

Розробка математичної моделі підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження

The Development of a mathematical model for increasing the efficiency of emergency rescue operations in conditions of possible combat damage

Віктор Стрілець^A

Corresponding author: д.т.н., професор, доцент кафедри, e-mail: vstrelec1956@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5992-1195

Ігор Маловик^B

головний інспектор відділу нормативної та ліцензійної роботи управління пожежної безпеки Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям апарату ДСНС, e-mail: ivmal132@gmail.com, ORCID: 0009-0009-2319-9730

Сергій Степанчук^C

старший викладач кафедри піротехнічних та спеціальних робіт, e-mail: stepanchukdsns@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6618-4119

Валерій Стрілець^D

к.т.н., Supervisor EORE, e-mail: v.strelec.brand@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1913-7878

Андрій Хижняк^E

PhD, e-mail: poltava@dsns.gov.ua, ORCID: 0009-0005-1745-0432

Олександр Вальченко^F

к.в.н., доцент, доцент кафедри, e-mail: valchenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9635-9418

Viktor Strelets^A

Corresponding author: Dr of Sciences, Professor, Docent, e-mail: vstrelec1956@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5992-1195

Ighor Malovyk^B

Chief Inspector of the Department of Regulatory and Licensing Work of the fire Safety Department of the Emergency Prevention Department of the State Emergency Service, e-mail: ivmal132@gmail.com, ORCID: 0009-0009-2319-9730

Serhii Stepanchuk^C

Senior teacher of the Department of Pyrotechnics and Special Works, e-mail: stepanchukdsns@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6618-4119

Valery Strelec^D

PhD, Supervisor EORE, e-mail: v.strelec.brand@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1913-7878

Andrii Khyzhniak^E

PhD, e-mail: poltava@dsns.gov.ua, ORCID: 0009-0005-1745-0432

Oleksander Valchenko^F

PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department, e-mail: valchenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9635-9418

^A Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, м. Київ, Україна

^B Державна служба України з надзвичайних ситуацій, м. Київ, Україна

^C Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна

^D Гуманітарна міжнародна організація "The Halo Trust", м. Київ, Україна

^E ГУ ДСНС України в Полтавській області, м. Полтава, Україна

^F Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

^A Institute of Public Administration and Scientific Research on Civil Protection, Kyiv, Ukraine

^B State Emergency Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

^C National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

^D International humanitarian organization "The Halo Trust", Kyiv, Ukraine

^E State Emergency Service of Ukraine in Poltava region, Poltava, Ukraine

^F National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Received: July 22, 2024 | Revised: October 10, 2024 | Accepted: October 31, 2024

DOI: 10.33445/sds.2024.14.5.18

Мета роботи: розробка математичної моделі підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

Метод дослідження: застосування теорії множин.

Результати дослідження: вперше розроблено математичну модель підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

Теоретична цінність дослідження: обґрунтована можливість отримання закономірностей діяльності рятувальників не тільки безпосередньо в ході проведення аварійно-рятувальних робіт, але й під час їх навчання та тренування, у тому разі на спеціалізованих тренажерних (навчально-тренувальних) комплексах або за допомогою імітаційних систем, які повністю реалізуються на ЕОМ.

Практична цінність дослідження: розроблена математична модель має стати науковим підґрунтям методики скорочення часу

Purpose: development of a mathematical model for increasing the efficiency of emergency rescue operations in conditions of possible combat damage.

Method: application of set theory.

Findings: for the first time, a mathematical model for increasing the efficiency of emergency rescue operations in conditions of possible combat damage was developed.

Theoretical implications: a well-founded possibility of obtaining patterns of rescuers' activity not only directly during emergency rescue operations, but also during their training and training, in that case at specialized training (educational and training) complexes or with the help of simulation systems that are fully implemented on a computer.

Practical value of the research: the developed mathematical model should become the scientific basis of the methodology for reducing the time of emergency rescue work by rescuers of

проведення аварійно-рятувальних робіт рятувальниками ДСНС в умовах можливого бойового ураження.

Оригінальність/Цінність дослідження: визначення функціональної структури процесу розкриття закономірностей проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження у вигляді відповідної множини функцій розкриття закономірностей діяльності рятувальників надає можливість проводити аналіз функцій системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» незалежно від рівня її складності.

Обмеження дослідження/Майбутні дослідження: необхідність проведення багаточисельних експериментальних досліджень для підтвердження достовірності розробленої математичної моделі та ефективності методики скорочення часу аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження на її основі.

Тип статті: аналітичний.

Ключові слова: аварійно-рятувальні роботи, бойове ураження, математична модель, ефективність.

the State Emergency Service in conditions of possible combat damage.

Originality/Value of the research: the definition of the functional structure of the process of revealing the patterns of emergency and rescue operations in the conditions of possible combat damage in the form of a corresponding set of functions of revealing the patterns of the activities of rescuers provides an opportunity to analyze the functions of the system "rescuer - means of protection and provision of emergency and rescue operations - an emergency situation with the possibility of combat damage" regardless of the level of its complexity.

Research Limitations/Future Research: the need to conduct numerous experimental studies to confirm the reliability of the developed mathematical model and the effectiveness of the methodology for reducing the time of emergency and rescue operations in conditions of possible combat damage based on it.

Paper type: analytical.

Key words: emergency and rescue operations, combat damage, mathematical model, efficiency.

Вступ

В умовах сьогодення, коли рашисти використовують підлу тактику нанесення подвійних ударів по цивільним об'єктам, націлюючись на рятувальників, які прибувають для проведення аварійно-рятувальних робіт, особовий склад Оперативно-рятувальної служби кожен день здійснює близько 200 виїздів на ліквідацію наслідків ураження ворогом населених пунктів та об'єктів інфраструктури [1].

Все це свідчить про актуальність проблеми підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження рятувальників.

