

Інформаційно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій шляхом комплексного використання систем акустичного контролю в контексті процесу функціонування системи «надзвичайна ситуація – аварійно-рятувальні роботи – рятувальник»

Г.В. Камишенцев¹, І.І. Соловійов², Д.Ю. Белюченко³, В.В. Стрілець⁴

¹ *Адміністрація Державної прикордонної служби України, (м.Київ, Україна) email: genana1976@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5780-3539*

² *Головне управління ДСНС України у Херсонській області, (м. Херсон, Україна) email: cross199110@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0400-6704*

³ *Національний університет цивільного захисту України, (м.Харків, Україна) email: mr.funt1984@i.ua, ORCID: 0000-0001-7782-2019*

⁴ *Науково-дослідний експериментально-випробувальний центр «Бранд Трейд» (м.Харків, Україна) email: vstrelec1956@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1913-7878*

Проведення аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації надзвичайних ситуацій в Україні на цей час ускладнюється проблемою невідповідності існуючого аварійно-рятувального озброєння в оперативно-рятувальних підрозділах сучасним завданням. І це вимагає системних досліджень, результати яких у вигляді багатофакторних закономірностей оперативної діяльності першого рятувального підрозділу дозволять обґрунтувати пропозиції щодо підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт. Відмічено, що важливою та нерозв'язаною частиною проблеми є відсутність математичної моделі ліквідації надзвичайної ситуації у загальному вигляді.

Показано, що уявлення процесу проведення аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації надзвичайної ситуації у вигляді функціонування системи «надзвичайна ситуація – аварійно-рятувальні роботи – рятувальник» дозволяє отримати математичну модель ліквідації надзвичайної ситуації першим рятувальним підрозділом у вигляді відповідної упорядкованої множини. В цій системі в якості вихідних даних присутні показники, що характеризують безпосередньо особовий склад оперативного розрахунку, оперативно-рятувальну техніку, умови проведення аварійно-рятувальних робіт та надзвичайну ситуацію.

Отримано математичну модель ліквідації надзвичайної ситуації першим рятувальним підрозділом, що врахує нелінійний вплив обраних факторів на ефективність проведення аварійно-рятувальних робіт, а також їх зв'язок між собою. Математична модель представляє собою систему чотирьох аналітичних залежностей. Перша уявляє собою функціонал, який описує процес проведення аварійно-рятувальних робіт. Друга дозволяє уявити цей функціонал як сукупність однофакторних моделей. Третя забезпечує визначення вагових коефіцієнтів при вирішенні багатофакторного завдання. Четверта дозволяє оцінити і вибрати оперативно-технічні рекомендації щодо підвищення ефективності процесу ліквідації відповідної надзвичайної ситуації за результатами ранжування факторів за ступенем впливу на ефективність проведення аварійно-рятувальних робіт.

Ключові слова: *надзвичайна ситуація; аварійно-рятувальні роботи; багатофакторна оцінка; оперативно-технічні рекомендації*

Постановка проблеми. Ефективне проведення аварійно-рятувальних робіт (АРР) першим пожежно-рятувальним підрозділом (ППРП) під час ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) вимагає розробки комплексу оперативно-технічних заходів, реалізація яких забезпечить скорочення часу ліквідації НС при обмеженнях на людські й технічні ресурси, не знижуючи при цьому рівня безпеки рятувальників. На цей час Україна відійшла від стереотипів СНД, де пожежно-рятувальні

підрозділи займаються переважно гасінням пожеж та ліквідацією наслідків дорожньо-транспортних пригод, і законодавчо встановила [1,2], що пожежно-рятувальні підрозділи займаються як гасінням пожеж, так і ліквідацією всіх можливих (як це прийнято у розвинутих країнах світу [3-5]) надзвичайних ситуацій. В той же час проведення АРР першим ПРП ускладнюється тим, що має місце проблема невідповідності існуючого аварійно-рятувального озброєння в ПРП сучасним

завданням, які стоять перед ним стосовно ліквідації НС. Все це вимагає системних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що особливості ліквідації НС розглядалися з різних сторін. Так, в [6,7] їх вивчали з точки зору розвитку НС, в [8,9] – з позицій організації робіт з ліквідації НС, в [10,11] – з позицій загальної теорії профілактики. Проте у всіх цих випадках вони не розглядали процес ліквідації НС ППРП із позицій забезпечення якості функціонування системи «надзвичайна ситуація – аварійно-рятувальні роботи – рятувальник» (НСАРПП).

