

## УДК 614.8

*Г. В. Іванець<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-4906-5265)*

*В. В. Матухно<sup>1</sup>, к.т.н., ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-9713-7710)*

*М. Г. Іванець<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с. (ORCID 0000-0002-3106-7633)*

*Є. І. Стецюк<sup>1</sup>, к.т.н., заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-5204-9194)*

*Д. В. Усачов<sup>1</sup>, викл. каф. (ORCID 0000-0002-1140-9798)*

*Д. Ю. Бугайов<sup>3</sup>, суд. експерт (ORCID 0000-0002-0779-059X)*

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

<sup>3</sup>Науково-дослідницький експертно-криміналістичний центр МВС, Харків, Україна

## ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИЙ МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОТОВНОСТІ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

Розроблено організаційно-технічний метод забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації, який враховує укомплектованість підрозділів озброєнням і технікою, їх технічну досконалість та експлуатаційні характеристики, укомплектованість особовим складом і його професійну підготовленість, матеріально-технічне та ресурсне забезпечення. Розроблено керуючий алгоритм реалізації організаційно-технічного методу, який передбачає виконання наступних процедур: збір та аналіз інформації про укомплектованість підрозділів технікою та особовим складом; оцінка потенційної технічної спроможності підрозділів до дій при надзвичайних ситуаціях; оцінки готовності підрозділів щодо реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, матеріально-технічного, фінансового та людського забезпечення ліквідації надзвичайних ситуацій; оптимізації територіальних структур цивільного захисту з врахуванням стану техногенно-природних загроз регіонів держави; формування рішення щодо реагування на надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків, оцінки ефективності та корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів реагування. При цьому модель оцінки потенційної технічної спроможності формувань та підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням відрізняється тим, що враховує не тільки укомплектованість підрозділів озброєнням і технікою, а й їх технічну досконалість та експлуатаційні характеристики, що дозволяє оцінювати готовність кожного підрозділу щодо реагування на надзвичайні ситуації. Розроблений комплекс моделей забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації є основою для обґрунтування та проведення організаційно-технічних заходів, спрямованих на адекватне реагування та ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій як в масштабах держави, так і її регіонів.

**Ключові слова:** організаційно-технічний метод, формалізована модель, надзвичайна ситуація, цивільний захист, потенційна технічна спроможність, готовність підрозділів до дій за призначенням

### 1. Вступ

Збільшення кількості та масштабів надзвичайних ситуацій (НС) техногенного і природного характеру в ХХІ столітті призвело до значних матеріальних [1] та людських втрат [2], забрудненню навколишнього середовища [3,4], поширенню епідемій та пандемії [5]. Захист населення та територій від НС є однією з важливих задач цивільного захисту (ЦЗ) держави. Забезпечення безпеки при НС вимагає надійного функціонування системи реагування на НС, адекватної рівням і характеру загроз. Надійність та адекватність реагування на НС різного характеру забезпечується готовністю сил і засобів ЦЗ до дій при НС.

Рівень готовності підрозділів ЦЗ до ефективного виконання завдань, пов'язаних із ліквідацією наслідків НС техногенного та природного характеру, захистом населення і територій від їх негативного впливу, визначається належною технічною оснащеністю, рівнем готовності техніки до застосування та професійною здатністю підрозділів ЦЗ до виконання поставлених завдань. Ефективність виконання завдань за призначенням підрозділами ЦЗ в першу чергу залежать від рівня їх готовності до дій при ліквідації НС.

Практика останніх років [6] показує, що в зв'язку низькою якістю планування та виконання заходів щодо попередження, реагування та ліквідації наслідків від НС; не відповідністю територіальних структур та чисельності формувань та підрозділів ЦЗ потенційному рівню техногенно-природних загроз; не відповідністю матеріально-технічного забезпечення сил ЦЗ сучасним вимогам; не достатньою професійною підготовкою особового складу до дій у НС ефективність та готовність до протидії НС не завжди відповідає вимогам забезпечення необхідного рівня безпеки людини на сучасному етапі розвитку суспільства.

Тому вирішення проблеми забезпечення готовності щодо попередження, реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій залишається актуальною в сфері цивільного захисту.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Готовність сил і засобів ЦЗ – це такий стан сил і засобів ЦЗ, який визначає їх спроможність виконати покладені на них завдання.

Аналіз літературних джерел показує, що зміст уявлень про готовність зводиться до поняття про стан органів управління і сил ЦЗ, яке характеризується їх спроможністю до виконання задач з врахуванням взаємозв'язку «рівень готовності – рівень ризику» [7], «рівень готовності – рівень прийнятного збитку» [8], «рівень готовності – рівень загрози» [9], що дозволяє розглядати готовність як категорію, яка відображає необхідність забезпечення безпеки населення при НС.

Автори роботи [10] при оцінюванні готовності сил та засобів аварійно-рятувальних формувань враховують притаманні конкретному підрозділу значення таких характеристик: укомплектованість підрозділу особовим складом; укомплектованість підрозділу технічними засобами; наявність запасу матеріально-технічних засобів і т.п. Але при цьому не розглядаються показники ймовірності безвідмовної роботи техніки на протязі виконання завдань за призначенням та рівень професійної підготовленості особового складу до дій при НС.

В роботі [11] розглянуті питання оперативних можливостей аварійно-рятувальних підрозділів щодо запобігання та ліквідації природних НС. Основний недолік полягає в конкретизація характеру НС, зокрема цунамі, та не можливість узагальненого застосування даних рекомендацій.

