінній період ($x_3=+1$), с.

Вид виразу (2) зумовлює вибір плану $3 \times 2 \times 2$ для проведення багатофакторного експерименту. При цьому трифакторна поліноміальна модель (2) буде мати [27] гарні статистичні та точнісні характеристики всіх коефіцієнтів регресії $[b_s]$. Для реалізації обраного плану достатньо отримати по 12 оцінок середніх значень часу оперативного розгортання за обраним варіантом та по 12 значень відповідних середньоквадратичних відхилень. Це цілком реально можна зробити за результатами імітаційного фізичного моделювання обраних для розгляду варіантів оперативного розгортання.

Характеристика експериментально-випробувальної бази.

Пожежно-рятувальні автомобілі. У якості пожежно-рятувальних автомобілів легкого класу ($x_1=+1$) використовувались ПРА АЦ 2,0/40(3310), АЦ-2/40(НД65), АППД-2(3310)-274, середнього класу ($x_1=+1$) – автоцистерни АЦ-40(432921)63Б.02 та АЦ-40(131)137А; важкого класу ($x_1=-1$) – пожежна автоцистерна АЦ- 4-60 (5309)-505М.

Оснащення рятувальників. У якості технічного оснащення рятувальників під час проведення експериментальних досліджень використовувався комплект, що складається з пожежного обладнання: ручного пожежного інструменту (багра, гака, сокири, лома, механізованого та немеханізованого ручного пожежного інструменту), пожежних рятувальних пристроїв, гідравлічне та пневмонічне аварійно-рятувальне обладнання,

бензомоторний інструмент, засобів індивідуального захисту рятувальників (респіратор, пожежної каски, пожежного пояса і поясного карабіна, захисного та тепловідбивного одягу пожежного, костюмів хімічного захисту), пожежні стволи – ручні і переносні лафетні, генератори піни, пожежні рукави різних видів, технічних пристроїв для конкретних пожежних машин відповідно до їх призначення.

Тренувальні майданчики. У кожному оперативно-рятувальному підрозділі створені умови для відпрацювання практичних вправ з оперативного розгортання особовим складом у вигляді навчально-тренувальних майданчиків, до складу яких в обов'язковому порядку входить типове місце для проведення оперативних розгортань.

Таким чином, існуюча експериментально-випробувальна база дозволяє перевірити достовірність математичної моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим рятувальним підрозділом шляхом отримання статистично значимих показників часу здійснення обраного варіанту оперативного розгортання у відповідності до плану 3x2x2 проведення випробувань.

Перевірка достовірності багатofакторних моделей різних варіантів оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів.

Оцінка достовірності математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації (варіант 1 – «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни»). З урахуванням вибору вихідних факторів для проведення імітаційного фізичного експерименту за планом 3x2x2 в результаті було отримано (див. табл. 1) дванадцять оцінок математичного очікування та середньоквадратичного відхилення часу проведення оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» при різноманітних сполученнях рівнів, а також дванадцять відповідних середньоквадратичних відхилень. Крім цього, в табл. 1 в стовпчиках 7 та 8 наведені нормовані значення отриманих середніх та середньоквадратичних відхилень

$$\bar{y}'(\sigma_y) = \frac{\bar{t}(\sigma_t) - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}} \quad (3)$$

Таблиця 1 – Результати імітаційного фізичного моделювання оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» рятувальниками першого оперативно-рятувального підрозділу

№ з/п	x ₁	x ₂	x ₃	\bar{t} , с	σ_t , с	\bar{y}'	σ_y'
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-1	-1	-1	74,51	2	1,000	0,047
2	-1	-1	1	52,56	1,29	0,481	0,031
3	-1	1	-1	70,32	2,31	0,901	0,055
4	-1	1	1	48,27	1,21	0,380	0,029
5	0	-1	-1	70,37	1,99	0,902	0,047
6	0	-1	1	46,69	1,15	0,342	0,027
7	0	1	-1	67,36	2,79	0,831	0,066
8	0	1	1	39,73	1,98	0,178	0,047
9	1	-1	-1	57,23	1,92	0,591	0,045
10	1	-1	1	35,24	1,6	0,071	0,038
11	1	1	-1	49,46	2,68	0,408	0,063
12	1	1	1	32,22	1,15	0,000	0,027

Упорядкування результатів багатofакторного імітаційного фізичного моделювання таким чином, що найгірші показники відповідають рівню «-1-1-1», а найкращі – «+1+1+1», а стосовно класу пожежно-рятувального автомобіля розгляд також середнього рівня « $x_1=0$ », дозволяє суттєво спростити побудову конкретних поліноміальних моделей, які необхідно знайти, оскільки в результаті цього під час розрахунку оцінок коефіцієнтів b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} можна використовувати [27] готові формули:

$$b_0 = A_0(0Y) - \sum A_{0i}(iiY), \quad (4)$$

$$b_i = A_i(iY), \quad (5)$$

$$b_{ij} = A_{ij}(ijY), \quad (6)$$

$$b_{ii} = A_{ii}(iiY) - A_{0i}(0Y), \quad (7)$$

де A_0 , A_{0i} , A_i , A_{ij} , A_{ii} – постійні для розрахунку коефіцієнтів регресії при симетричних планах; $0Y$, iiY , iY , ijY – суми результатів експериментів.