Теоретичні основи дослідження

Проблема підвищення ефективності особового складу оперативно-рятувальних підрозділів під час проведення аварійно-рятувальних робіт розглядалась з різних сторін: з позицій загальної теорії недопущення надзвичайних ситуацій [2, 3], відповідності тому, як розвиваються надзвичайні ситуації [4, 5], організації робіт в рятувальних підрозділах [6, 7]. В усіх цих роботах у якості недоліку та напрямку, у відповідності до якого треба проводити наукові дослідження, відзначалась відсутність математичних моделей. Саме останні повинні бути основою відповідних науково-обґрунтованих рекомендацій.

Це ж зазначено і в [8], де показано, що саме детальний аналіз складних інцидентів, які доцільно розглядати у вигляді моделі, яка відображає функціонування системи "людина – техніка – середовище", дозволить розробити рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування цієї системи. З урахуванням цього в [9] була розроблена модель навчання служб швидкого реагування на основі великомасштабних тактико-спеціальних навчань. Але до недоліків зробленого можна відзначити, що з самого початку перед конкретними підрозділами керівництво навчання на ставило цілі, які б було можливим конкретизувати у вигляді, який можна представити у якості вихідних даних моделі. Аналогічний недолік має місце і в [10], де рекомендації розробляються за результатами аналізу реальних вихідних даних, які були отримані під час стихійних лих.

Все це підкреслює необхідність дослідження причинно-наслідкових зв'язків під час функціонування системи "людина – техніка – середовище" [11, 12]. Проте, при цьому ніде не показано, що аналіз функціональної структури процесу функціонування такої системи може надати можливість отримати всі необхідні для оцінки показники її ефективності за допомогою відповідних імітаційних моделей (як тих, що відтворюються на ЕОМ, так і фізичних).

В той же час аналіз наявних імітаційних моделей, які відтворюють проведення аварійно-рятувальних робіт [13, 14, 15] показує на проблему визначення узагальнених інтегральних характеристик, оскільки розробці оперативно-технічних рекомендацій за їх допомогою має передувати визначення тих цілей, яких має досягнути система «рятувальник – засоби забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація».

В загальному випадку підхід до визначення цих цілей було зроблено в [16], де була підкреслена проблема обґрунтування обмежень як під час розрахунку як показників ефективності системи, що розглядається, так і під час визначення нормативних показників ефективності. А в умовах можливого бойового ураження це ускладнюється тим, що рятувальники використовують не тільки, загальноприйняті засоби індивідуального захисту, але й засоби противибухового захисту [17], використання яких несе як додаткове навантаження (більше 10 кг), так і обмежує рух.

Тим більше, що наявні експериментальні дослідження проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження і стосовно бойового розгортання пожежно-рятувальних автомобілів [18], і стосовно роботи газодимозахисників [19] в засобах бронезахисту, а також гуманітарного розмінування в радіаційно-забрудненій місцевості [20] підтвердили те, що розглянуті показники діяльності рятувальників мають суттєві (на рівні 0,05) відмінності.

Постановка проблеми

Таким чином, важливою та нерозв'язаною частиною проблеми підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження без зниження рівня безпеки рятувальників є відсутність узагальненої математичної моделі, яка б враховувала функціональну структуру процесу розкриття закономірностей відповідної діяльності рятувальників, завдавала властивості системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» у вигляді узагальнених інтегральних характеристик, а також визначала цілі імітаційної оцінки такої системи з урахуванням обмежень, пов'язаних з можливістю бойового ураження.

Методологія дослідження

Метою статті є розробка математичної моделі підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

Для її досягнення потребують вирішення наступні завдання:

- визначення функціональної структури процесу розкриття закономірностей проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження;
- завдання властивостей системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» у вигляді узагальнених інтегральних характеристик;
- визначення цілей імітаційної оцінки системи ««рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження»;
- представлення шуканої математичної моделі у вигляді системи рівнянь.

Результати

1. Визначення функціональної структури процесу розкриття закономірностей проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження

Функціональна структура процесу розкриття закономірностей проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження може бути представлена у вигляді якісного складу функцій, їх кількості і відносини між ними. Для виконання функцій може використовуватися безліч наборів різноманітних засобів. При цьому вони повинні мати область значень у вигляді множини наборів вихідних характеристик модельованого процесу проведення аварійно-рятувальних робіт (АРР) рятувальниками.

Позначимо у вигляді $X_{HC} = \{x_{HC}\}$ множини наборів різноманітних НС у відповідності до [1], а $X_{APO}^{HC} = \{x_{apo}^{HC}\}$ – множини існуючого та такого, що створюється, можливого аварійно-рятувального обладнання.

Тоді

$$(x_{HC}, x_{apo}^{HC}) \in A_1, A_1 \subset X_{HC} \times X_{APO}^{HC}, \quad (1)$$

де $X_{HC} \times X_{APO}^{HC}$ – множина упорядкованих пар (x_{HC}, x_{apo}^{HC}) ;
 A_1 – відношення, яке відображає процес отримання набору вихідних характеристик x_{apo}^{HC} з у відповідності до набору x_{HC} різноманітних НС.

Областю визначення відношення A_1 функціональної структури вибору аварійно-рятувального обладнання, яке є необхідним для проведення аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації НС є множина перших координат

$$D_1(A_1) \subset X_{HC}. \quad (2)$$

Областю значень (результатів) відношення A_1 є множина других координат

$$D_2(A_1) \subset X_{APO}^{HC}. \quad (3)$$

Тобто, якщо $x_{HC_i} \in X_{HC}$, то перетин по x_i відношення A_1 є множина $x_{apo}^{HC} \in X_{APO}^{HC}$ таких, що $A_{1_i} = (x_{HC_i}, x_{apo}^{HC}) \in A_1$. Звідси видно, що для фіксованого варіанту можливої НС x_{HC_i} можна встановити набір можливого аварійно-рятувального обладнання, використання якого забезпечить процес ліквідації НС.