Методика аналізу показників оперативного реагування аварійно-рятувальних підрозділів розглянута в роботі. Вона полягає в оцінці таких факторів, як час вільного розвитку пожежі, час гасіння пожежі, кількість загиблих та травмованих на пожежі людей, розмір прямих збитків, кількість залучених оперативних транспортних засобів на основі теорії графів. Але при цьому не враховувалась ймовірність безвідмовності техніки на протязі часу реагування та професіональна підготовка особового складу.

Автори [12] провели порівняльний аналіз систем попередження та протидії масштабним НС в Китаї, США та ЄС. Розглянуті недоліки та переваги трьох і чотирьохкритеріальних систем попередження НС. Переваги віддані алгоритму, який враховує процеси аналізу, попереднього розрахунку ризиків, поліпшення та узгодження.

В роботі [13] проведено моделювання розподілу ресурсів для проведення аварійно-рятувальних робіт при ліквідації пожеж різного характеру. Однак, при цьому оцінка необхідних людських ресурсів не проводиться.

Для забезпечення готовності підрозділів реагування на НС в багатьох країнах світу організаційна структура, чисельність і комплектування формувань ЦЗ визначається адміністрацією міста [14]. Недолік такого підходу полягає в тому, що при визначенні штатної чисельності підрозділів, їх технічного оснащення, ресурсів не в повній мірі враховуються потенційні загрози на даній території. Це приводить до зниження готовності підрозділів до дій при НС.

Комбінований метод мінімізації наслідків НС державного рівня розглянуто в роботі [15]. Він базується на моделюванні стохастичних процесів дискретними ланцюгами Маркова. Однак, в цьому випадку не враховується щільність проживаючого населення на території НС та організаційно-штатна структура підрозділів ЦЗ.

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел показує, що єдиного концептуального підходу до оцінки та забезпечення готовності реагування на НС не існує. Це вказує на необхідність розробки організаційно-технічного методу забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації, що дозволяє вирішити дану проблему системно з врахуванням всіх аспектів, які впливають на готовність реагування на надзвичайні ситуації.

### 3. Мета та завдання дослідження

Метою даної роботи є дослідження, яке полягає в розробці організаційно-технічного методу забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити на основі формалізованої математичної моделі організаційно-технічний метод забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації;
- розробити керуючий алгоритм реалізації організаційно-технічного методу забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації;
- перевірити ефективність застосування організаційно-технічного методу забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації.

### 4. Розробка організаційно-технічного забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації

Метод базується на формалізованій математичній моделі забезпечення готовності реагування на НС, яка має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \Pi_T &= F(K_{TD}, K_E); \\ K_{TD} &= G(A_i); \\ K_E &= Q(K_{YK}, K_{TG}, K_{PEC}); \\ P(t) &= \Lambda \{R^{nidp}(t), P_{PIX}(t), C_i(t)\}; \\ S_i^{DCHC} &= L \{n_{TX}^i(t), n_{PIX}^i(t), n_{CX}^i(t)\} \\ VT(t) &= \Omega_1 \{n_{TX}(t), n_{PIX}(t), n_{CX}(t)\}; \\ T(t) &= \Omega_2 \{n(t), n_{TX}(t), n_{PIX}(t), n_{CX}(t)\}; \\ OC(t) &= \Omega_3 \{n(t), n_{TX}(t), n_{PIX}(t), n_{CX}(t)\}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $\Pi_T$  – потенційна технічна спроможність формувань та підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням;  $K_{TD}$  – коефіцієнта технічної досконалості зразків

озброєння і техніки підрозділу ЦЗ,  $K_E$  – узагальнений експлуатаційний коефіцієнт зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ;  $A_i$  – ТТХ озброєння і техніки;  $K_{YK}$  – коефіцієнт укомплектованості підрозділу ЦЗ озброєнням і технікою;  $K_{TG}$  – коефіцієнт технічної готовності підрозділу ЦЗ;  $K_{PEC}$  – коефіцієнт запасу ресурсу зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ;  $P(t)$  – ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до виконання завдань за призначенням в даний момент часу;  $R^{підр.}(t)$  – ймовірність працездатності необхідної кількості зразків озброєння і техніки на момент виникнення НС;  $P_{пi}(t)$  – ймовірність професійної підготовленості особового складу підрозділу до дій у НС;  $C_i(t)$  – наявність ресурсу  $i$ -го виду для ліквідації НС;  $S_i^{ДСНС}$  – чисельність сертифікованих структур ЦЗ ДСНС в  $i$ -му регіоні;  $n_{ТХ}^i(t), n_{ІХ}^i(t), n_{СХ}^i(t)$  – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в  $i$ -їб регіоні;  $BT(t_{np})$  – загальні витрати коштів на ліквідацію наслідків НС;  $n_{ТХ}(t), n_{ІО}(t), n_{СХ}(t)$  – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;  $BT(t_{np})$  – загальні витрати коштів на ліквідацію наслідків НС;  $T(t)$  – кількість одиниць техніки для ліквідації НС;  $OC(t)$  – кількість задіяного особового складу для ліквідації НС.