В той же час, у відповідності до методології імітаційного моделювання [12] обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності проведення АРР повинно спиратись на аналіз закономірностей здійснення цього процесу, які необхідно отримати за результатами оцінки того, як функціонує НСАРПП.

Таким чином, важливою та нерозв'язаною частиною проблеми є відсутність математичної моделі ліквідації надзвичайної ситуації у загальному вигляді.

Метою статті є розробка математичного апарату з достовірного опису процесів ліквідації надзвичайної ситуації як процесу функціонування системи «надзвичайна ситуація – аварійно-рятувальні роботи – рятувальник», яке може стати основою для визначення єдиних підходів до обґрунтування рекомендацій щодо підвищення ефективності відповідних дій рятувальників.

Виклад основного матеріалу. Початкові та граничні умови функціонування математичної моделі. Нехай процес ліквідації НС здійснюється умовною системою «рятувальник – аварійно-рятувальна техніка – НС». Цю «умовну систему» надалі будемо називати як система. Теоретично це система має ряд особливостей.

По перше – має велику кількість підсистем («людина», «техніка», «середовище»), для кожної з яких визначається мета функціонування, що є підпорядкованою загальному завданню ліквідації надзвичайної ситуації;

По друге – має ієрархічну структуру зв'язків між загальним критерієм для всієї системи в цілому та частковими, локальними критеріями, які формуються для окремих підсистем (пора року впливає як на розвиток техногенної надзвичайної ситуації, так і на час оперативного розгортання, а, відповідно, і на час проведення АРР);

По третє – існують внутрішні зв'язки (недостатній рівень підготовленості навіть одного рятувальника в бойовому розрахунку може зробити неможливим використання можливостей аварійно-рятувальної техніки);

Четверте – має місце необхідність постійного управління системою (вибір конкретно визначеного керівником ліквідації НС варіанту оперативного розгортання в залежності від характеру НС у відповідності до Класифікатору);

П'яте – структура та процес функціонування системи (рятувальна техніка, яка використовується особовим складом, рівень підготовленості рятувальників, умови, в яких вони працюють) постійно міняються;

Шосте – має місце багатокритеріальність функціонування системи (ліквідація техногенної НС повинна відбуватись без загроз до загибелі або травмування особового складу, виходу із строку рятувальної техніки).

В цій системі в якості вихідних даних присутні виступають показники, що характеризують безпосередньо особовий склад оперативного розрахунку (множина $X_{РЯТ}$), оперативно-рятувальна техніка (множина $X_{ОРА}$), умови проведення АРР (множина X_U) та надзвичайну ситуацію ($X_{НС}$).

Сукупність цих чинників складають умови функціонування шуканої моделі. Враховуючи те, що вихідні дані розглядаються на момент виникнення НС, в результаті чого в кожній множині відсутні спільні перемінні, можна вважати; множини $X_{РЯТ}$, $X_{ОРА}$, X_U та $X_{НС}$ є таким, що складають надмножину X .

Процес розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів. Виходячи з того, що надмножина X визначає умови функціонування системи, справедливо

$$X = X_{РЯТ} \cup X_{ОРА} \cup X_U \cup X_{НС}. \quad (1)$$

При цьому, в нормативній документації ДНС України визначається порядок ліквідації (локалізації) НС, який уявляє собою множину варіантів проведення АРР, основу яких в діях першого підрозділу складають оперативні розгортання

$$Q = \{\{Q_m\}; m = 1, \dots, n_m; \phi_1: K_m \times X \rightarrow Q_m\} \quad (2)$$

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

В процесі функціонування системи під час виконання окремих складових (наприклад, типових операцій оперативного розгортання), які забезпечують проведення АРР для обраного варіанту Q^* , на інтервалі T має місце множина ефектів

$$G^* = \{\{G_k^*\}, k = 1, \dots, n_k; \phi_2: Z_k \times Q^* \times T \rightarrow G_k^*\} \quad (3)$$

де G_k^* – ефект від виконання k -ої складової обраного варіанту проведення АРР; n_k – кількість складових для Q^* ; Z_k – множина, яка упорядковує зв'язки між елементами множини Q^* та результатом виконання окремих складових процесу проведення АРР; ϕ_2 – відображення $Z_k \times Q^* \times T$ у множину G^* (визначення ефектів).