Для розрахунку значень дисперсій оцінок отриманих коефіцієнтів використовуються вирази

$$\sigma^2\{b_0\} = A_0 \cdot \sigma^2, \quad (8)$$

$$\sigma^2\{b_i\} = A_i \cdot \sigma^2, \quad (9)$$

$$\sigma^2\{b_{ij}\} = A_{ij} \cdot \sigma^2, \quad (10)$$

$$\sigma^2\{b_{ii}\} = A_{ii} \cdot \sigma^2, \quad (11)$$

де σ^2 – дисперсія результатів експериментів.

За отриманими результатами, використовуючи (4)-(7), були розраховані коефіцієнти трифакторної квадратичної моделі (2), які встановлюють кількісний зв'язок між часом оперативного розгортання (в нормованих перемінних) за варіантом, який розглядається, та обраними факторами

$$y_{OP1} = 0,551 - 0,210 \cdot x_1 - 0,075 \cdot x_1^2 - 0,007 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ + 0,015 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,057 \cdot x_2 + 0,0014 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,265 \cdot x_3. \quad (12)$$

Наявність моделі (12) дозволяє отримати оцінку середнього часу оперативного розгортання OP 1 в натуральних перемінних, здійснивши зворотній перехід від (3)

$$\bar{t}_{mm} = \bar{y}' \cdot (t_{\max} - t_{\min}) + t_{\min}. \quad (13)$$

Наявність результатів, отриманих як за допомогою розробленої моделі (12), так і натурним шляхом, дозволяє визначити достовірність оцінки розробленої математичної моделі. Для цього було перевірено укладання середнього часу оперативного розгортання ОР 1 за кожною комбінацією розглянутих факторів в довірчі інтервали [28], які розраховані з надійністю 0,95 за результати імітаційного фізичного моделювання за тієї ж комбінації обраних факторів,

$$t = \bar{t} \pm 1.96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (14)$$

де $n=20$ – кількість натурних експериментів, за результатами здійснення яких визначались математичні очікування та середньоквадратичні відхилення у відповідності до обраної комбінації значимих факторів.

В узагальненому вигляді отримані результати наведені в табл. 2. Аналіз результатів, що наведені в табл. 2, показує, що за кожної комбінації розглянутих факторів результати оцінки часу оперативного розгортання за допомогою розробленої математичної моделі (12) входять в довірчий інтервал, визначений з надійністю 0,95.

Таблиця 2 – Результати перевірки достовірності математичної моделі оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» рятувальниками першого оперативно-рятувального підрозділу

№ з/п	x_1	x_2	x_3	t_{\min}, c	\bar{t}_{MM}, c	t_{\max}, c
1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	73,63	75,37	75,39
2	-1	-1	1	51,99	51,81	53,13
3	-1	1	-1	69,31	71,13	71,33
4	-1	1	1	47,74	47,77	48,80
5	0	-1	-1	69,50	69,57	71,24
6	0	-1	1	46,19	47,02	47,19
7	0	1	-1	66,14	66,58	68,58
8	0	1	1	38,86	402,27	40,60
9	1	-1	-1	56,39	57,19	58,07
10	1	-1	1	34,54	35,84	35,94
11	1	1	-1	48,29	51,62	50,63
12	1	1	1	31,72	32,05	32,72

Тобто, результати, які визначені за допомогою першого варіанту розробленої математичної моделі «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни», співпадають з результатами натурних експериментів та укладаються в довірчі інтервали, які розраховані з надійністю 0,95 за критерієм Стьюдента, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

Оцінка достовірності математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації (варіант 2 – «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»). Статистична оцінка експериментальних результатів та перевірка значимості вибраних факторів: x_1 – клас оперативно-рятувального автомобіля; x_2 – рівень підготовленості рятувальників; x_3 – пора року, – для ОР «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» першим оперативно-рятувальним підрозділом здійснювалась таким же чином, як це було зроблено для оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни».