Таким чином, формалізована математична модель забезпечення готовності реагування на НС уявляє собою систему з 8 аналітичних залежностей, яка описує потенційну технічну спроможність формувань та підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням; ступінь відповідності основних ТТХ сучасним вимогам щодо технічного оснащення підрозділів ЦЗ; експлуатаційній можливості зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ; визначає ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до реагування та ліквідації НС в даний момент часу; дозволяє оцінити чисельність сертифікованих сил ЦЗ в  $i$ -їб регіоні держави з врахуванням рівня техногенних, природних та соціальних загроз на цих територіях; дозволяє визначити витрати коштів на ліквідацію наслідків НС різного характеру НС; дозволяє оцінити необхідне технічне забезпечення для ліквідації наслідків НС в даний момент часу; дозволяє оцінити необхідну кількість задіяного особового складу для ліквідації наслідків НС в даний момент часу.

У відповідності з моделлю (1) розроблено ОТМ забезпечення готовності реагування на НС. Для цього розроблені математичні моделі оцінки потенційної технічної спроможності формувань та підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням, оцінки готовності підрозділу ЦЗ до дій в НС, оптимального розподілу обмежених ресурсів для забезпечення готовності підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням, оптимізації територіальних структур ЦЗ з урахуванням стану техногенно-природних загроз регіонів держави, прогнозу витрат коштів для ліквідації НС, прогнозу технічного та людського забезпечення для ліквідації НС.

Математична модель оцінки потенційної технічної спроможності формувань та підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням відрізняється тим, що враховує не тільки укомплектованість підрозділів озброєнням і технікою, а й їх технічну досконалість та експлуатаційні характеристики, що дозволяє оцінювати потенціальні можливості кожного підрозділу щодо реагування на НС. Величина потенційної технічної спроможності підрозділу ЦЗ до дій у НС залежить від багатьох факторів, зокрема від укомплектованості сучасним озброєнням і технікою, їх

технічної досконалості та експлуатаційних характеристик, забезпеченості витратними матеріально-технічними засобами і т.п.:

$$\Pi_T = K_{TD} \cdot K_E. \quad (2)$$

Узагальнений коефіцієнт технічного досконалості  $K_{TD}$  зразків озброєння і техніки усіх типів певного підрозділу ЦЗ обчислюються через коефіцієнти технічного досконалості  $K_{TD_i}$  зразків озброєння і техніки  $i$ -го типу:

$$K_{TD} = \sum_{i=1}^k N_{\text{НАЯВН}_i} \cdot K_{TD_i} / N_{\text{НАЯВА}}, \quad (3)$$

де  $N_{\text{НАЯВН}}$  – наявна кількість озброєння і техніки підрозділу ЦЗ;  $N_{\text{НАЯВН}_i}$  – наявна кількість зразків озброєння та техніки  $i$ -го типу у даного підрозділу ЦЗ;  $K_{TD_i}$  – коефіцієнт технічного досконалості зразків озброєння та техніки  $i$ -го типу;  $k$  – кількість різних типів озброєння і техніки підрозділу ЦЗ.

Коефіцієнт технічного досконалості зразків озброєння та техніки  $i$ -го типу обчислюється наступним чином:

$$K_{TD_i} = \sum_{z=1}^m \left( \sum_{j=1}^p \frac{A_{jzi}}{A_{jzE}} M_{jzi} \right) \cdot P_{zi}, \quad (4)$$

де  $A_{jzi}$  – числове значення  $j$ -ої ТТХ із  $z$ -ої групи ТТХ зразка озброєння та техніки  $i$ -го типу;  $A_{jzE}$  – числове значення подібної  $j$ -ої ТТХ із  $z$ -ої групи ТТХ еталонного зразка техніки  $i$ -го типу;  $M_{jzi}$  – коефіцієнт ваги  $j$ -ої ТТХ із  $z$ -ої групи ТТХ зразка озброєння чи техніки  $i$ -го типу, який визначається експертним шляхом ( $\sum_{j=1}^p M_{jzi} = 1$ );  $P_{zi}$  – коефіцієнт ваги  $z$ -ої групи з усіх  $m$  груп ТТХ зразка озброєння та техніки  $i$ -го типу, який визначається експертним шляхом ( $\sum_{z=1}^m P_{zi} = 1$ ).

Узагальнений експлуатаційний коефіцієнт  $K_E$  усіх зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ може бути обчислений у відповідності з виразом:

$$K_E = K_{YK} \cdot K_{TG} \cdot K_{PEC}. \quad (5)$$

З системної точки зору рівень готовності підрозділу ЦЗ, як системи, до дій у НС визначається як технічною готовністю до виконання завдань по ліквідації НС, так і рівнем професійної підготовки особового складу до дій у НС. З врахуванням цього математична модель оцінки готовності підрозділу ЦЗ до дій при НС має вигляд:

$$P(t) = P(A) \cdot P_A(B), \quad (6)$$

де  $P(A)$  – ймовірність події  $A$ , яка полягає в тому, що підрозділ ЦЗ технічно готовий до виконання завдань по ліквідації НС;  $P_A(B)$  – ймовірність події  $B$ , яка полягає в тому, що підрозділ ЦЗ професійно здатний виконати поставлені завдання при умові, що він технічно готовий до виконання завдань по ліквідації НС (подія  $A$ ).

Ймовірність  $P(A)$  визначається двома компонентами: укомплектованістю підрозділу необхідною кількістю техніки, її готовністю до застосування в момент виникнення НС та безвідмовністю на протязі часу  $t_p$  виконання робіт по її ліквідації:

$$P(A) = P_T \cdot R^{\text{підр.}}(t_p). \quad (7)$$

де  $P_T$  – ймовірність укомплектованості підрозділу необхідною кількістю техніки для виконання завдань за призначенням.