Розмірковуючи аналогічно, позначимо $X_{APP}^{HC} = \{x_{app}^{HC}\}$ – множини аварійно-рятувальних робіт, які можуть бути виконані під час ліквідації НС. Тоді

$$(x_{HC}, x_{app}^{HC}) \in A_2, A_2 \subset X_{HC} \times X_{APP}^{HC}, \quad (4)$$

де $X_{HC} \times X_{APP}^{HC}$ – множина упорядкованих пар (x_{HC}, x_{app}^{HC}) ;
 A_2 – відношення, яке відображає процес отримання набору вихідних характеристик x_{app}^{HC} з у відповідності до набору x_{HC} різноманітних НС.

Областю визначення відношення A_2 функціональної структури розкриття закономірностей під час ліквідації НС є множина перших координат

$$D_1(A_2) \subset X_{HC}. \quad (5)$$

Областю значень (результатів) відношення A_2 є множина других координат

$$D_2(A_2) \subset X_{APP}^{HC}. \quad (6)$$

Тобто, якщо $x_{HC_i} \in X_{HC}$, то перетин по x_i відношення A_2 є множина $x_{app}^{HC} \in X_{APP}^{HC}$ таких, що $A_{1_i} = (x_{HC_i}, x_{app}^{HC}) \in A_2$. Звідси видно, що для фіксованого варіанту можливої НС x_{HC_i} можна встановити можливий набір аварійно-рятувальних робіт, виконання яких забезпечить ліквідацію НС.

Якщо у випадку дій в умовах можливого бойового ураження множину їх різноманітних видів представити у вигляді $X_y = \{x_y\}$, а рятувальне обладнання, яке використовується для забезпечення безпеки особового складу, у вигляді $X_{33}^y = \{x_{33}^y\}$, то

$$(x_y, x_{33}^y) \in A_3, A_3 \subset X_y \times X_{33}^y, \quad (7)$$

де $X_y \times X_{33}^y$ – множина упорядкованих пар (x_y, x_{33}^y) ;
 A_3 – відношення, яке відображає процес отримання набору вихідних характеристик x_{33}^y засобів захисту у відповідності до набору x_y різноманітних видів можливого бойового ураження.

Областю визначення відношення A_3 функціональної структури вибору існуючих засобів захисту, яке забезпечить безпеку рятувальників від впливу небезпечних чинників можливого бойового ураження, є множина перших координат

$$D_1(A_3) \subset X_y. \quad (8)$$

Областю значень (результатів вибору) відношення A_3 є множина других координат

$$D_2(A_3) \subset X_{33}^y. \quad (9)$$

Тобто, якщо $x_{y_i} \in X_y$, то перетин по x_{y_i} відношення A_3 є множина $x_{33}^y \in X_{33}^y$ таких, що $A_{3_i} = (x_{y_i}, x_{33}^y) \in A_3$. Звідси видно, що для фіксованого варіанту можливого бойового ураження x_{y_i} можна встановити набір можливих засобів захисту, використання якого забезпечить безпеку від впливу небезпечних чинників можливого бойового ураження.

Якщо ж $X_p^y = \{x_p^y\}$ множина заходів, які повинні здійснити рятувальники для забезпечення своєї безпеки в умовах можливого бойового ураження, то

$$(x_y, x_p^y) \in A_4, A_4 \subset X_y \times X_p^y, \quad (10)$$

де $X_y \times X_p^y$ – множина упорядкованих пар (x_y, x_p^y) ;
 A_4 – відношення, яке відображає процес отримання набору вихідних характеристик x_p^y тих заходів, які рятувальники повинні здійснити у відповідності до набору x_y різноманітних видів можливого бойового ураження.

Областю визначення відношення A_4 функціональної структури розкриття закономірностей дій рятувальників щодо забезпечення своєї безпеки в умовах можливого бойового ураження, є множина перших координат

$$D_1(A_4) \subset X_y. \quad (11)$$

Областю значень (результатів вибору відповідних дій щодо забезпечення безпеки рятувальників) відношення A_4 є множина других координат

$$D_2(A_4) \subset X_p^y. \quad (12)$$

Тобто, якщо $x_{y_i} \in X_y$, то перетин по x_{y_i} відношення A_4 є множина $x_p^y \in X_p^y$ таких, що $A_{4i} = (x_{y_i}, x_p^y) \in A_4$. Звідси видно, що для фіксованого варіанту можливого бойового ураження x_{y_i} можна встановити набір дій, виконання яких забезпечить безпеку рятувальників у відповідних умовах.

Проте треба враховувати, що для забезпечення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження (АРР УБУ) треба одночасно використовувати як аварійно-рятувальне обладнання (множина $X_{APO}^{HC} = \{x_{apo}^{HC}\}$), так і відповідні засоби захисту (множина $X_{33}^y = \{x_{33}^y\}$), тобто має місце множина $X_{APO}^{HC+y} = X_{APO}^{HC} \times X_{33}^y$ упорядкованих пар (x_{apo}^{HC}, x_{33}^y) . Це вимагає від рятувальників вміння одночасно виконувати як дії, що пов'язані з ліквідацією НС (множина $X_{APP}^{HC} = \{x_{app}^{HC}\}$), так і дії, що пов'язані із забезпеченням безпеки від можливого бойового ураження (множина $X_p^y = \{x_p^y\}$). Тобто має місце множина $X_{APP}^{HC+y} = X_{APP}^{HC} \times X_p^y$ упорядкованих пар (x_{app}^{HC}, x_{33}^y) .

