

*В.М. Стрілець, к.т.н., с.н.с., НУЦЗУ,  
В.В. Тригуб, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **БАГАТОФАКТОРНА ОЦІНКА ВИКОНАННЯ ТИПОВИХ ОПЕРАЦІЙ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В КОМПЛЕКСАХ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

(представлено д-ром техн. наук Андроновим В.А.)

Запропонована послідовність отримання та аналізу багатофакторної моделі, яка характеризує виконання рятувальниками окремих типових операцій. Показана можливість отримання практичних рекомендацій за результатами кількісної оцінки взаємопов'язаних та нелінійних факторів, які впливають на ефективність проведення аварійно-рятувальних робіт

Ключеві слова: багатофакторна оцінка, комплекс засобів індивідуального захисту, операція, підготовка

**Постановка проблеми.** У загальному комплексі проблем щодо ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) в комплексах індивідуального захисту (КЗІЗ) немаловажним є питання конкретизації особливостей підготовки рятувальників до виконання найбільш складних та важливих операцій, з яких складається процес ліквідації або локалізації осередку НС, особливо в тому випадку, коли розглядаються ситуації з викидами небезпечних хімічних речовин (НХР).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що на цей час для цього в більшості випадків [1, 2, 3, 4] розглядають статистичні характеристики, які характеризують розподіл часу виконання. Їх аналіз для простих операцій, які характеризуються  $\beta$ -розподілом часу виконання, за співвідношенням параметрів  $\alpha$  та  $\beta$  дозволяє [2, 3] визначити рівень підготовленості особового складу, який розглядається. Але в [4] показано, що практично всі операції в КЗІЗ характеризуються нормальним розподілом.

В роботах [5, 6] відмічено, що зміна часу виконання окремої операції в залежності від рівня підготовленості особового складу характеризується експоненціальною залежністю і після 7-8 тренувальних спроб час виконання операції в КЗІЗ практично не зменшується [7]. Це дозволяє [8] перейти до визначення науково-обґрунтованих нормативів, які, тим не менш, відносяться до роботи в конкретному варіанті КЗІЗ.

Порівняльний аналіз того, як міняється час виконання типових операцій в залежності від застосування рятувальниками конкретних модифікацій засобів індивідуального захисту органів дихання, розглядався в [6], але в цьому випадку не враховувались умови навколишньо-

го середовища. В [9] наведені рекомендації по корегуванню розрахункових оцінок часу виконання окремих операцій процесу ліквідації НС з викидами НХР, але вони не враховують ні модифікацію КЗІЗ, ні рівень підготовленості рятувальників.

В той же час, в [10, 11] за результатами імітаційного моделювання процесів локалізації та ліквідації НС, які складаються з окремих операцій, показано, що відповідні багатофакторні моделі їх виконання дозволяють одночасно аналізувати і стан навколишнього середовища, і модифікацію КЗІЗ, яка використовується, і рівень підготовленості рятувальників.

**Постановка завдання та його вирішення.** Виходячи з наведеного вище, поставлена задача отримання та аналізу багатофакторної моделі, яка характеризує виконання рятувальниками окремих типових операцій, з яких складається процес ліквідації надзвичайної ситуації.

Для отримання багатофакторної залежності враховувалось те, що в [12] наведені експериментальні результати виконання однієї із найбільш складних операцій процесу локалізації НС з викидом НХР методом реконденсації [13] – з'єднання рукава з системою кріплення, які підтверджують [5, 6], що час виконання цієї операції змінюється за експоненціальним законом (рис. 1), а відповідні розподіли часу виконання є нормальними (рис. 2).