Ймовірність  $P_A(B)$  визначається двома компонентами: укомплектованістю підрозділу ЦЗ особовим складом і професійною підготовкою до дій у НС:

$$P_A(B) = P_{OC} \cdot P_{\text{підр.}}. \quad (8)$$

де  $P_{OC}$  – ймовірність укомплектованості підрозділу особовим складом.

Рівень готовності підрозділу до виконання завдань за призначенням залежить від фінансових ресурсів ( $C_1$ ), матеріально-технічних ресурсів ( $C_2$ ), ресурсів для проведення необхідних заходів щодо створення матеріальних резервів ( $C_3$ ), а також фінансових ресурсів необхідних для підтримання професійної підготовки особового складу підрозділу та виплату грошового забезпечення. Вирішення задачі розподілу обмежених ресурсів підрозділів ЦЗ для забезпечення готовності до виконання завдань за призначенням здійснюється на основі методу множників Лагранжа. Загальний вираз для готовності підрозділу як функції ресурсів записується наступним чином:

$$P = f(C_1, C_2, C_3). \quad (9)$$

В цьому випадку функція Лагранжа запишеться наступним чином:

$$L(C_1, C_2, C_3, \lambda) = P(C_1, C_2, C_3) + \lambda_1(\Phi_1(C_1, C_2, C_3) - C_0) + \lambda_2(\Phi_2(C_1, C_2, C_3) - W) \quad (10)$$

де  $\tilde{N}_0$  – величина ресурсів;  $W$  – повні витрати коштів для підтримання професійної підготовки особового складу підрозділу ЦЗ та виплату грошового забезпечення;  $\lambda$  – множник Лагранжа.

Для знаходження екстремальних значення функції готовності підрозділу при наявності обмежень необхідно знайти рішення системи рівнянь, яка включає часткові похідні по кожній змінній.

Математична модель оптимізації територіальних структур ЦЗ, зокрема ДСНС, враховує потенційний рівень техногенно-природних загроз в регіонах держави. В якості критерію оптимізації вважається вимога того, що чисельність сертифікованих структур ДСНС в  $i$ -му регіоні держави повинна відповідати рівню техногенних, природних та соціальних загроз на цій території, тобто виконуватися наступна умова:

$$S_i^{\text{ДСНС}} = k_{Z_i} \cdot S_{\text{типов}}^{\text{ДСНС}}, \quad (11)$$

де  $S_{\text{типов}}^{\text{ДСНС}}$  – чисельність типової територіальної структури ДСНС;  $k_{Z_i}$  – коефіцієнт щорічної інтенсивності НС регіону держави.

Коефіцієнт щорічної інтенсивності НС обчислюється наступним чином:

$$k_{Z_i} = \frac{\overline{\text{Щ}}_{\text{Насел.}}^{\text{Рег.}} \cdot \overline{n}_{\text{РЕГ}i}}{\overline{\text{Щ}}_{\text{Насел.}}^{\text{Держ.}} \cdot \overline{n}_{\text{ДЕР}}}, \quad (12)$$

де  $\overline{\text{Щ}}_{\text{Насел.}}^{\text{Рег.}}$  – щільність населення регіону;  $\overline{\text{Щ}}_{\text{Насел.}}^{\text{Держ.}}$  – щільність населення в державі;  $\overline{n}_{\text{РЕГ}i}$  – середньостатистична щорічна кількість НС в  $i$ -му регіоні держави;  $\overline{n}_{\text{ДЕР}}$  – середньостатистична щорічна кількість НС на один регіон держави.

Загальні прогнозні витрати коштів на ліквідацію наслідків НС є сумою витрат коштів на ліквідацію НС техногенного та природного характеру:

$$\text{ВТ}(t_{\text{нр}}) = \text{ВТ}_{\text{ТХ}}(t_{\text{нр}}) + \text{ВТ}_{\text{ПХ}}(t_{\text{нр}}), \quad (13)$$

де  $\text{ВТ}(t_{\text{нр}})$  – загальні прогнозні витрати коштів;  $\text{ВТ}_{\text{ТХ}}(t_{\text{нр}})$  – прогнозні витрати коштів на ліквідацію НС техногенного характеру;  $\text{ВТ}_{\text{ПХ}}(t_{\text{нр}})$  – прогнозні витрати коштів на ліквідацію НС природного характеру.

Проведені дослідження показали, що вибірккову регресійну модель прогнозу витрат коштів на ліквідацію НС природного характеру доцільно вибрати у вигляді степеневі функції виду:

$$\text{ВТ}_{\text{ПХ}}(t_{\text{нр}}) = a \cdot [n_{\text{ПХ}}(t_{\text{нр}})]^{a_1}, \quad (14)$$

де  $a$  і  $a_1$  – параметри моделі.

Регресійна модель прогнозу витрат коштів на ліквідацію НС техногенного характеру має вигляд:

$$\text{ВТ}_{\text{ТХ}}(t_{\text{нр}}) = \beta_0 \beta_1^{\frac{1}{n_{\text{ТХ}}(t_{\text{нр}})}} \beta_2^{Q_1} \beta_3^{Q_2} \beta_4^{Q_3} t, \quad (15)$$

де  $Q_1, Q_2, Q_3$  – фіктивні змінні (дорівнюють 0 або 1 та визначаються на основі аналізу статистичних даних);  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  – параметри моделі.