Тоді

$$(x_{apo}^{HC+y}, x_{app}^{HC+y}) \in A_5, A_5 \subset X_{APO}^{HC+y} \times X_{APP}^{HC+y}, \quad (13)$$

- де $X_{APO}^{HC+y} \times X_{APP}^{HC+y}$
 A_5
- множина упорядкованих пар $(x_{apo}^{HC+y}, x_{app}^{HC+y})$;
 - відношення, яке відображає розкриття закономірностей діяльності рятувальників у вигляді процесу отримання набору показників $\{x_{app}^{HC+y}\}$, що характеризують дії особового складу під час проведення аварійно-рятувальних робіт без зниження рівня безпеки у відповідності до набору $\{x_{apo}^{HC+y}\}$ того обладнання, яке необхідне для проведення аварійно-рятувальних робіт, та засобів захисту від небезпечних чинників можливого бойового ураження.

Областю визначення відношення A_5 функціональної структури вибору тих аварійно-рятувальних робіт, які особовий склад повинен виконати із дотриманням умов забезпечення безпеки від впливу небезпечних чинників можливого бойового ураження під час ліквідації НС, є множина перших координат

$$D_1(A_5) \subset X_{APO}^{HC+y}. \quad (14)$$

Областю значень (результатів) відношення A_5 є множина других координат

$$D_2(A_5) \subset X_{APP}^{HC+y}. \quad (15)$$

Тобто, якщо $x_{apo}^{HC+y} \in X_{APO}^{HC+y}$, то перетин по x_i відношення A_5 є множина $x_{app}^{HC+y} \in X_{APP}^{HC+y}$ таких, що $A_{5i} = (x_{apo}^{HC+y}, x_{app}^{HC+y}) \in A_5$. Звідси видно, що для фіксованого набору $\{x_{apo}^{HC+y}\}$ аварійно-рятувального обладнання, включаючи засоби захисту, яке є необхідним для ліквідації НС в умовах можливого бойового ураження, можна встановити набір $\{x_{app}^{HC+y}\}$ показників, які

характеризують дії проведення аварійно-рятувальних робіт рятувальниками без зниження рівня безпеки рятувальників.

Множина A_{5_i} всіх перетинів відношення A_5 , що викликають зацікавленість фахівців, з одного боку представляє собою множину функцій F розкриття закономірностей (РЗ) проведення аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації НС в умовах можливого бойового ураження, а з іншого – утворює фактор-множину X_{APP}^{HC+Y} по відношенню A_5 , тобто

$$F = X_{APP}^{HC+Y} / A_5 = \bigcup_{i=1}^n A_{5_i}, \quad (16)$$

де X_{APP}^{HC+Y} / A_5 – фактор-множина X_{APP}^{HC+Y} по відношенню A_5 ;
 n – кількість перетинів, які відповідають доцільним варіантам розкриття діяльності рятувальників під час проведення АРР УБУ із застосуванням існуючого або перспективного комплексу аварійно-рятувального обладнання та засобів захисту від можливих небезпечних чинників.

При цьому множина функцій F розкриття закономірностей проведення АРР УБУ може складатись з двох підмножин

$$F = \Omega\{\theta_j\} \cup M\{m_k\}, \quad (17)$$

де $\Omega\{\theta_j\}$ – підмножина функцій РЗ тих видів діяльності рятувальників, які здійснюються безпосередньо в процесі проведення АРР УБУ;
 $M\{m_k\}$ – підмножина функцій РЗ, які виконуються за допомогою імітаційної системи.

Заміщення функцій РЗ безпосередньо в процесі проведення АРР УБУ результатами імітаційного моделювання (у тому разі у вигляді фізичного моделювання операцій і процесів, які здійснюють рятувальники) системи “рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження” (СРЗЗНСУ) є операцією γ переводу елементів підмножини Ω в елементи множини M , яка уявляє собою підмодель власне імітаційної системи M_{APP}^{HC+Y} проведення АРР УБУ як моделі функціонування системи СРЗЗНСУ.

Множина операцій переводу $P = \{\gamma(j)\}$ утворюється на множині всіх пар

$$P = \Omega \times M_{APP}^{HC+Y}. \quad (18)$$

Тобто, множина Ω може бути повністю заміщеною множиною M , в результаті чого всі вихідні характеристики СРЗЗНСУ можуть бути отримані імітаційним шляхом, а сама функціональна структура процесу РЗ проведення АРР УБУ розглядатися як імітаційна система. В результаті закономірності проведення таких аварійно-рятувальних робіт можуть бути знайдені незалежно від рівня складності даної СРЗЗНСУ.

Множина результатів операції γ збігається з безліччю $S = \{s\}$ станів СРЗЗНС, перехід в які визначається діяльністю рятувальників. За аналогією з (10) та з урахуванням (11) і (12) отримаємо

$$F = M_{APP}^{HC+Y} / B = \bigcup_{j=1}^s B_j, \quad (19)$$

де M_{APP}^{HC+Y}/B – фактор-множина M_{APP}^{HC+Y} по відношенню B ;
 B_j – множина всіх перетинів по θ_j відношення B , що викликають у фахівців зацікавленість, у тому разі пов'язану з, наприклад, здійсненням процесу імітації проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

Таким чином, визначення функціональної структури процесу розкриття закономірностей проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження у вигляді відповідної множини функцій розкриття закономірностей діяльності рятувальників надає можливість проводити аналіз функцій системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» незалежно від рівня її складності, оскільки дозволяє по мірі зростання складності системи процесу ліквідації надзвичайної ситуації перейти від оцінки закономірностей виконання типових операцій або процесів безпосередньо в ході проведення аварійно-рятувальних робіт перейти до їх отримання під час навчання та тренування, у тому разі на спеціалізованих тренажерних (навчально-тренувальних) комплексах, або повністю реалізувати процес оцінювання закономірностей діяльності за допомогою імітаційних систем, які повністю реалізуються на ЕОМ.

2. Завдання властивостей системи “рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження” у вигляді узагальнених інтегральних характеристик

Стосовно моделей функціонування СРЗЗНСУ незалежні перемінні компонентів системи є характеристиками системи, а вхідні перемінні – моделями цих характеристик. Завдання властивостей СРЗЗНСУ є необхідною, але недостатньою умовою розв'язання задач оцінки цієї системи. Ці властивості повинні бути об'єднані у визначені сукупності або виражатися у вигляді узагальнених інтегральних характеристик. Такими узагальненими характеристиками виступають показники якості СРЗЗНСУ, тобто така сукупність її властивостей, яка виражає ступінь корисності системи для зовнішнього середовища на виході імітаційної системи.