За отриманими результатами (табл. 3), використовуючи (4)-(7), були розраховані коефіцієнти трифакторної квадратичної моделі (2), які встановлюють кількісний зв'язок між часом оперативного розгортання (в нормованих перемінних) за варіантом, який розглядається, та обраними факторами

$$y_{OP2} = 0,482 - 0,170 \cdot x_1 - 0,042 \cdot x_1^2 + 0,005 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,052 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,044 \cdot x_2 + 0,014 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,258 x_3 .$$

(15)

Наявність моделі (15) дозволила отримати у відповідності до (13) оцінку середнього часу оперативного розгортання OP 2 в натуральних перемінних. Як і для OP 1 наявність результатів, отриманих як за допомогою розробленої моделі (15), так і натурним шляхом (табл.3), дозволяє визначити достовірність оцінки розробленої математичної моделі. Для цього було перевірено (табл.4) укладання середнього часу оперативного розгортання OP 2 за кожною комбінацією розглянутих факторів в довірчі інтервали (14), які розраховані з надійністю 0,95 за результати імітаційного фізичного моделювання за тієї ж комбінації обраних факторів.

Таблиця 3 – Результати імітаційного фізичного моделювання 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» рятувальниками першого оперативно-рятувального підрозділу

№ з/п	x_1	x_2	x_3	\bar{t}, c	σ_t, c	\bar{y}'	σ_y'
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-1	-1	-1	132,14	2,57	1,0000	0,0311
2	-1	-1	1	74,51	2	0,3030	0,0242
3	-1	1	-1	119,04	2,36	0,8416	0,0285
4	-1	1	1	70,32	2,31	0,2523	0,0279
5	0	-1	-1	112,47	2,25	0,7621	0,0272
6	0	-1	1	70,37	1,99	0,2529	0,0241
7	0	1	-1	103,43	2,06	0,6528	0,0249
8	0	1	1	67,36	2,7	0,2165	0,0327
9	1	-1	-1	92,35	2,23	0,5187	0,0270
10	1	-1	1	57,23	1,92	0,0940	0,0232
11	1	1	-1	85,86	2,05	0,4403	0,0248
12	1	1	1	49,46	2,68	0,0000	0,0324

Аналіз результатів, що наведені в табл. 4, показує, що за кожної комбінації розглянутих факторів результати оцінки часу оперативного розгортання за допомогою розробленої математичної моделі (15) входять в довірчий інтервал, визначений з надійністю 0,95.

Таким чином, результати натурних експериментів збігаються з результатами теоретичних розрахунків і вкладаються в довірчі інтервали, розраховані з надійністю 0,95, що підтверджує достовірність математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

Таблиця 4 – Результати перевірки достовірності математичної моделі 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» рятувальниками першого оперативно-рятувального підрозділу

№ з/п	x_1	x_2	x_3	$t_{\min}, \text{с}$	$\bar{t}_{\text{ММ}}, \text{с}$	$t_{\max}, \text{с}$
1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	131,01	131,02	133,27

Продовження таблиці 4

2	-1	-1	1	73,63	75,24	75,39
3	-1	1	-1	118,01	120,04	120,07
4	-1	1	1	69,31	71,33	71,33
5	0	-1	-1	111,48	113,42	113,46
6	0	-1	1	69,50	70,47	71,24
7	0	1	-1	102,53	103,88	104,33
8	0	1	1	66,18	66,48	68,54
9	1	-1	-1	91,37	93,21	93,33
10	1	-1	1	56,39	56,96	58,07
11	1	1	-1	84,96	85,96	86,76
12	1	1	1	48,29	50,62	50,63

Статистичний аналіз отриманих багатofакторних моделей оперативного розгортання.

Отримані моделі (12) та (15) оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом, в яких збережені всі оцінки коефіцієнтів достовірно відображають отримані в ході експериментальних досліджень дані, проте визначенню пропозицій повинна передувати їх інтерпретація при наростаючому ступені ризику відкинути правильну гіпотезу [27]. При цьому значимість коефіцієнтів регресії перевіряється багатократно від рівня значимості $\alpha=0,01$ до $\alpha=0,5$, враховуючи під час оцінки похибок розрахунку коефіцієнтів регресії середню дисперсію вимірів.

Для цього спочатку була перевірена гіпотеза однорідності ряду дисперсій по G-критерію Кохрена [28]

$$Kh = \left(\sigma_n^2 \right)_{\max} / \sum_{n=1}^n \sigma_n^2 = \frac{0.0032}{0.0231} = 0.137, \quad (16)$$

де $\left(\sigma_u^2 \right)_{\max}$ – максимальна дисперсія в ряду, що розглядається; $n=12$ – кількість точок обраного плану $3 \times 2 \times 2$ для моделі (12).