Це відображення уявляє собою фактично процес визначення ефектів від реалізації визначених складових обраного варіанту проведення АРР. Такі ефекти можуть бути визначеними як в результаті використання заздалегідь визначених функціональних залежностей

$$G_k^* = F_k^*(X, T), \quad (4)$$

кожна з яких фактично є закономірністю виконання рятувальниками k-ої складової обраного процесу проведення АРР, так і отримані після проведення натурних досліджень. В останньому випадку реалізація Z_k уявляє собою порядок отримання емпіричних даних.

Якщо окремі властивості системи, у тому разі множина G , є частковими властивостями системи, то її ефективність уявляє собою нормований до вихідних перемінних X результат функціонування системи на визначеному інтервалі часу, тобто ефективність проведення обраного варіанту АРР за умови визначення множини G уявляє собою упорядковану множину

$$Y^* = \left\{ \{Y_q^*\}, q = 1, \dots, n_q; Y_1^* > Y_2^* > \dots > Y_{n_q}^* \right\}, \quad (5)$$

де Y_q^* – q-й показник ефективності; n_q – кількість показників ефективності; H_q^* – множина (наприклад, технічні засоби підготовки рятувальників, у тому разі штатні пожежно-рятувальні автомобілі), яка встановлює зв'язок між вихідними даними X та результатами G виконання окремих складових оперативного розгортання у відповідності до обраного варіанту проведення АРР; ϕ_3 – відображення $H_q^* \times X \times G^*$ у множину Y^* (наприклад, визначення показників ефективності за результатами проведення натурних імітаційних експериментів).

У виразі (5) враховуються як технічні ($X_{\text{ОРА}}$), так і оперативні ($X_{\text{РЯТ}}$, X_U , $X_{\text{НС}}$, Q) складові функціонування системи, внаслідок чого множина Y відображає оперативно-технічний характер проведення АРР, а її можна розглядати як закономірність проведення АРР

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

у відповідності до обраного варіанту, оскільки вона уявляє собою закономірність, що відображає функціонування системи, встановлюючи об'єктивний, повторюваний за визначених умовах зв'язок між показниками якості системи та притаманними їй ефектами.

Варіанти використання сил і засобів у вигляді однофакторних моделей. Виходячи з цього, цілями оцінки процесу АРР, які спираються на натурні імітаційні експерименти, є: – встановлення причинно-наслідкових зв'язків між обраними факторами, які впливають на систему, та результатами її функціонування; – розкриття закономірностей проведення АРР в залежності від

оперативних та технічних складових, які характеризують систему; – уточнення на основі отриманої функціональної залежності таких правил організації системи, за яких буде перевищено визначене значення показника ефективності.

Впорядкованість множини Y дозволяє перейти від (6) до багатофакторної поліноміальної моделі, розробка якої спирається на відповідний план імітаційного експерименту, при виборі якого необхідно враховувати те, що вихідні показники можуть мати нелінійний вплив на показники ефективності проведення АРР та взаємодіяти між собою. В цьому випадку нелінійний вплив факторів в поліноміальній моделі можна врахувати їх квадратичним уявленням, а ефекти взаємодії – відповідним коефіцієнтами при добутках факторів, що розглядаються.

З урахуванням вищевикладеного поліноміальна модель проведення АРР в загальному вигляді має вид

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_n X_n + a_{11} X_1^2 + \dots + a_{nn} X_n^2 + a_{12} X_1 X_2 + \dots + a_{(n-1)n} X_{n-1} X_n, \quad (7)$$

де X_1, \dots, X_n – обрані для дослідження фактори, які конкретизують початкові перемінні.