В цьому випадку показник якості СРЗЗНСУ в цілому представляє собою невпорядковану безліч

$$Q_{APP}^{HC+Y} = \left\{ \{Q_{APP}^{HC+Y}{}_i\}; i = 1, 2, \dots, n_{Q_{APP}^{HC+Y}} \right\}, \quad (20)$$

де $Q_{APP}^{HC+Y}{}_i$ – i -ий показник якості СРЗЗНСУ;
 $n_{Q_{APP}^{HC+Y}}$ – кількість показників якості.

Оскільки досягнення мети системою повинно дозволити виділення її основних формальних властивостей, вона повинна бути формалізована, тобто приведена до виду, який допускає кількісну оцінку. Тоді кожен показник якості Q_{APP}^{HC+Y} повинен являти собою впорядковану безліч

$$Q_{APP}^{HC+Y}{}_i = \left\{ \left\{ Q_{APP}^{HC+Y}{}_{i_j} \right\}; j = 1, 2, \dots, n_{Q_i}; \right. \\ \left. Q_{APP}^{HC+Y}{}_{i_1} < Q_{APP}^{HC+Y}{}_{i_2} < \dots < Q_{APP}^{HC+Y}{}_{i_{n_{Q_i}}} \right\}, \quad (21)$$

де $Q_{APP}^{HC+Y}{}_{i_j}$ – j -е значення i -ого показника якості.

При цьому показники Q_i визначені за допомогою множини функцій F розкриття закономірностей проведення аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації НС в умовах можливого бойового ураження на безлічі $\{x_{apo}^{HC+Y}\}$ безпосередньо самої системи або ж, у відповідності до (19), на вході моделі M_{APP}^{HC+Y} власне імітаційної системи. Виходячи з цього, показник якості для моделі M_{APP}^{HC+Y} з урахуванням правил організації СРЗНСУ є вже часткова впорядкована безліч

$$Q_{APP}^{HC+Y} = \left\langle \{Q_{APP}^{HC+Y}{}_k\}; k = 1, 2, \dots, n_{Q\Sigma}; \right. \\ \left. Q_{APP}^{HC+Y}{}_1 < Q_{APP}^{HC+Y}{}_2 < \dots < Q_{APP}^{HC+Y}{}_{n_{Q\Sigma}} \right\rangle = \left\langle \{Q_{APP}^{HC+Y}{}_k\}; k = 1, 2, \dots, n_{Q\Sigma}; \phi \right\rangle, \quad (22)$$

де $Q_{APP}^{HC+Y}{}_k$ – k -ий показник якості СРЗНСУ;
 $K \times X_{APP}^{HC+Y}$ – декартовий твір;
 K – безліч, яка впорядковує та відображає правила організації СРЗНСУ;
 ϕ – відображення $K \times X_{APP}^{HC+Y}$ в безліч Q_{APP}^{HC+Y} .

Оскільки проведення аварійно-рятувальних робіт на інтервалі T має причинно-наслідковий характер, то в моделях СРЗНСУ, що розглядаються, наслідком, результатом причин, що діють на систему, буде ефект СРЗНСУ, тобто впорядкована безліч

$$Y_{APP}^{HC+Y} = \left\langle \{Y_{APP}^{HC+Y}{}_l\}; l = 1, 2, \dots, n_Y; \phi \right\rangle, \quad (23)$$

$$\phi_1: Z \times Q_{APP}^{HC+Y} \times T \rightarrow Y_{APP}^{HC+Y},$$

де $Y_{APP}^{HC+Y}{}_l$ – l -е значення ефекту на інтервалі T ;
 n_Y – кількість значень ефекту;
 Z – безліч, що впорядковує, яка уявляє собою безліч закономірностей функціонування СРЗНСУ зі встановленими зв'язками між показниками якості системи і результатами її функціонування;
 ϕ_1 – відображення $Z \times Q_{APP}^{HC+Y} \times T$ в безліч Y_{APP}^{HC+Y} .

Відображення ϕ_1 фактично уявляє собою процес визначення ефектів від реалізації конкретних складових обраного варіанту проведення АРР УБУ. Такі ефекти можуть бути отримані як після натурних досліджень, і тоді реалізація Z_l уявляє собою методику отримання емпіричних даних на інтервалі T , так і в результаті використання попередньо визначених функціональних залежностей

$$Y_{APP}^{HC+Y}{}_l = F_l(X_{APP}^{HC+Y}, T), \quad (24)$$

які фактично є закономірностями проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

Таким чином, у якості закономірності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження може розглядатись функціональна залежність, яка відображає функціонування системи "рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження, встановлюючи об'єктивний, повторюваний за певних умов зв'язок між показниками якості системи і властивими їй ефектами функціонування в часі.

3. Визначення цілей імітаційної оцінки системи “рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження”

Якщо окремі властивості СРЗЗНСУ є частковими характеристиками системи, то ефективність системи є нормований до витрат ресурсів результат функціонування системи на певному інтервалі часу, тобто ефективність СРЗЗНСУ представляє собою впорядковану безліч

$$E = \left\langle \{E_m\}; m = 1, 2, \dots, n_E; E_1 < E_2 < \dots < E_{n_E}; \varphi_2: H \times \chi_{APP}^{HC+Y} \times Y_{APP}^{HC+Y} \rightarrow E \right\rangle, \quad (25)$$

- де E_m – m -е значення ефективності системи, $E_m \in E$;
 χ_{APP}^{HC+Y} – витрачений ресурс, який представляє собою набір $\{\chi_{apo}^{HC+Y}\}$ того обладнання, яке необхідне для проведення аварійно-рятувальних робіт, та $\{\chi_{33}^{HC+Y}\}$ засобів захисту від небезпечних чинників можливого бойового ураження;
 H – безліч, яка встановлює зв'язок між витраченим ресурсом, отриманим ефектом і показниками ефективності СРЗЗНСУ;
 φ_2 – відображення $H \times \chi_{APP}^{HC+Y} \times Y_{APP}^{HC+Y}$ в безліч E .