Оскільки при рівні ризику $\alpha=0,05$, числі ступенів свободи $f_1=12-1=100-1=11$ та $f=12$ табличне значення $\sigma_{\text{табл}}=0,172$, тобто $\sigma < \sigma_{\text{табл}}$, то розглянута гіпотеза допускається як правдоподібна. В результаті середня дисперсія проведених експериментальних досліджень часу для розроблених моделей має вид:

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{n=1}^n \sigma_n^2 = \frac{1}{12} \cdot \sum_{n=1}^{12} \sigma_n^2 \approx \begin{cases} 0,0021 \text{ для ОР 1;} \\ 0,00076 \text{ для ОР 2,} \end{cases} \quad (17)$$

що дозволяє для розрахунку похибок коефіцієнтів регресії використовувати наступні вирази [26]

$$\sigma \left(b_0 \right) = 0,5022 \cdot \sigma_e \approx \begin{cases} 0,014 \text{ для ОР 1;} \\ 0,0228 \text{ для ОР 2;} \end{cases} \quad (18)$$

$$\sigma(b_i) = 0,3333 \cdot \sigma_e \approx \begin{cases} 0,0092 \text{ для ОР 1;} \\ 0,0151 \text{ для ОР 2;} \end{cases} \quad (19)$$

$$\sigma(b_{ij}) = 0,2887 \cdot \sigma_e \approx \begin{cases} 0,0079 \text{ для ОР 1;} \\ 0,0131 \text{ для ОР 2;} \end{cases} \quad (20)$$

$$\sigma(b_{ii}) = 0,4082 \cdot \sigma_e \approx \begin{cases} 0,0112 \text{ для ОР 1;} \\ 0,0185 \text{ для ОР 2,} \end{cases} \quad (21)$$

які застосовуються для обчислювання відповідних критичних значень

$$b_{кр} = t \cdot \sigma(b) \quad (22)$$

де t береться по таблицям [26] при обраному рівні значимості α та числі ступенів свободи $f=n-1=12$.

В табл. 5 показані розраховані за (22) критичні значення коефіцієнтів для моделі (12), а в табл. 6 для моделі (15).

Таблиця 5 – Критичні значення коефіцієнтів моделі (12)

α	0,01	0,05
t	2,771	2,052
$b_{0кр}$	0,03829185	0,02835615
$b_{iкр}$	0,00035118	0,00026006
$b_{ijкр}$	0,00000279	0,00000207
$b_{iiкр}$	0,00000003	0,00000002

Таблиця 6 – Критичні значення коефіцієнтів моделі (15)

α	0,01	0,05
t	2,771	2,052
$b_{0кр}$	0,06314280	0,04675894
$b_{iкр}$	0,00095493	0,00070715
$b_{ijкр}$	0,00001251	0,00000926
$b_{iiкр}$	0,00000023	0,00000017

Отримані значення критичних коефіцієнтів дозволяють при кожному рівні ризику α побудувати та проаналізувати графи зв'язку між факторами. На рис. 1 показані такі графи при зростаючому ризику як для моделі (12), так і для моделі (15). Видно, що вже при рівні значимості $\alpha=0,01$, оскільки граф для $\alpha=0,05$ співпав з графом для двостороннього ризику $\alpha=0,01$, можна говорити про те, що всі обрані для аналізу фактори є значущими, пов'язані

між собою, а фактор x_1 (клас обраного оперативно-рятувального автомобіля) впливає на час оперативного розгортання нелінійно.



Рисунок 1 – Аналіз графів зв'язку між трьома факторами x_i за різного рівня відхилення правильної гіпотези (чорним кольором зафарбовані значущі лінійні ефекти, петля – значущий квадратичний ефект, ребра графа – значущими є ефекти взаємодії)

Таким чином, користування отриманими варіантами моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів без спрощення для визначення оперативно-технічних рекомендацій за результатами ранжування факторів по ступеню їх впливу на час оперативного розгортання забезпечує досягнення достовірних результатів з рівнем двостороннього ризику $\alpha = 0,05$.

Обговорення отриманих результатів дослідження.

Сильною стороною отриманих результатів є побудова з рівнем значимості $\alpha = 0,05$ багатофакторних математичних моделей оперативного розгортання у вигляді трифакторного квадратичного поліному, коефіцієнти якого не тільки характеризують рівень підготовленості оперативного розрахунку, зовнішні умови, в яких він працює, та клас пожежно-рятувального автомобіля. Аналіз отриманих моделей дозволяє визначити конкретні практичні рекомендації.

Слабкою стороною застосування обраного підходу є необхідність отримання нових вихідних даних у разі розгляду, наприклад, нових варіантів оперативного розгортання, або залучення оперативних розрахунків з чисельністю особового складу, яка є меншою, ніж нормативна.

В процесі розробки оперативно-технічних рекомендацій оперативним розрахункам пожежно-рятувальних автомобілів необхідно враховувати те, що всі обрані фактори (клас пожежно-рятувального автомобіля, рівень підготовленості особового складу та сезон, коли відбувається процес ліквідації техногенної надзвичайної ситуації) є значущими, пов'язані між собою, а фактор x_1 (клас обраного пожежно-рятувального автомобіля) впливає на час оперативного розгортання нелінійно.