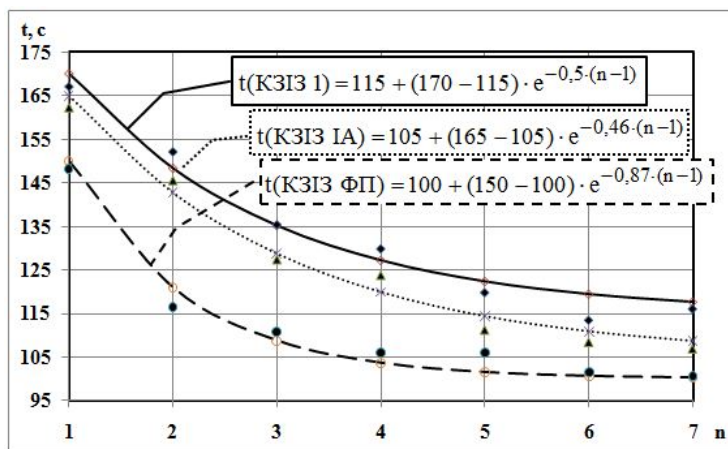


Рис. 1. Залежність часу з'єднання рукава з системою кріплення від рівня підготовленості та оснащення рятувальників ( $n$  – кількість тренувальних спроб)

Це дозволило по аналогії з [11], де показана доцільність одночасного розгляду трьох факторів (в нашому випадку,  $x_1$  – приведеної інтенсивності  $\psi$  викиду НХР [14] як характеристики компоненти «середовище»;  $x_2$  – підготовленості особового складу як характеристики компоненти «рятувальник»;  $x_3$  – комбінації засобів індивідуального захисту рятувальників як характеристика компоненти «техніка»), які можуть бути нелінійними та взаємопов'язаними, перейти до отримання трифакторної квадратичної залежності (в

кодованих перемінних) часу з'єднання рукава з системою кріплення у відповідності до традиційного плану 3x3x3 техніко-економічних експериментів [15].

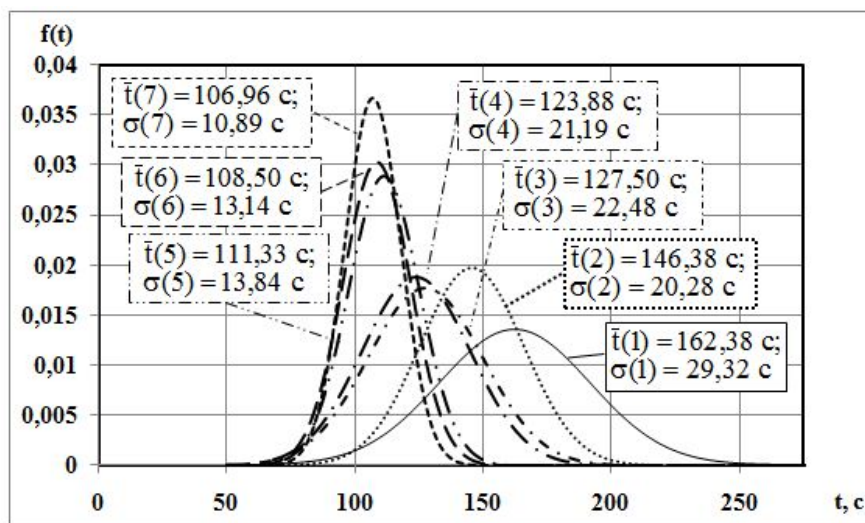


Рис. 2. Розподіл часу з'єднання рукава з системою кріплення

Як і у випадку [11], оцінка впливу обраних факторів розглядалась для ситуації, коли вони змінюються на двох рівних інтервалах. Під час визначення фактора  $x_1$  враховується, що при  $\Psi = 1 \frac{\text{кг/с}}{\text{МГ/М}^3}$  ( $x_1 = -1$ ) всі операції особовий склад повинен виконувати в комплексі засобів індивідуального захисту, який передбачає застосування ізолюючого апарата всередині ізолюючого костюма (КЗІЗ 1); при  $\Psi = 0,1 \frac{\text{кг/с}}{\text{МГ/М}^3}$  ( $x_1 = 0$ ) – обов'язкове використання ізолюючого апарата, який може бути надягнутий поверх ізолюючого костюма (КЗІЗ ІА); при  $\Psi = 0,01 \frac{\text{кг/с}}{\text{МГ/М}^3}$  – рятувальники використовують ізолюючі костюми разом із фільтруючими проти газами (КЗІЗ ФП).