СРЗЗНСУ мають внутрішньосистемні і зовнішні (надсистемні) критерії ефективності [21]. При цьому зовнішній критерій ефективності системи повинен бути [22] величиною, яка має фізичний вимір. Це дозволяє функціонування СРЗЗНСУ розглядати у вигляді нормативної діяльності, яка передбачає забезпечення ефективності системи не нижче заданої. В цьому випадку зовнішній критерій ефективності може розглядатися як

$$E(T) \geq E^*(T) | t = T, \quad (26)$$

- де $E(T)$ – значення ефективності системи в момент часу $t = T$;
 $E^*(T)$ – нормативне значення ефективності системи в момент часу $t = T$.

Внутрішньосистемні критерії ефективності базуються на можливості отримання кількісної оцінки ступеня досягнення мети за допомогою безлічі формалізованих властивостей СРЗЗНСУ та, відповідно, безлічі критеріїв якості діяльності системи. Безліч показників якості діяльності організації визначає безліч критеріїв ефективності СРЗЗНСУ. Різні підходи [23,24] до отримання кількісних оцінок ефективності систем по безлічі критеріїв в кінцевому підсумку зводяться до вибору виду залежності F показника E узагальненої ефективності СРЗЗНСУ від показника її узагальненої ефективності, викликаного показниками якості, властивими системі,

$$E(T) = [Y_{APP}^{HC+Y}] \quad , \quad (27)$$

$$\chi_{APP}^{HC+Y} \leq (\chi_{APO}^{HC+Y})^* \\ T \leq T^*$$

- де $Y_{APP}^{HC+Y} = [\{Y_{APP}^{HC+Y}{}_k\}]_{Q_k \geq Q_k^*}$ – безліч ефектів, притаманних СРЗЗНСУ;
 $Q_k^*, (\chi_{APP}^{HC+Y})^*, T^*$ – відповідно, необхідні значення k -го показника якості системи, ресурсів та часу.

Тоді при виконанні умов

$$\begin{cases} Q \geq Q^*, \\ X_{APP}^{HC+Y} \leq (X_{APP}^{HC+Y})^*, \\ T \leq T^* \end{cases} \quad (28)$$

необхідно досягнути

$$E(T) = [Y_{APP}^{HC+Y}] \begin{cases} X_{APP}^{HC+Y} \leq (X_{APP}^{HC+Y})^* \\ T \leq T^* \\ Q \geq Q^* \end{cases} \geq E(T)^*. \quad (29)$$

Таким чином, визначення цілей оцінки системи “рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження” полягає у визначенні таких закономірностей функціонування цієї системи, реалізація яких за обмежень, пов’язаних з часом та якістю проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, а також наявним ресурсом, який є необхідним як для здійснення визначеного комплексу робіт, так і забезпечення безпеки рятувальників, дозволить перевищити нормативне значення ефективності системи.

4. Представлення шуканої математичної моделі у вигляді системи рівнянь

Аналіз функціональної структури процесу розкриття закономірностей проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження (19)

$$F = M_{APP}^{HC+Y} / B = \bigcup_{j=1}^s B_j,$$

де M_{APP}^{HC+Y} / B – фактор-множина M_{APP}^{HC+Y} по відношенню B ;
 $B_j = (\theta_j, m) \in B$ – множина всіх перетинів по θ_j відношення B , що викликають у фахівців зацікавленість, у тому разі пов’язану з, наприклад, здійсненням процесу імітації проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження;

дозволяє знайти обмеження, пов’язані із забезпеченням безпеки рятувальників під час проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, та здійснити перехід до визначення закономірностей відповідної діяльності рятувальників за допомогою імітаційних систем, як таких, що реалізуються на спеціалізованих тренажерних (навчально-тренувальних) комплексах, так і таких, які реалізуються на ЕОМ.

У якості закономірності проведення АРР УБУ може розглядатись (24)

$$Y_{APP}^{HC+Y} = F(X_{APP}^{HC+Y}, T),$$

де X_{APP}^{HC+Y} – множина показників, які характеризують дії рятувальників без зниження рівня їх безпеки під час проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження на протязі визначеного часу T ;

оскільки відображає функціонування системи “рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження”, встановлюючи об’єктивний, повторюваний за певних умов зв’язок між показниками якості системи і властивими їй ефектами функціонування.

Тоді ціллю оцінки системи “рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження” буде визначення таких закономірностей діяльності рятувальників Y_{APP}^{HC+Y} , реалізація яких за обмежень,

пов'язаних з часом $T \leq T^*$ та якістю $Q \leq Q^*$ проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, а також наявним ресурсом, який є необхідним $X_{APP}^{HC+Y} \leq (X_{APP}^{HC+Y})^*$ як для здійснення визначеного комплексу робіт, так і забезпечення безпеки рятувальників, дозволить (29)

$$E(T) = [Y_{APP}^{HC+Y}] \begin{cases} X_{APP}^{HC+Y} \leq (X_{APP}^{HC+Y})^* \\ T \leq T^* \\ Q \geq Q^* \end{cases} \geq E(T)^*$$

отриманому значенню ефективності системи $E(T)$ перевищити його нормативне $E(T)^*$ значення.