Під час проведення пошукових досліджень підвищену увагу потрібно звернути на підвищення ефективності оперативних розгортань штатними розрахунками, чисельність яких є меншою, ніж нормативна, а також використанню пожежно-рятувальних автомобілів під час ліквідації надзвичайних ситуацій природного характеру (наприклад, гасіння масштабних лісових пожеж). Загрозою, яка може мати місце в процесі здійснення обраного підходу є те, що невірний вибір експериментально-випробувальної бази може призвести не тільки до невірних оцінок впливу обраних факторів та оцінок їх взаємодії, але й до значного відхилення очікуваної оцінки часу оперативного розгортання від дійсної.

Висновки.

Розробка заходів щодо підвищення ефективності оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів, що є процесом функціонування системи «рятувальник – озброєння пожежно-рятувального автомобіля – надзвичайна ситуація» під час проведення аварійно-рятувальних робіт, повинна забезпечити статистично-значиме скорочення часу дій оперативного розрахунку пожежно-рятувального автомобіля при обмеженні на людські та технічні ресурси, не знижуючи при цьому рівня безпеки особового складу.

Актуальною науково-практичною задачею є перевірка достовірності існуючої багатофакторної математичної моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів та визначених на її основі оперативно-тактичних рекомендацій особовому складу.

Гарні статистичні та точнісні характеристики всіх коефіцієнтів регресії має трифакторна поліноміальна модель оперативного розгортання, яку можна отримати за результатами проведення багатофакторного експерименту за планом $3 \times 2 \times 2$. Для реалізації обраного плану достатньо отримати по 12 оцінок середніх значень часу оперативного розгортання за обраним варіантом та по 12 значень відповідних середньоквадратичних відхилень. Це цілком реально можна зробити за результатами імітаційного фізичного моделювання обраних для розгляду варіантів оперативного розгортання.

Існуюча експериментально-випробувальна база дозволяє перевірити достовірність математичної моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим рятувальним підрозділом шляхом отримання статистично значимих показників часу здійснення обраного варіанту оперативного розгортання у відповідності до плану $3 \times 2 \times 2$ проведення випробувань.

Результати натурних експериментів збіглися з результатами теоретичних розрахунків і вклались в довірчі інтервали, розраховані з надійністю 0,95, що підтвердило достовірність математичної моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру першим рятувальним підрозділом.

Статистичний аналіз отриманих багатофакторних моделей оперативного розгортання показав можливість користування отриманими варіантами моделі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів без спрощення для визначення оперативно-технічних рекомендацій за результатами ранжування факторів по ступеню їх впливу на час оперативного розгортання, оскільки в цьому випадку забезпечується досягнення достовірних результатів з рівнем двостороннього ризику $\alpha=0,05$.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інформаційна–аналітична довідка про виникнення НС в Україні у 2020 році. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/119288.html>
2. World Fire Statistics / N. N. Brushlinsky, M. Ahrens, P. Wagner 2019. № 24.P 64. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2019-04/CTIF_Report24_ERG.pdf
3. Belyuchenko D., Maksymov A., Strelec V. 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. №2 (30). 2019. 42-53.
4. Olasunkanmi Habeeb Okunola (2019), "Spatial analysis of disaster statistics in selected cities of Nigeria", International Journal of Emergency Management, 2019 Vol.15 No.4, pp.299 – 315. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.104195>
5. Ralf Josef Johanna Beerens (2019), "Does the means achieve an end? A document analysis providing an overview of emergency and crisis management evaluation practice in the Netherlands", International Journal of Emergency Management, 2019 Vol.15 No.3, pp.221 – 254. <https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJEM.2019.102310>
6. Kayvan Yousefi Mojir; Sofie Pilemalm (2016), "Actor-centred emergency response systems: a framework for needs analysis and information systems development", International Journal of Emergency Management (IJEM), Vol. 12, No. 4, 2016, pp.435 – 456. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2016.079844>
7. Willem Treurniet; Kees Boersma; Peter Groenewegen (2019), "Configuring emergency response networks", International Journal of Emergency Management, 2019 Vol.15 No.4, pp.316 – 333. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJEM.2019.104200>
8. Gibson, T.D. and Scott, N. (2019), "Views from the Frontline and Frontline methodology: critical reflection on theory and practice", Disaster Prevention and Management, Vol. 28 No. 1, pp. 6-19. <https://doi.org/10.1108/DPM-07-2018-0214>