Оскільки порівняльна оцінка обраних для розгляду факторів повинна виконуватись в нормованих перемінних x_1, \dots, x_n , необхідно отримати тотожний (7) вираз

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

В цьому випадку обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності функціонування системи здійснюється за результатами ранжування факторів x_i за ступенем впливу на ефективність проведення АРР

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n + b_{11} x_1^2 + \dots + b_{nn} x_n^2 + b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{(n-1)n} x_{n-1} x_n \quad (9)$$

$$\Downarrow$$

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

шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей, отриманих при стабілізації інших $x_{j \neq i}$ факторів

$$y = f_i(x_i). \quad (10)$$

Іншими словами робота (функціонування «умовної системи» рятувальник - аварійно-рятувальна техніка – НС) може бути представлена у вигляді сукупності однофакторних моделей.

Порядок аналізу вагомих коефіцієнтів в багатофакторних моделях. Визначення оперативно-технічних рекомендацій здійснюється шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей $y = f_i(x_i)$, отриманих при стабілізації інших факторів.

Очевидно, що однофакторні моделі, визначені на рівнях, що відповідають координатам екстремумів y_{\min} та y_{\max} , а також в центрі факторного простору y_0 можуть відрізнятися. Відповідно можуть відрізнятися і пропозиції щодо ефективності проведення оперативного розгортання ППРП, які будуть отримані для центра факторного та для його країв. Тобто, обґрунтування пропозицій доцільно здійснювати за максимальними перепадами Δy .

Для визначення того, які вихідні чинники з множини X вимагають першочергової уваги в центрі факторного простору ($x_0^{(i)}$) та на його краях ($x_{\min}^{(i)}$) необхідно проранжувати у відповідності з вагою коефіцієнтів при відповідній змінній в (7)÷(9) в центрі факторного простору

$$(x_0^{(1)} \geq x_0^{(2)} \geq \dots \geq x_0^{(n)}) = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} |b_{y_0(x_1)}| \\ |b_{y_0(x_2)}| \\ \dots \\ |b_{y_0(x_n)}| \end{array} \right\} \quad (11)$$

та на його краях

$$\begin{aligned} (x_{\min,(\max)}^{(1)} \geq x_{\min,(\max)}^{(2)} \geq \dots \geq x_{\min,(\max)}^{(n)}) = \\ = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} |b_{y_{\min,(\max)}(x_1)}| \\ |b_{y_{\min,(\max)}(x_2)}| \\ \dots \\ |b_{y_{\min,(\max)}(x_n)}| \end{array} \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Аналіз ваги коефіцієнтів в однофакторних моделях у відповідності до (11) та (12) дозволить провести ранжування обраних факторів та визначити, який з них є найбільш вагомим та навпаки у кожній зоні. Оскільки обґрунтування пропозицій в цьому випадку базується на (6), де враховано вплив (у тому разі нелінійний) не тільки безпосередньо кожного окремого показника x_i , але й ефекти взаємодії з іншими показниками x_j ($j \neq i$), то вони (пропозиції) мають оперативно-технічний характер і стають основою конкретних оперативно-технічних рекомендацій, оскільки обрані фактори характеризують як технічну (фактор x_1), так і оперативну складові: роботу особового складу (людський фактор x_2) ППРП під час ліквідації НС в умовах впливу навколишнього середовища (фактор x_3).

Порядок експертних оцінок і вибору оперативно-технічних рекомендацій. Інтерпретація отриманої моделі (10) проводиться при нарастаючому ступені ризику відвернути правильну гіпотезу. Значимість коефіцієнтів регресії за цим методом перевіряється багатократно від рівня значимості $\alpha = 0,01$ до $\alpha = 0,5$, враховуючи під час оцінки похибок розрахунку коефіцієнтів регресії середню дисперсію вимірів.

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

Оскільки розробка оперативних рекомендацій відноситься до пошукових робіт, для аналізу є допустимим прийняття двостороннього ризику $\alpha = 0,2$. Це дозволить вилучити незначні ефекти та спростити для аналізу кінцеву модель (8) і вже після цього перейти до ранжування по максимальному перепаду Δy однофакторних моделей $y = f_i(x_i)$, що одержано при стабілізації інших факторів хіна рівнях, що відповідають координатам екстремумів у мінта u_{\max} , а також в центрі факторного простору.