Об'єднуючи вирази (19), (24) та (29) в систему рівнянь, отримаємо шукану математичну модель

$$\begin{cases} F = M_{APP}^{HC+Y}/B = \bigcup_{j=1}^s B_j; \\ Y_{APP}^{HC+Y} = F(X_{APP}^{HC+Y}, T); \\ E(T) = [Y_{APP}^{HC+Y}] \begin{cases} X_{APP}^{HC+Y} \leq (X_{APP}^{HC+Y})^* \\ T \leq T^* \\ Q \geq Q^* \end{cases} \geq E(T)^*. \end{cases} \quad (30)$$

Таким чином, математична модель підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження уявляє систему з трьох аналітичних залежностей. Перша – функціонал, який описує процес визначення обмежень, які пов'язані із забезпеченням безпеки рятувальників під час проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, та закономірностей відповідної діяльності рятувальників. Друга – функціонал, який уявляє собою закономірність, що відображає функціонування системи “рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження”, встановлюючи зв'язок між показниками якості системи і властивими їй ефектами функціонування в часі. Третя – функціонал уточнення на основі отриманих закономірностей таких правил організації системи, реалізація яких за існуючих обмежень, пов'язаних з часом, якістю проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження та наявним ресурсом, дозволить перевищити нормативне значення ефективності системи.

Висновки

1. Важливою та нерозв'язаною частиною проблеми підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження є відсутність відповідної узагальненої математичної моделі.

2. Визначення функціональної структури процесу розкриття закономірностей проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження у вигляді відповідної множини функцій розкриття закономірностей діяльності рятувальників надає можливість проводити аналіз функцій системи “рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження” незалежно від рівня її складності, оскільки дозволяє по мірі зростання складності системи процесу ліквідації надзвичайної ситуації перейти від оцінки закономірностей виконання типових операцій або процесів безпосередньо в ході проведення аварійно-рятувальних робіт перейти до їх отримання під час навчання та тренування, у тому разі на спеціалізованих

тренажерних (навчально-тренувальних) комплексах, або повністю реалізувати процес оцінювання закономірностей діяльності за допомогою імітаційних систем, які повністю реалізуються на ЕОМ.

3. У якості закономірності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження може розглядатись функціональна залежність, яка відображає функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження», встановлюючи об'єктивний, повторюваний за певних умов зв'язок між показниками якості системи і властивими їй ефектами функціонування в часі.

4. Визначення цілей оцінки системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» полягає у визначенні таких закономірностей функціонування цієї системи, реалізація яких за обмежень, пов'язаних з часом та якістю проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, а також наявним ресурсом, який є необхідним як для здійснення визначеного комплексу робіт, так і забезпечення безпеки рятувальників, дозволить перевищити нормативне значення ефективності системи.

Математична модель підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження уявляє систему з трьох аналітичних залежностей. Перша – функціонал, який описує процес визначення обмежень, які пов'язані із забезпеченням безпеки рятувальників під час проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, та закономірностей відповідної діяльності рятувальників. Друга – функціонал, який уявляє собою закономірність, що відображає функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження», встановлюючи зв'язок між показниками якості системи і властивими їй ефектами функціонування в часі. Третя – функціонал уточнення на основі отриманих закономірностей таких правил організації системи, реалізація яких за існуючих обмежень, пов'язаних з часом, якістю проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження та наявним ресурсом, дозволить перевищити нормативне значення ефективності системи.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. URL: <https://dsns.gov.ua/>
2. 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>
3. 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>
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://doi.org/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://doi.org/10.1504/IJEM.2019.104200>
8. David E. Verbitsky (2018). Quantitative analysis and assessment of intrinsic and extrinsic factors in human-in-the-loop incidents and prevalent early failures. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation*, 2018, 6:2-3, 228-248. <https://doi.org/10.1504/IJHFMS.2018.093208>
9. David Sjöberg and Miguel Inzunza (2022). Improving emergency preparedness with a live collaboration exercise model for first responders. *International Journal of Emergency Management*, 2022, 17:3-4, 195-216. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2022.125152>
10. Marjan Malešič (2021). Institutional and emergent improvisation in response to disasters in Slovenia. *International Journal of Emergency Management*, 2021, 17:2, 138-153. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2021.122932>
11. Akhilesh Barve, Ram Naresh Prasad, and Devendra K. Yadav (2020). Investigating causal relationship of disaster risk reduction activities in the Indian context. *International Journal of Emergency Management*, 2020, 16:1, 1-21. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2020.110105>
12. Liane Okdinawati, Made Irma Dwiputranti, and Raden Adriyani Oktora (2019). The role and multi parties interaction and coordination mechanism on disaster management. *International Journal of Emergency Management*, 2019, 15:2, 187-204. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.099380>
13. Стрелец В. М. Многофакторная оценка пожарно-спасательных работ на станциях метрополитена. Проблемы пожарной безопасности. 2004. №15. С. 208 -214.
14. Васильев М. В., Стрелец В. М., Тригуб В. В. Анализ многофакторной модели функционирования системы “спасатель – средства защиты и ликвидации аварии – чрезвычайная ситуация с выбросом опасного химического вещества”. Проблемы надзвичайних ситуацій. 2013. № 18. С. 22-33. URL: https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol18/Pns_2013_18_6.pdf
15. Соловйов І. І., Стрілець В. М., Льовін Д. А. Багатофакторна модель підйому водолазом-сапером вибухонебезпечного предмету. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2021. № 34. С. 272-294. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2021-34-20>
16. Льовін Д.А., Савельєв І.В., Стрілець В.М. Формування комплексу цілей імітаційної оцінки системи “рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація”. Комунальне господарство міст. 2022. № 6(173). <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-148-153>
17. Стрілець В., Скоробогатко Т., Пруський А., Маловик І. Обґрунтування нормативів для оцінювання рівня підготовленості рятувальників до одягання захисного спорядження в комплекті із засобами бронезахисту. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація, 2024, випуск 1 (8). С.101-112. <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.1.101.112>
18. Белюченко Д. Ю., Стрілець В. М., Луценко Т. О., Корчагін П. О., Маловик І. В., Ребров О. В. Обґрунтування нормативів для оцінювання оперативних розгортань в засобах