9. Garnier, E. (2019), "Lessons learned from the past for a better resilience to contemporary risks", *Disaster Prevention and Management*, Vol. 28 No. 6, pp. 786-803. <https://doi.org/10.1108/DPM-09-2019-0303>
10. Andre Samberg, Yevhen Stetsiuk, Mihail M. Divizinyuk, Victor Kovalchuk, Ihor Soloviov, Vasyl Matukhno, Olena Maslyukivska, Yuliia Honcharenko, "A proof-of-concept of smart lightweight cone for explosive ordnance mitigation in nonpermissive operating environment," *Proc. SPIE 11542, Counterterrorism, Crime Fighting, Forensics, and Surveillance Technologies IV*, 115420F (20 September 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2574809>
11. Патент на винахід №120327 Україна, МПК F42D 5/04 (2006.01), F42D 5/045 (2006.01). Заявник та патентовласник Харківський Національний університет цивільного захисту України. – заявка № а 2018 06121; заявл. 01.06.2018; опубл. 11.11.2019, Бюл. №21. – К.: Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України, ДП «Український інститут інтелектуальної власності», 2019. – 9 с.
12. Stetsiuk Y. Development of mathematical model of localization of an explosion of a small subject with the help of a specialized protective device / Y. Stetsiuk // *Technology audit and production reserves*. – 2019. – №3/2(47). P.26-30; DOI: 10.15587/2312-8372.2019.173640
13. Multi-part Document BS EN 1846 – Firefighting and rescue service vehicles. URL: <https://doi.org/10.3403/BSEN1846>
14. Zuo-fu Yu, Jia-lin Guan. Fire and Rescue Combat Technical Training System Construction for Dangerous Chemicals. // *Procedia Engineering*. №135-2016. 655-660. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816001375>
15. Xinmin, Y., Feixue, H. & Xinbin, Y. Deploying Fire Trucks and Water Sources. *Fire Technology* 35, 179–183 (1999). <https://doi.org/10.1023/A:1015420106797>
16. Ignatiev A. Features of the organization fighting fires at low temperatures. // *Arctic and North*. – 2011. – № 3. P.162-169. http://www.arcticandnorth.ru/upload/uf/d2d/AaN_2011_3.pdf
17. Vasiľev, N. I., & Movchan, I. A. (2016). Matematyčeskaâ model' i oçenka riska likvidacii požara. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 41, 47–54. <https://bibliotekanauki.pl/articles/373029>
18. Lizhi Wu & Aizhu Ren (2009) Research on Urban Fire Risk Comprehensive Evaluation and Its Applications in China, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 15:4, 778-788. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10807030903051226>
19. Antonov, I., Velichkova, R., Antonov, S., & Grozdanov, K. (2020). Mathematical Modeling and Simulation of Development of the Fires in Confined Spaces. In F. Zafar, & A. Ghosal (Eds.), *Fire Safety and Management Awareness*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91274>
20. Бєлючєнкo Д. Ю., Стрїлєць В. М. Багатофакторна оцїнка ефєктивностї оперативного розгортання пожежних автомобїлїв в умовах виникнення надзвичайних ситуацїй техногенного характеру // *Комунальне господарство мїст*, 2020, том 3, випуск 156. – С.204-211. DOI 10.33042/2522-1809-2020-3-156-204-211
21. Beliuchenko D., Burmenko A., Loboichenko V., Maxsymov A. Specifics of the multivariate simulation evaluation of the system “rescuer – emergency equipment – emergency” functioning // *Scientific foundations of modern engineering*. 2020. P.211-215. <https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2020/05/Project-ISG-2020-MONO-TECH-I.pdf>
22. Díaz, J. Modeling of an aircraft fire extinguishing process with a porous medium equation. *SN Appl. Sci.* 2, 2108 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03891-9>
23. Бєлючєнкo Д. Ю., Стрїлєць В. М., Грїцина І. М. Аналіз впливу чисельностї розрахунку пожежно-рятувального автомобїля на час оперативного розгортання // *Проблеми надзвичайних ситуацїй*. № 1(33). 2021. С.103-116. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2021-33-9>
24. Бєлючєнкo Д. Ю., Дєйнеко Н. В., Сошинський О. І., Стрїлєць В. М. Обґрунтування нормативїв для оцїнювання оперативних розгортань на нових пожежних

автомобілях різного класу // Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник. № 142. 2018. С.137-144. <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5197/5142>

25. Камишенцев, Г., Соловійов, І., Белюченко, Д., Стрілець, В. (2020). Інформаційно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій шляхом комплексного використання систем акустичного контролю в контексті процесу функціонування системи «надзвичайна ситуація – аварійно-рятувальні роботи – рятувальник». Науковий журнал «Інженерія природокористування», (3(17)), 133-139. [https://doi.org/10.37700/enm.2020.3\(17\).133-139](https://doi.org/10.37700/enm.2020.3(17).133-139)

26. Стрілець В. М., Белюченко Д. Ю., Іванов Є. В. Порівняльний аналіз виконання оперативних розгортань на пожежних автоцистернах різного класу. Проблеми пожарной безопасности. Сборник научных трудов. 2017. Вып. 43 – С. 168-177. <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol43/strelec.pdf>

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

28. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. – Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1971. – 576 с.