В якості регресійної моделі для прогнозу необхідної кількості одиниць техніки для ліквідації НС запропоновано використати показову модель виду:

$$T(t_{\text{нр}}) = \gamma_0 \cdot [n(t_{\text{нр}})]^{\gamma_1} \cdot [n_{\text{ТХ}}(t_{\text{нр}})]^{\gamma_2} \cdot [n_{\text{ПХ}}(t_{\text{нр}})]^{\gamma_3} \cdot [n_{\text{СХ}}(t_{\text{нр}})]^{\gamma_4}. \quad (16)$$

де  $T(t_{\text{нр}})$  – прогнозна кількість одиниць техніки для ліквідації НС;  $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$  – параметри моделі.

Проведені дослідження показали, що в якості регресійної моделі для прогнозування необхідної кількості особового складу для ліквідації НС доцільно використати показову модель виду:

$$OC(t_{np}) = \lambda_0 \cdot [n(t_{np})]^{\lambda_1} \cdot [n_{TX}(t_{np})]^{\lambda_2} \cdot [n_{ПХ}(t_{np})]^{\lambda_3} \cdot [n_{СХ}(t_{np})]^{\lambda_4}, \quad (17)$$

де  $OC(t_{np})$  – прогнозна кількість особового складу для ліквідації НС;  $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  – параметри моделі.

Таким чином, запропоновано ОТМ забезпечення готовності реагування на НС. Метод базується на формалізованій математичній моделі, яка включає математичну модель оцінки потенційної технічної спроможності формувань та підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням; математичну модель оцінки готовності підрозділу ЦЗ до дій у НС; математичну модель оптимального розподілу обмежених ресурсів для забезпечення готовності підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням; математичну модель оптимізації територіальних структур ЦЗ; математичну модель прогнозу витрат коштів для ліквідації НС; математичну модель прогнозу необхідної кількості одиниць техніки для ліквідації НС; математичну модель прогнозу необхідної кількості особового складу для ліквідації НС.

## 5. Розробка керуючого алгоритму реалізації організаційно-технічного методу

Алгоритм складається з 11 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях.

Перший рівень складають блок збору та обробки інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики; блок збору та обробки інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки.

Другий рівень включає блок аналізу інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики; блок аналізу інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки.

На третьому рівні розміщений блок оцінки потенціальної технічної спроможності підрозділів ЦЗ до дій при НС.

На четвертому рівні розміщений блок оцінки укомплектованості та професійної підготовленості особового складу підрозділів ЦЗ.

На п'ятому рівні розміщений блок оцінки готовності підрозділів ЦЗ щодо реагування та ліквідації наслідків НС, матеріально-технічного, фінансового та людського забезпечення ліквідації НС.

На шостому рівні розміщений блок оптимізації територіальних структур ЦЗ з врахуванням стану техногенно-природних загроз регіонів держави.

Сьомий рівень складає блок формування рішення щодо реагування на НС та ліквідації їх наслідків та блок оцінки ефективності та корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів реагування ЦЗ.

Таким чином, керуючий алгоритм ОТМ забезпечення готовності реагування на НС реалізує розроблений метод та складається з 11 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними зв'язками.