- бронезахисту. Проблеми надзвичайних ситуацій, 2023, випуск 2 (38). – С.25-39.
<https://doi.org/10.52363/2524-0226-2024-39-2>
19. Скоробагатько Т.М., Пруський А.В.1, Маловик І.В., Прокоф'єв М.І., Якіменко М.Л., Середа Д.В. Особливості діяльності газодимозахисників в умовах можливого бойового ураження. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2024. № 1(17). – С. 15-28. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2024.1.15-28>
20. Степанчук С.О., Стрілець В.М., Макаров Є.О., Стрілець В.В. Порівняльний кількісний аналіз особливостей гуманітарного розмінування в радіаційно-забрудненій місцевості. Проблеми надзвичайних ситуацій, 2023, випуск 2 (38). – С. 208-223. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2023-38-14>
21. Multicultural Health and Safety Research. Final Report – Fire 20/20. – 2007. – 314 p. URL: http://fire2020.org/oldsite/MHSRPPReportOnline/Frames/images/MHSRP_Report_FINALv2.3.3.pdf
22. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии. – Сов. радио, 1976. – 296 с.
23. Подиковский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. – Сов. радио, 1975. – 216 с.
24. Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизации АСКУ. – Сов. радио, 1971. – 324 с.

References

- 1 State Service of Ukraine for Emergency Situations. Available at: <https://dsns.gov.ua/>
2. 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>
3. 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>
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 Netherland. *International Journal of Emergency Management*, 2019 Vol.15 No.3, pp.221 – 254. <https://doi.org/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://doi.org/10.1504/IJEM.2019.104200>
8. David E. Verbitsky (2018). Quantitative analysis and assessment of intrinsic and extrinsic factors in human-in-the-loop incidents and prevalent early failures. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation*, 2018, 6:2-3, 228-248. <https://doi.org/10.1504/IJHfMS.2018.093208>
9. David Sjoberg and Miguel Inzunza (2022). Improving emergency preparedness with a live collaboration exercise model for first responders. *International Journal of Emergency Management*, 2022, 17:3-4, 195-216. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2022.125152>

10. Marjan Malešič (2021). Institutional and emergent improvisation in response to disasters in Slovenia. *International Journal of Emergency Management*, 2021, 17:2, 138-153. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2021.122932>
11. Akhilesh Barve, Ram Naresh Prasad, and Devendra K. Yadav (2020). Investigating causal relationship of disaster risk reduction activities in the Indian context. *International Journal of Emergency Management*, 2020, 16:1, 1-21. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2020.110105>
12. Liane Okdinawati, Made Irma Dwiputranti, and Raden Adriyani Oktora (2019). The role and multi parties interaction and coordination mechanism on disaster management. *International Journal of Emergency Management*, 2019, 15:2, 187-204. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.099380>
13. Strelets, V.M. (2004). Multifactorial assessment of fire and rescue operations at metro stations. *Problemy pozhezhnoi bezpeky*, pp. (208 -214). Kharkiv: NUTsZU [in Ukrainian].
14. Vasyliiev, M.V., Strelets, V.M., Tryhub, V.V. (2013). Analysis of a multifactorial model of the functioning of the system “rescuer – means of protection and liquidation of an accident – emergency situation with the release of a hazardous chemical substance”. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii* (pp. 22-33). Kharkiv: NUTsZU [in Ukrainian]. Available at: https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol18/Pns_2013_18_6.pdf
15. Soloviov, I. I., Strilets, V. M., Lovin, D. A. (2021). A multifactorial model of lifting an explosive object by a diver-sapper. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii* (pp. 22-33). Kharkiv: NUTsZU [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2021-34-20>
16. Lovin, D.A., Saveliev, I.V., Strilets, V.M. (2022). Formation of a set of goals for the simulated assessment of the system “rescuer – means of protection and provision of emergency and rescue work – emergency”. *Komunalne hospodarstvo mist*, 6(173), 148-153. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-148-153>
17. Strilets, V., Skorobohatko, T., Pruskyi, A., Malovyk, I. (2024). Justification of standards for assessing the level of readiness of rescuers to wear protective equipment complete with body armor. *Nadzvychaini sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia*, 101-112. Cherkasy: CHIPB NUTsZU [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.1.101.112>
18. Beliuchenko, D. Yu., Strilets, V. M., Lutsenko, T. O., Korchahin, P. O., Malovyk, I. V., Rebrov, O. V. (2023). Justification of standards for evaluating operational deployments in means of armor protection. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*, 2(38), 25-39. Kharkiv: NUTsZU [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2024-39-2>
19. Skorobahatko, T.M., Pruskyi, A.V., Malovyk, I.V., Prokofiev, M.I., Yakimenko, M.L., Sereda, D.V. (2024). Peculiarities of the activity of gas and smoke detectors in the conditions of a possible combat damage. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1(17), 15-28. Kyiv: UNDICZ [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2024.1.15-28>
20. Stepanchuk, S. O., Strilets, V. M., Makarov, Ye. O., Strilets, V. V. (2023). Comparative analysis of the regulations of humanitarian demining in a radiation-contaminated area. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*, 2(38), 208-223. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2023-38-14> [in Ukrainian].
21. Multicultural Health and Safety Research. Final Report – Fire 20/20. – 2007. 14 p. Available at: http://fire2020.org/oldsite/MHSRPReportOnline/Frames/images/MHSRP_Report_FINALv2.3.3.pdf
22. Druzhynyn, V.V., Kontorov, D.S. (1976). Problems of systemology. *Sov. Radyo*: [in Russian].
23. Podykovskiy, V.V., Havrylov, V.M. (1975). Optimization based on consistently applied criteria. *Sov. Radyo*: [in Russian].
24. Kuzmyn, I.V. (1971). Assessing the effectiveness and optimization of automated control systems. *Sov. Radyo*: [in Russian].