При цьому необхідно відмітити, що, оскільки під час ліквідації (локалізації) НС особовий склад ППРП в залежності від ситуації може використовувати різні варіанти проведення аварійно-рятувальних робіт за результатами імітаційного (у тому разі фізичного) експерименту можуть бути отримані різні моделі, в яких будуть відрізнятися відповідні коефіцієнти регресії $\{ks\}$, їх оцінка проводиться для кожної моделі окремо. Це дозволить конкретизувати оперативно-технічні рекомендації, тим більше що в кожній зоні факторного простору можна порівняти рангові послідовності за коефіцієнтами відповідних трифакторних поліномів після спрощення отриманих моделей.

Висновки цього аналізу за ранжуванням ваги факторів та їх взаємодії стануть основою конкретних рекомендацій, які відобразять як оперативну (наприклад, дії особового складу ППРП за різних погодних умов), так і технічну (наприклад, клас пожежно-рятувального автомобіля) складову процесу проведення АРР під час ліквідації НС.

Для оцінки того, чи доцільно ці рекомендації впроваджувати в практичну діяльність, необхідно перевірити, наскільки значимо будуть відрізнятися обрані показники ефективності проведення АРР (час кожного із обраних для розгляду варіантів оперативного розгортання ПРА), отримані до і після впровадження рекомендацій. З цієї метою необхідно спочатку визначити як зміняться закономірності (4) виконання рятувальниками k -ої складової системи

$$G_k' = F_k \cdot (X - \Delta X, T), \quad (13)$$

де ΔX – зміни у множині вихідних перемінних (1) за визначеними після аналізу результатів ранжування в різних зонах рекомендацій, у тому разі пов'язаних із можливою ситуацією зміни початкового варіанту k проведення аварійно-рятувальних робіт.

Математична модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під

час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру. Умови при яких процес проведення аварійно-рятувальних робіт був представлений як система («умовна система» рятувальник - аварійно-рятувальна техніка - НС) дозволившого представити у вигляді функціоналу (6)

$$Y^* = F^*(X)$$

де Y^* - сукупність показників ефективності; X – надмножина характеристик функціонування системи.

Даний функціонал може бути розглянуто як сукупність однофакторних моделей (10) тобто:

$$y = f_i(x_i)$$

де y - конкретний показник ефективності; x_i - характеристика i -го фактора при незмінності (стабілізації) всіх інших факторах.

Ранжирування вагомих коефіцієнтів в однофакторних моделях здійснюється за допомогою виразів (11) та (12), записаних у вигляді

$$\left(x_{min,0,(max)}^{(1)} \geq x_{min,0,(max)}^{(2)} \geq \dots \geq x_{min,0,(max)}^{(n)} \right) = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} |b_{y_{min,0,(max)}(x_1)}| \\ |b_{y_{min,0,(max)}(x_2)}| \\ \dots \\ |b_{y_{min,0,(max)}(x_n)}| \end{array} \right\} \quad (14)$$

Експертні оцінки і вибір оперативно-технічних рекомендацій описується виразом (13)

$$G_k' = F_k'(X - \Delta X, T)$$

Об'єднуючи вирази (6), (10), (14) та (13) в систему рівнянь отримуємо шукану математичну модель

$$\left\{ \begin{array}{l} Y^* = F^*(x); \\ y = f_i(x_i); \\ \left(x_{min,0,max}^{(1)} \geq x_{min,0,max}^{(2)} \geq \dots \geq x_{min,0,max}^{(3)} \right) = \\ = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} |b_{y_{min,0,(max)}(x_1)}| \\ |b_{y_{min,0,(max)}(x_2)}| \\ \dots \\ |b_{y_{min,0,(max)}(x_n)}| \end{array} \right\}; \\ G_k = F_k(X - \Delta X, T). \end{array} \right. \quad (15)$$

Висновки. Процес проведення аварійно-рятувальних робіт першого оперативно-рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації доцільно розглядати як функціонування складної ергатичної системи «надзвичайна ситуація – аварійно-рятувальні роботи – рятувальник». Це дозволяє перейти до відповідної упорядкованої множини у вигляді багатофакторної моделі, розробка якої спирається на відповідний план імітаційного експерименту.