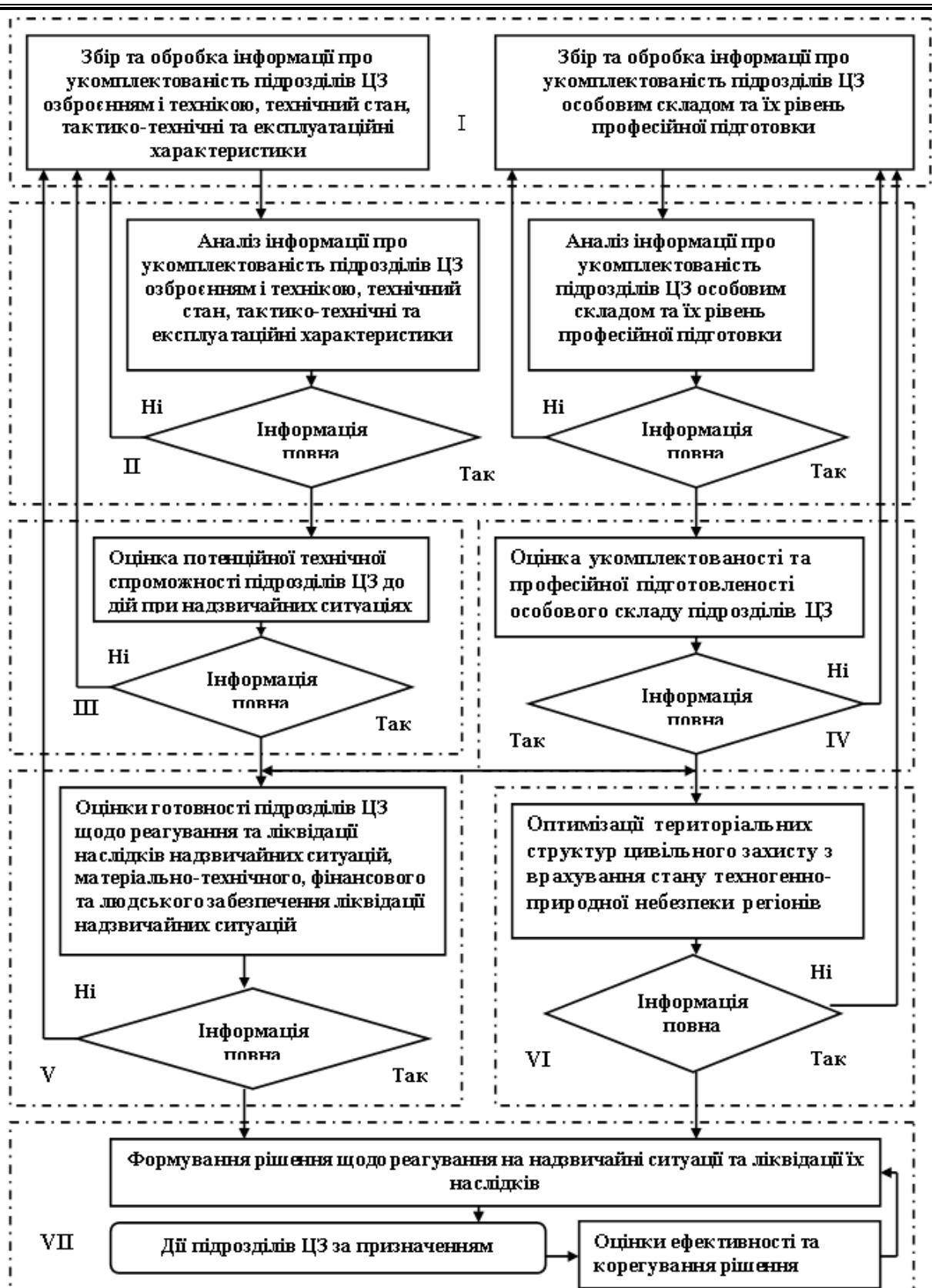


Рис. 1. Керуючий алгоритм реалізації ОТМ забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації

## 6. Перевірка ефективності застосування організаційно-технічного методу

Особливості застосування ОТМ забезпечення готовності реагування на НС в різних країнах будуть визначатися наявністю та достовірністю статистичних даних про НС; укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики; укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки; регіональну структуру держави.

На основі статистичних даних про НС, укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом, озброєнням і технікою [6] проведені дослідження ефективності застосування ОТМ на прикладі України, виходячи з наступних причин:

– на відміну від інших країн для України відомі в повному обсязі узагальнені коректні статистичні дані про НС; укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом і їх рівень професійної підготовки; укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням, технікою та їх технічний стан;

– відома регіональна структура держави.

У відповідність з моделлю (11) проведено розрахунки щодо оптимізації територіальних структур ДСНС України з урахуванням потенційних загроз на цих територіях.

Результати розрахунків чисельності сертифікованих структур ДСНС в  $i$ -му регіоні по відношенню до загальної чисельності підрозділів ДСНС України наведені в табл. 1.

**Табл. 1. Результати розрахунків чисельності сертифікованих структур ДСНС**

№ з/п	Регіон України	Чисельність сертифікованих сил ДСНС в $i$ -тій АТО
1	АРК	$0,05 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
2	Вінницька область	$0,03 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
3	Волинська область	$0,01 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
4	Дніпропетровська область	$0,07 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
5	Донецька область	$0,24 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
6	Житомирська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
7	Закарпатська область	$0,03 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
8	Запорізька область	$0,04 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
9	Івано-Франківська область	$0,04 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
10	Київська область	$0,06 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
11	Кіровоградська область	$0,01 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
12	Луганська область	$0,07 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
13	Львівська область	$0,08 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
14	Миколаївська область	$0,03 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
15	Одеська область	$0,04 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
16	Полтавська область	$0,01 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
17	Рівненська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$

Продовження табл. 1.

18	Сумська область	$0,01 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
19	Тернопільська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
20	Харківська область	$0,05 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
21	Херсонська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
22	Хмельницька область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
23	Черкаська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
24	Чернівецька область	$0,03 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
25	Чернігівська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$

Таким чином, запропонована математична модель оптимізації територіальних структур ЦЗ дозволяє проводити розрахунки з метою оптимізації наявних сил по регіонах держави з урахуванням потенційного стану техногенно-природної загрози на цих територіях.

Результати проведених досліджень [16] ефективності застосування математичної моделі оцінки потенціальної технічної спроможності підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням показали, що використання математичної моделі оцінки потенціальної технічної спроможності підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням дозволяє проводити порівняльний аналіз підрозділів між собою з точки зору їх потенційних технічних можливостей з метою відпрацювання стратегії та пріоритетів переоснащення підрозділів ЦЗ сучасною технікою для збалансування їх потенційних технічних можливостей до дій при НС.

На основі статистичних даних про НС [6] проведені дослідження ефективності застосування моделей ресурсного забезпечення готовності реагування на НС. В якості критерію ефективності виберемо модуль відносної помилки прогнозу, який розраховується на основі попередніх статистичних даних наступним чином:

$$|\Delta| = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i|}{n},$$

де  $|\Delta|$  – модуль середньої відносної похибки прогнозу;  $|\Delta_i|$  – модуль відносної похибки  $i$ -го кроку прогнозу;  $n$  – кількість статистичних даних.

Результати розрахунків наведені в табл. 2.