Стосовно рівня підготовленості враховувалось [8] те, що початковий рівень практичної виучки ( $x_2 = -1$ ) має місце під час першого ( $n=1$ ) виконання завдання, а найвищий ( $x_2 = +1$ ) – під час останнього ( $n=7$ ); середина факторного простору ( $x_2 = 0$ ) приймалась при  $n=4$  для роботи в ізолюючих костюмах з ізолюючими проти газами та  $n=3$  – з фільтруючими. Під час оцінки конкретних комплексів індивідуального захисту враховувалось [8], що найвища швидкість виконання окремих операцій має місце при роботі в КЗІЗ ФП ( $x_3 = +1$ ), а найнижча ( $x_3 = -1$ ) – в КЗІЗ 1; середина факторного простору ( $x_3 = 0$ ) відповідає ситуації із КЗІЗ ІК, коли ізолюючий апарат знаходиться ззовні ізолюючого костюма.

З урахуванням рекомендацій [15] щодо доцільності використання в кодіваних перемінних параметру, який передбачається аналізувати, час виконання операції з'єднання рукава з системою кріплення розглядається як

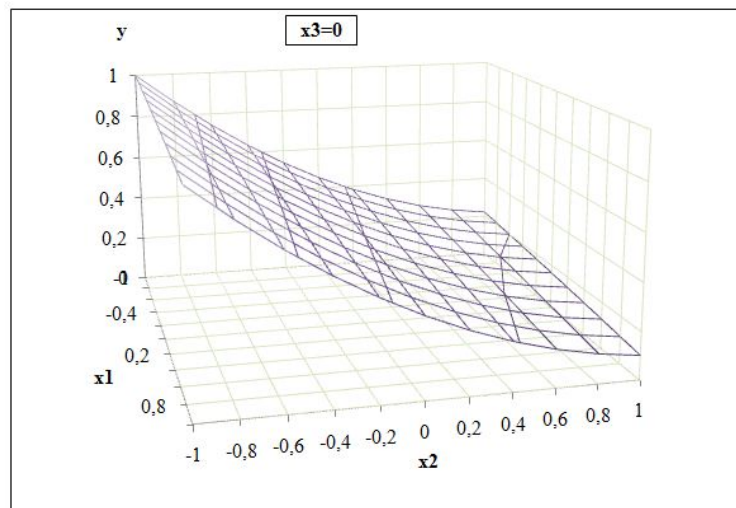
$$y = \frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}}, \quad (1)$$

де  $t$  – час виконання в натуральному вигляді, с;  $t_{\max}$ ,  $t_{\min}$  – відповідно максимальний та мінімальний час з'єднання рукава з системою кріплення, с.

В результаті вище переліченого отримано модель операції, яка розглядається, у вигляді

$$y = 0,4001 - 0,0584 \cdot x_1 - 0,3923 \cdot x_2 - 0,0584 \cdot x_3 - 0,0037 \cdot x_1^2 + 0,1569 \cdot x_2^2 - 0,0037 \cdot x_1^2 - 0,0014 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0670 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0014 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (2)$$