REFERENCES

1. Informatsiina – analitychna dovidka pro vynyknennia NS v Ukraini u 2020 rotsi. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/119288.html>

2. N. N. Brushlinsky, M. Ahrens & P. Wagner (2019). World Fire Statistics. № 24. 64 pp. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2019-04/CTIF_Report24_ERG.pdf

3. 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, №2 (30). P.42-53. https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol30/3beluchenko_en.pdf

4. Olasunkanmi Habeeb Okunola (2019), "Spatial analysis of disaster statistics in selected cities of Nigeria", International Journal of Emergency Management, 2019 Vol.15 No.4, pp.299 – 315. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.104195>

5. Ralf Josef Johanna Beerens (2019), "Does the means achieve an end? A document analysis providing an overview of emergency and crisis management evaluation practice in the Netherlands", International Journal of Emergency Management, 2019 Vol.15 No.3, pp.221 – 254. <https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJEM.2019.102310>

6. Kayvan Yousefi Mojir; Sofie Pilemalm (2016), "Actor-centred emergency response systems: a framework for needs analysis and information systems development", International Journal of Emergency Management (IJEM), Vol. 12, No. 4, 2016, pp.435 – 456. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2016.079844>

7. Willem Treurniet; Kees Boersma; Peter Groenewegen (2019), "Configuring emergency response networks", International Journal of Emergency Management, 2019 Vol.15 No.4, pp.316 – 333. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJEM.2019.104200>

8. Gibson, T.D. and Scott, N. (2019), "Views from the Frontline and Frontline methodology: critical reflection on theory and practice", Disaster Prevention and Management, Vol. 28 No. 1, pp. 6-19. <https://doi.org/10.1108/DPM-07-2018-0214>

9. Garnier, E. (2019), "Lessons learned from the past for a better resilience to contemporary risks", Disaster Prevention and Management, Vol. 28 No. 6, pp. 786-803. <https://doi.org/10.1108/DPM-09-2019-0303>

10. Andre Samberg, Yevhen Stetsiuk, Mihail M. Divizinyuk, Victor Kovalchuk, Ihor Soloviov, Vasyl Matukhno, Olena Maslyukivska, Yuliia Honcharenko, "A proof-of-concept of smart lightweight cone for explosive ordnance mitigation in nonpermissive operating environment," Proc. SPIE 11542, Counterterrorism, Crime Fighting, Forensics, and Surveillance Technologies IV, 115420F (20 September 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2574809>

11. Patent na vynakhid №120327 Ukraina, MPK F42D 5/04 (2006.01), F42D 5/045 (2006.01). Zaiavnyk ta patentovlasnyk Kharkivskiyi Natsionalnyi universytet tsyvilnoho zakhystu

Ukrainy. – zaiavka № a 2018 06121; zaiavl. 01.06.2018; opubl. 11.11.2019, Biul. №21. – K.: Ministerstvo rozvytku ekonomky, torhivli ta silskoho hospodarstva Ukrainy, DP «Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti», 2019. – 9 s.

12. Stetsiuk Y. (2019) Development of mathematical model of localization of an explosion of a small subject with the help of a specialized protective device. Technology audit and production reserves. – №3/2(47). P.26-30; DOI: 10.15587/2312-8372.2019.173640

13. Multi-part Document BS EN 1846 – Firefighting and rescue service vehicles. URL: <https://doi.org/10.3403/BSEN1846>

14. Zuo-fu Yu, Jia-lin Guan. Fire and Rescue Combat Technical Training System Construction for Dangerous Chemicals. // Procedia Engineering. №135-2016. 655-660. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816001375>

15. Xinmin, Y., Feixue, H. & Xinbin, Y. (1999) Deploying Fire Trucks and Water Sources. Fire Technology 35, 179–183. <https://doi.org/10.1023/A:1015420106797>

16. Ignatiev A. Features of the organization fighting fires at low temperatures. // Arctic and North. – 2011. – № 3. P.162-169. http://www.arcticandnorth.ru/upload/uf/d2d/AaN_2011_3.pdf

17. Vasil'ev, N. I., & Movchan, I. A. (2016). Matematicheskaâ model' i oçenka riska likvidacii požara. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, 41, 47–54. <https://bibliotekanauki.pl/articles/373029>

18. Lizhi Wu & Aizhu Ren (2009) Research on Urban Fire Risk Comprehensive Evaluation and Its Applications in China, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 15:4, 778-788. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10807030903051226>

19. Antonov, I., Velichkova, R., Antonov, S., & Grozdanov, K. (2020). Mathematical Modeling and Simulation of Development of the Fires in Confined Spaces. In F. Zafar, & A. Ghosal (Eds.), Fire Safety and Management Awareness. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91274>

20. Beliuchenko D. Yu., Strilets V. M. Bahatofaktorna otsinka efektyvnosti operatyvnoho rozghortannia pozheznykh avtomobiliv v umovakh vynyknennia nadzvychnykh sytuatsii tekhnohennoho kharakteru // Komunalne hospodarstvo mist, 2020, tom 3, vypusk 156. – C.204-211. DOI 10.33042/2522-1809-2020-3-156-204-211