Наявність поліноміальної моделі дозволяє врахувати нелінійний вплив обраних факторів, а

також їх зв'язок між собою, на ефективність проведення аварійно-рятувальних робіт.

Математична модель ліквідації надзвичайної ситуації першим рятувальним підрозділом уявляє собою систему чотирьох аналітичних залежностей. Перша уявляє собою функціонал, який описує процес проведення аварійно-рятувальних робіт. Друга дозволяє уявити цей функціонал як сукупність однофакторних моделей. Третя забезпечує визначення вагомих коефіцієнтів при вирішенні багатофакторного завдання. Четверта дозволяє оцінити і вибрати оперативно-технічні рекомендації з ліквідації відповідної надзвичайної ситуації.

Література

1. Кодекс цивільного захисту України: за станом на 17 червня 2020 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Офіційний вісник України, 2012. – № 89. – 9 с. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
2. Про затвердження Положення про Оперативно-рятувальну службу цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій: за станом на 3 липня 2014 р. / Міністерство внутрішніх справ України. – Офіц. вид. – К. : Офіційний вісник України, 2014. – № 835/25630. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0853-14#Text>
3. Federal Emergency Management Agency [Electronic resources]. - Mode of access: <https://www.fema.gov>
4. Гражданская оборона ФРГ [Электронный ресурс]. – Зарубежное военное обозрение. – 2015. – Режим доступа: <http://www.zvo.su/voennaya-ekonomika/grazhdanskaya-oborona-frg.html>
5. Fire Service in Japan [Electronic resources] – Mode of access: http://www.kaigai-shobo.jp/index_eng.php?htmlcontents=fireServiceIn-Japan_eng.html
6. 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>
7. Ralf Josef Johanna Beerens (2019), "Does the means achieve an end? A document analysis is 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>
8. 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>
9. 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>

10. 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>

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

12. Стрелец В.М. Имитационный анализ системы «человек-машина» как метод эргономической оценки функционирования аварийных служб. Научно-технический журнал «Радиоэлектроника и информатика», № 3 (16) - Харьков: ХНТУРЭ, 2001. – с. 125-128.

References

1. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy: za stanom na 17 chervnia 2020 r. / Verkhovna Rada Ukrainy. – Ofits. vyd. – K. : Ofitsiinyi visnyk Ukrainy, 2012. – № 89. – 9 s. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>

2. Pro zatverdzhennia Polozhennia pro Operativno-riatuvальnu sluzhbu tsyvilnoho zakhystu Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii: za stanom na 3 lypnia 2014 r. / Ministerstvo vnutrishnikh sprav Ukrainy. – Ofits. vyd. – K. : Ofitsiinyi visnyk Ukrainy, 2014. – № 835/25630. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0853-14#Text>

3. Federal Emergency Management Agency [Electronic resources]. - Mode of access: <https://www.fema.gov>

4. Гражданская оборона ФРГ [Электронный ресурс]. – Зарубежное военное обозрение. – 2015. – Режим доступа: <http://www.zvo.su/voennaya-ekonomika/grazhdanskaya-oborona-frg.html>

5. FireService in Japan [Electronic resources] – Mode of access: http://www.kaigai-shobo.jp/index_eng.php?htmlcontents=fireServiceInJapan_eng.html

6. 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>

7. Ralf Josef Johanna Beerens (2019), " Does the means achieve an end? A document analysis is 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>

8. 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>

9. 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>

10. 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>

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

12. Strilec V.M. (2001) Simulation analysis of the human-machine system as a method of ergonomic assessment of emergency services. *Radioelectronics & Informatics*. № 3(16). pp. 125-128

Аннотация

Інформаційно-технічний метод предупреждения чрезвычайных ситуации путем комплексного использования систем акустического контроля в контексте процесса функционирования системы «чрезвычайная ситуация – аварийно-спасательные работы – спасатель»

Г.В. Камышенцев, И.И. Соловьев, Д.Ю. Белюченко, В.В. Стрелец

Проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций в Украине в настоящее время осложняется проблемой несоответствия существующего аварийно-спасательного вооружения в оперативно-спасательных подразделениях современным задачам. И это требует системных исследований, результаты которых в виде многофакторных закономерностей оперативной деятельности первого спасательного подразделения позволят обосновать предложения по повышению эффективности проведения аварийно-спасательных работ. Отмечено, что важной и нерешенной частью проблемы является отсутствие математической модели ликвидации чрезвычайной ситуации в общем виде.