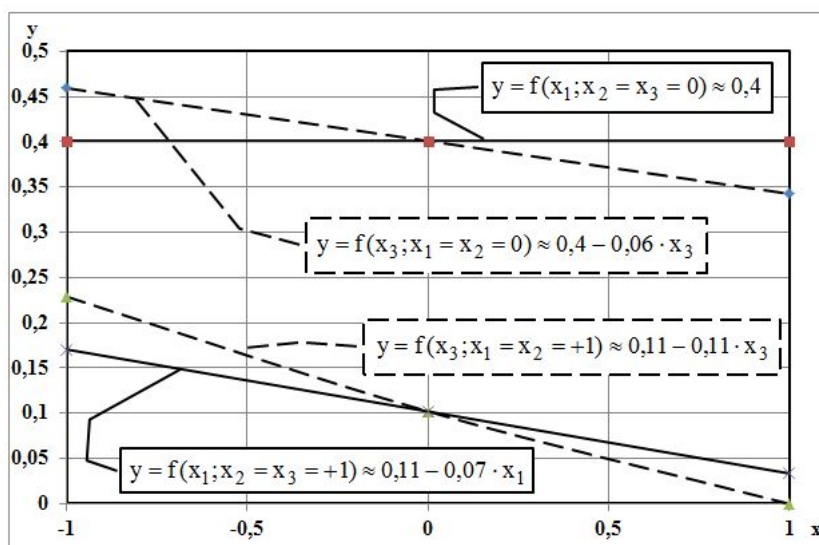
Аналіз (2) дозволяє стверджувати (рис. 3), що найбільш вагомим параметром, який впливає на час виконання операції, є показник підготовленості  $x_2$ , проте для уточнення особливостей роботи в різних умовах навколишнього середовища доцільно проаналізувати й те, як на час впливає вибір конкретної модифікації КЗІЗ.



**Рис. 3. Залежність часу (в кодіваних перемінних) від інтенсивності викиду НХР та рівня підготовленості рятувальників**

Враховуючи те, що в зоні максимуму за найгіршої ситуації з викидом НХР можна працювати тільки в КЗІЗ 1, інтерпретація моделі

(2) з метою ранжування факторів  $x_1$  та  $x_3$  проводилась у відповідності до [16] шляхом аналізу однофакторних моделей (рис. 4), отриманих при стабілізації інших на рівнях, які відповідають центру факторного простору та координатам екстремуму  $y_{\max}$ .



**Рис. 4.** Однофакторні моделі залежності часу з'єднання рукава з системою кріплення (в кодованих перемінних) від інтенсивності викиду та обраного комплексу КЗІЗ в центрі факторного простору та в зоні мінімуму

Аналіз отриманих результатів (рис. 4) говорить про те, що в центрі факторного простору, а також низьких значеннях приведеної інтенсивності  $\Psi$  та високому рівні підготовленості особового складу на час виконання операції більш суттєво впливає те, наскільки рятувальники правильно обирають модифікацію КЗІЗ. Особливо це помітно на рівнях, які відповідають екстремуму  $y_{\max}$ . Таким чином, знання конкретного рівня небезпеки біля місця проведення аварійно-рятувальних робіт буде значимо сприяти підвищенню ефективності ліквідації надзвичайної ситуації.

**Висновки.** Показана доцільність використання для багатфакторного аналізу ефективності виконання рятувальниками операцій ліквідації надзвичайних ситуацій в комплексах засобів індивідуального захисту трифакторних нелінійних квадратичних моделей.

При існуючих комплексах засобів індивідуального захисту найбільш вагомим параметром, який впливає на час виконання операції, є практична підготовленість особового складу, показником якої є може служити кількість тренувальних спроб щодо виконання операції, що розглядається.