**Табл. 2. Результати розрахунків ефективності застосування моделей ресурсного забезпечення готовності реагування на НС**

Рік	Модуль відносної помилки прогнозу затрат коштів на ліквідацію НС (%)	Модуль відносної помилки прогнозу технічного забезпечення для ліквідації НС (%)	Модуль відносної помилки прогнозу необхідної кількості особового складу для ліквідації НС (%)
2013	3	3,2	3
2014	3,5	4,3	3,1
2015	3,3	4,2	3,2
2016	4	4,8	3,3
2017	3	4,2	3
2018	3,4	4	3,2
За період	3,4	4,1	3,1

Таким чином, в результаті досліджень встановлено, що при застосуванні математичної моделі прогнозу затрат коштів на ліквідацію НС модуль середньої відносної помилки прогнозу складає 3,4%, при застосуванні математичної моделі прогнозу технічного забезпечення для ліквідації НС – 4,1%, при застосуванні математичної моделі прогнозу необхідної кількості особового складу для ліквідації НС – 3,1.

## **7. Обговорення результатів експериментальних досліджень організаційно-технічного методу**

На основі формалізованої математичної моделі розроблено ОТМ забезпечення готовності реагування на НС. Він дозволяє обґрунтовано підходити до планування ресурсного забезпечення готовності реагування на НС як в масштабах держави, так і в масштабах кожного регіону з врахуванням потенційних загроз на цих територіях.

Експериментальні дослідження показали ефективність застосування ОТМ для прогнозування ресурсного та людського забезпечення готовності реагування на НС підрозділів ЦЗ. Зокрема, в результаті досліджень встановлено, що метод дозволяє здійснювати прогноз затрат коштів на ліквідацію НС з середньою відносною похибкою прогнозу 3,4%, прогноз технічного забезпечення для ліквідації НС з середньою відносною похибкою прогнозу 4,1%, прогноз необхідної кількості особового складу для ліквідації НС з середньою відносною похибкою прогнозу 3,1%.

Деякі складності і обмеження дослідження ефективності застосування ОТМ можуть бути викликані недостатнім обсягом або не коректністю достовірних статистичних даних про НС в державі та її регіонах, організаційну структуру сил ЦЗ і потенційні можливості держави щодо ліквідації НС.

Подальший розвиток запропонованого ОТМ повинен бути спрямованим на дослідження впливу мобільності сил і засобів ЦЗ з врахуванням наявності їх на територіях сусідніх регіонів держави, оптимального розподілу фінансових ресурсів для підтримання готовності реагування на НС.

## **8. Висновки**

1. Розроблено організаційно-технічний метод забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації. Метод базується на формалізованій математичній моделі забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації, яка включає математичні моделі оцінки потенційної технічної спроможності підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням, оцінки готовності підрозділів цивільного захисту до дій у надзвичайних ситуаціях, оптимального розподілу обмежених ресурсів для забезпечення готовності підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням, оптимізації територіальних структур цивільного захисту з урахуванням стану техногенно-природної загрози регіонів держави, прогнозу витрат коштів для ліквідації надзвичайних ситуацій та прогнозу технічного і людського забезпечення для ліквідації надзвичайних ситуацій. При цьому модель оцінки потенційної технічної спроможності формувань та підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням відрізняється тим, що враховує не тільки укомплектованість підрозділів озброєнням і технікою, а й їх технічну досконалість та експлуатаційні характеристики, що дозволяє оцінювати готовність кожного підрозділу щодо реагування на надзвичайні ситуації. Модель оцінки готовності підрозділу цивільного захисту до дій в надзви-

чайних ситуаціях відрізняється тим, що включає обчислення ймовірностей двох складних подій, перша визначається добутком подій з укомплектованістю технікою, її готовністю та безвідмовністю у встановлений термін, а друга визначається добутком подій з укомплектованістю особовим складом і його професійною підготовленістю та визначення добутку обчислених ймовірностей складних подій, що дозволяє чисельно визначати рівень готовності різних типів формувань та підрозділів цивільного захисту до дій в надзвичайних ситуаціях. Моделі ресурсного забезпечення готовності підрозділів цивільного захисту до дій у надзвичайних ситуаціях відрізняються тим, що враховують стан техногенно-природної загрози для регіонів держави.

2. Розроблено керуючий алгоритм, який реалізує організаційно-технічний метод забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації. Його використання передбачає виконання наступних процедур: збір, обробка та аналіз інформації про укомплектованість підрозділів цивільного захисту технікою та особовим складом; оцінка потенційної технічної спроможності підрозділів цивільного захисту до дій при надзвичайних ситуаціях; оцінки готовності підрозділів цивільного захисту щодо реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, матеріально-технічного, фінансового та людського забезпечення ліквідації надзвичайних ситуацій; оптимізації територіальних структур цивільного захисту з врахуванням стану техногенно-природних загроз регіонів держави; формування рішення щодо реагування на надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків, оцінки ефективності та корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів реагування цивільного захисту. Він складається з 11 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними логічними зв'язками.

3. В результаті досліджень з перевірки достовірності організаційно-технічного методу забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації встановлено, що математична модель оцінки потенційної спроможності підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням дозволяє оцінювати та визначати відносну перевагу потенційних можливостей одного підрозділу в порівнянні з іншим; при застосуванні математичної моделі прогнозу витрат коштів на ліквідацію надзвичайних ситуацій середня відносна похибка прогнозу складає не більше 3,4%, математичної моделі прогнозу технічного забезпечення для ліквідації надзвичайних ситуацій – не більше 4,1%, математичної моделі прогнозу кількості особового складу для ліквідації надзвичайних ситуацій – не більше 3,1%.

Ефективність застосування організаційно-технічного методу буде залежати від достовірності статистичних даних про характер, вид, рівень надзвичайних ситуацій та їх регіональний розподіл в державі за деякий період моніторингу; організаційну структуру сил цивільного захисту і потенційні можливості держави щодо ліквідації надзвичайних ситуацій.