Показано, что представление процесса проведения аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайной ситуации в виде функционирования системы «чрезвычайная ситуация - аварийно-

спасательные работы - спасатель» позволяет получить математическую модель ликвидации чрезвычайной ситуации первым спасательным подразделением в виде соответствующего упорядоченного множества. В этой системе в качестве исходных данных присутствуют показатели, характеризующие непосредственно личный состав оперативного расчета, оперативно-спасательная техника, условия проведения аварийно-спасательных работ и чрезвычайную ситуацию.

Получена математическая модель ликвидации чрезвычайной ситуации первым спасательным подразделением, которая учитывает нелинейное влияние выбранных факторов, а также их связь между собой на эффективность проведения аварийно-спасательных работ. Математическая модель представляет собой систему из четырех аналитических зависимостей. Первая представляет собой функционал, который описывает процесс проведения аварийно-спасательных работ. Вторая позволяет представить этот функционал как совокупность однофакторных моделей. Третья обеспечивает определение весовых коэффициентов по результатам решения многофакторной задачи. Четвертая позволяет оценить и выбрать оперативно-технические рекомендации, обеспечивающие повышение эффективности процесса ликвидации соответствующей чрезвычайной ситуации по результатам ранжирования факторов по степени влияния на эффективность проведения аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация; аварийно-спасательные работы, многофакторная оценка; оперативно-технические рекомендации

Abstract

Information and technical method for preventing emergency situations by the integrated use of acoustic control systems in the context process of functioning of the system "emergency situation - rescue operations - rescuer"

H.V. Kamyshentsev, I.I. Soloviov, D.Yu. Belyuchenko, V.V. Strelets

Carrying out emergency rescue operations in response to emergency situations in Ukraine is currently complicated by the problem of inconsistency of the existing rescue equipment in operational rescue units with modern tasks. And this requires systemic studies, the results of which, in the form of multifactorial patterns of the operational activities of the first rescue unit, will justify proposals for increasing the efficiency of emergency rescue operations. It is noted that an important and unsolved part of the problem is the absence of a general mathematical model of emergency response.

It is shown that the representation of the process of carrying out emergency rescue operations during liquidation of an emergency in the form of the functioning of the system "emergency - rescue operations - rescuer" allows obtaining a mathematical model of emergency response by the first rescue unit in the form of a corresponding ordered set. In this system, as the initial data, there are indicators that directly characterize the personnel of the operational crew, operational rescue equipment, the conditions for conducting emergency rescue operations and an emergency situation.

A mathematical model of emergency response by the first rescue unit has been obtained, which takes into account the nonlinear influence of the selected factors, as well as their relationship with each other on the effectiveness of emergency rescue operations. The mathematical model is a system of four analytical dependencies. The first is a functional that describes the process of conducting emergency rescue operations. The second allows you to represent this functionality as a set of one-factor models. The third provides the determination of the weighting coefficients based on the results of solving the multifactorial problem. The fourth makes it possible to evaluate and select operational and technical recommendations that ensure an increase in the efficiency of the elimination process of a corresponding emergency situation based on the results of ranking factors according to the degree of influence on the effectiveness of emergency rescue operations.

Keywords: emergency; rescue operations, multi-factor assessment; operational technical recommendations

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Kamyshentsev, H. V. et al. (2020) 'Information and technical method for preventing emergency situations by the integrated use of acoustic control systems in the context process of functioning of the system "emergency situation - rescue operations - rescuer"', *Engineering of nature management*, (3(17)), pp. 133 - 139.

Подано до редакції / Received: 12.09.2020