Підготовка рятувальників повинна включати не тільки тренування щодо виконання типової операції, але й навчання застосуванню засобів контролю небезпеки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Зигель А. Модели группового поведения в системе "человек-машина" / Зигель А., Вольф Дж. – М.: Мир, 1976. – 356 с.
2. Чуковский В.Н. Разработка методов обоснования штатной численности боевых расчетов пожарных автомобилей: дис. ... кандидата техн. наук: 21.06.02 / Чуковский Вячеслав Николаевич – Харьков, 1998. – 155 с.
3. Стрелець В.М. Розкриття закономірностей виконання газодимозахисниками основних операцій / В.М. Стрелець, П.А. Ковальов, Є.А. Молодика, В.М. Ішук // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: зб. наук. пр. – 2015. – № 11. – С. 165-172.
4. Стрелець В.М. Раскрытие закономерностей деятельности спасателей при выполнении основных операций в процессе ликвидации аварий с выбросом опасных химических веществ / В.М. Стрелець, М.В. Васильев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – Москва. – 2013. – № 2. – С. 81-86.
5. Введение в эргономику / Под ред. В.П. Зинченко. – М., "Сов. радио", 1974. – 351 с.
6. Ковальов П.А. Вдосконалення порівняльної оцінки апаратів на стисненому повітрі / П.А. Ковальов, В.М. Стрелець, М.В. Васильев // Проблеми надзвичайних ситуацій. – № 10 – Харків, Фоліо, 2009. – С. 91-98.
7. Стрелець В.М. Разработка нормативов для оценки подготовленности спасателей к работе в комплексе средств индивидуального типа / В.М. Стрелець, М.В. Васильев, В.В. Тригуб // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2014. – № 19. – С.133-141. – [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol19/19.pdf>.
8. Васильев М.В. Определение количества тренировочных попыток, после которого можно оценивать качество выполнения задания / М.В. Васильев, В.М. Стрелець // Техносферная безопасность. – 2013. – № 1 – Екатеринбург, Уральский институт ГПС МЧС России. – С. 61-64.
9. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В.А., Лукьянчиков А.Г., Павлов К.Н. и др.]; под ред. В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
10. Стрелець В.М. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: моногр. / В.М. Стрелець, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха. – НУЦЗУ. – Х.: НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2012. – 112 с.
11. Васильев М.В. Анализ многофакторной модели функционирования системы «спасатель – средства защиты и ликвидации аварии –

чрезвычайная ситуация с выбросом опасного химического вещества» / М.В. Васильев, В.М. Стрелец, В.В. Тригуб // Проблемы надзвичайних ситуацій. – № 18. – Харків: Фоліо, 2013. – С.22-33. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol18/Pns\\_2013\\_18\\_6.pdf](http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol18/Pns_2013_18_6.pdf).

12. Підвищення ефективності роботи рятувальників в засобах індивідуального захисту [Текст]: звіт про НДР (заключ.) / НУЦЗУ. – кер. Стрелець В.М.; вик.: Бородич П.Ю. [та ін.]. – Харків, 2012. – 198 с. – ДР 011U0022447.

13. Васильев М.В. Представление исходных данных для имитационного моделирования процесса ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасного химического вещества / М.В. Васильев, В.М. Стрелец // Проблемы надзвичайних ситуацій. – № 14. – Харків: Фоліо, 2011. – С. 53-64.

14. Басманов А.Е. Выбор комплекса средств индивидуальной защиты для обеспечения работ по ликвидации непрерывно действующего источника опасного химического вещества / Басманов А.Е., Говаленков С.С., Васильев М.В. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – № 13. – Харків: Фоліо, 2011. – С. 29-39.

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

В.М. Стрелец, В.В. Тригуб

**Многофакторная оценка выполнения типовых операций ликвидации чрезвычайных ситуаций в комплексах средств индивидуальной защиты**

Предложена последовательность получения и анализа многофакторной модели, характеризующей выполнение спасателями отдельных типовых операций. Показана возможность получения практических рекомендаций по результатам количественной оценки взаимосвязанных и нелинейных факторов, которые влияют на эффективность проведения аварийно-спасательных работ.

**Ключевые слова:** многофакторная оценка, комплекс средств индивидуальной защиты, операция, подготовка.

V.M. Strelec, V.V. Trigub

**Multifactor assessment of the performance of typical operations liquidation of emergency situations in the complexes of PPE**

A sequence of obtaining and analyzing a multifactor model that characterizes the performance of separate unit operations rescuers. The possibility of obtaining practical recommendations on the results of quantifying the interconnected and nonlinear factors that influence the effectiveness of rescue operations.

**Keywords:** multifactorial estimation, complex of PPE, operation, training.