21. Beliuchenko D., Burmenko A., Loboichenko V. & Maxsymov A. (2020) Specifics of the multivariate simulation evaluation of the system “rescuer – emergency equipment – emergency” functioning. Scientific foundations of modern engineering. P.211-215. <https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2020/05/Project-ISG-2020-MONO-TECH-I.pdf>

22. Díaz, J. (2020) Modeling of an aircraft fire extinguishing process with a porous medium equation. SN Appl. Sci. 2, 2108. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03891-9>

23. Beliuchenko D. Yu., Strilets V. M. Bahatofaktorna otsinka efektyvnosti operatyvnoho rozghortannia pozheznykh avtomobiliv v umovakh vynyknennia nadzvychnykh sytuatsii tekhnohennoho kharakteru // Komunalne hospodarstvo mist, 2020, tom 3, vypusk 156. – C.204-211. DOI 10.33042/2522-1809-2020-3-156-204-211

24. Beliuchenko D.Iu., Deineko N.V., Soshynskyi O.I., Strilets V.M. Obgruntuvannia normatyviv dlia otsiniuvannia operatyvnykh rozghortan na novykh pozheznykh avtomobiliakh riznoho klasu // Komunalne hospodarstvo mist. Naukovo-tekhnicnyi zbirnyk. № 142. 2018. C.137-144. <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5197/5142>

25. Kamyshentsev, H., Soloviov, I., Beliuchenko, D., & Strilets, V. (2020). Informatyivno-tekhnicnyi metod poperedzhennia nadzvychnykh sytuatsii shliakhom kompleksnoho vykorystannia system akustychnoho kontroliu v konteksti protsesu funktsionuvannia systemy «nadzvychna sytuatsiia – avariino-riatuvalni roboty – riatuvalnyk». Naukovyi zhurnal «Inzheneriia pryrodokorystuvannia», (3(17)), 133-139. [https://doi.org/10.37700/enm.2020.3\(17\).133-139](https://doi.org/10.37700/enm.2020.3(17).133-139)

26. Strilets V. M., Beliuchenko D. Yu., Ivanov Ye. V. Porivnialnyi analiz vykonannia operatyvnykh rozghortan na pozheznykh avtotsystemakh riznoho klasu. Problemy požarnoi bezopasnosti. Sbornyk nauchnykh trudov. 2017. Vip. 43–S. 168-177. <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol43/strelec.pdf>

27. Voznesenskiy V.A. Statystycheskye metody planirovaniya eksperymenta v tekhniko-ekonomycheskykh yssledovaniyakh. – M.: Fynansy y statystyka, 1981. – 263 s.

28. Mytropolskiy A.K. Tekhnika statystycheskykh vychysleniy. – Hlavnaia redaktsiya fizyko-matematycheskoi lyteratury yzdatelstva «Nauka», 1971. – 576 s.

*Dmitry Belyuchenko, PhD, Denys Lovin, Victor Strelets, DSc, Professor,
National University of Civil Defence of Ukraine,
Valeriy Strelec, PhD*

STATISTICAL EVALUATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF OPERATIONAL DEPLOYMENT OF FIRE AND RESCUE VEHICLES

The application of experimental research planning methods showed that to obtain a multifactor mathematical model of operational deployment of fire and rescue vehicles, which will take into account the impact, in this case nonlinear, selected parameters (class of fire and rescue vehicles, level of operational calculation and season), and the effects of interaction between them, it is advisable to conduct a multifactorial experiment in accordance with the plan 3x2x2. To implement the selected plan, it is enough to get 12 estimates of the average values of the time of operational deployment of the selected option and 12 values of the corresponding standard deviations. It is noted that this can be done based on the results of simulation physical modeling of the selected options for operational deployment on the training base, which exists in each rescue unit and is identical. The implementation of the selected plan provides good statistical and accurate characteristics of all regression coefficients. It is shown that the results of field experiments, which considered the implementation of operational deployments in two ways (option 1 "Supply of GPS-600 barrel through a working line on three sleeves with a diameter of 51 mm from the tanker" and option 2 trunk "B" with the laying of the main line on two hoses with a diameter of 77 mm and two working lines with the installation of a tanker on a fire hydrant ") coincided with the results of theoretical calculations and fit into confidence intervals calculated with a reliability of 0.95. This confirmed the reliability of the mathematical model of operational deployment of fire and rescue vehicles during the elimination of man-made emergencies by the first rescue unit. Statistical analysis of the obtained multifactor models of operational deployment of fire and rescue vehicles showed that the obtained variants of the model without simplification provide reliable results with a level of bilateral risk $\alpha = 0.05$ and allow them to be used to determine operational and technical recommendations. for the duration of the personnel.

Keywords: *operational deployment, fire and rescue vehicle, multifactor model, statistical analysis, reliability.*