### Література

1. Rybalova O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsybal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O. Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V. 2 Is. 10(92). P. 4–17. doi:10.15587/1729-4061.2018.127829
2. Bakhareva A., Shestopalov O., Filenko O., Tykhomyrova T., Rybalova O., Artemiev S., Bryhada O. Studying the influence of design and operation mode parameters on efficiency of the systems of biochemical purification of emissions. *Eastern-European*

Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 3. Is. 10(93). P. 59–71. doi: 10.15587/1729-4061.2018.133316

3. Guskova N. D., Neretina E. A. Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA. 2013. V. 63. Is. 3. P. 227–237. doi: 10.2298/ijgi1303227g

4. Dubinin D., Korytchenko K., Lisnyak A., Hrytsyna I., Trigub V. Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. V. 6. Is. 10(90). P. 11–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.114504

5. Ministry of health care Singapore. Pandemic Influenza Pandemic response plan project. 2019. URL: [http://www.fao.org/docs/eims/upload/221490/national\\_plan\\_ai\\_sin\\_en.pdf](http://www.fao.org/docs/eims/upload/221490/national_plan_ai_sin_en.pdf)

6. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2018 році. URL: <https://www.dsns.gov.ua/files/2019/1/18/321/%D0%9F%D1%83%D0%B1%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%202018%20%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf> (дата звернення 25.02.2021).

7. Tiutiunyk V. V., Ivanetz H. V., Tolkunov I. A., Stetsyuk E. I. System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. Scientific Bulletin of National Mining University. 2018. Is. 1. P. 99–105. doi: org/10.33271/nvngu/2020-6/109

8. Liu W. M., Hu, G. Y., Li J. F. Emergency Resources Demand Prediction Using Case-Based Reasoning. Safety Science. 2012. V. 50. Is. 3. P. 530–534. doi: 10.1016/j.ssci.2011.11.007

9. Deng S. C., Wu Q., Shi B., et al. Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. China Safety Science Journal. 2014. V. 24. P. 79–84. URL: [http://caod.oriprobe.com/articles/42018819/Prediction\\_of\\_resource\\_for\\_responding\\_waterway\\_transportation\\_emergenc.htm](http://caod.oriprobe.com/articles/42018819/Prediction_of_resource_for_responding_waterway_transportation_emergenc.htm)

10. Wu X., Wu L. Evaluation of the Fire Emergency Rescue Capability in Urban Community. Procedia Engineering. 2011. V. 11. P. 536–540. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.693

11. Wood N. J., Schmidlein M. C. Anisotropic path modeling to assess pedestrian-evacuation potential from cascadia-related tsunamis in the US Pacific Northwest. Nat. Hazards. 2012. V. 62. P. 275–300. doi: 10.1007/s11069-011-9994-2

12. Zhuang Y. Constructing Effective Mechanism of Reflection on Major Accidents Zhang Supei. China Safety Science Journal. 2017. № 6. P. 1–6. URL: [http://oversea.cnki.net/kns55/oldNavi/n\\_Catalog.aspx?NaviID=48&Flg=local&Ye arID](http://oversea.cnki.net/kns55/oldNavi/n_Catalog.aspx?NaviID=48&Flg=local&Ye arID) (дата звернення 14.02.2021).

13. Lee Y., Byungdoo L., Kyung Ha K. Optimal spatial allocation of initial attack resources for firefighting in the republic of Korea using a scenario optimization model. Journal of Mountain Science. 2014. V. 11. P. 323–335. doi: 10.1007/s11629-013-2669-6

14. West Virginia State Fire Commission. Requirements for West Virginia Fire Departments. URL: <http://www.firemarshal.wv.gov/Documents/Multimedia> (дата звернення 22.02.2021).

15. Martha A., Centeno A. Markov chain location-allocation meta-model for hurricane relief planning. Int. J. of Emergency Management. 2014. V. 10. № 3/4. P. 209–240. doi: 10.1504/IJEM.2014.066477

16. Іванець Г. В., Толкунов І. О., Стецюк Є. І., Матухно В. В., Попов І. І., Бондаренко О.О. Методика порівняльної оцінки потенційних технічних можливостей підрозділів реагування цивільного захисту. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, НУЦЗУ. 2020. Вип. 1(31). С. 78–88. URL: <http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/31/7.pdf> (дата звернення 23.02.2021).

*H. Ivanets<sup>1</sup>, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department*

*V. Matukhno<sup>1</sup>, PhD, Senior Lecturer of the Department*

*M. Ivanets<sup>2</sup>, PhD, Senior Researcher*

*Y. Stetsiuk<sup>1</sup>, PhD, Deputy Head of Department*

*D. Usachov<sup>1</sup>, Lecturer of the Department*

*D. Bugayov<sup>3</sup>, Judicial expert*

<sup>1</sup>*National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*Kharkiv Air Force University named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, Ukraine*

<sup>3</sup>*Scientific Research Expert Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine*

## ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL METHOD OF ENSURING THE PREPAREDNESS OF RESPONSE TO EMERGENCY SITUATIONS

Ensuring safety in emergencies requires the reliable functioning of the emergency response system. A systematic approach to solving the problem of ensuring the preparedness of response to emergency situations involves assessing the potential technical ability of civil protection units and units to perform tasks as intended. An organizational and technical method has been developed to ensure preparedness for emergency response, which implements a systematic approach to ensuring and maintaining the readiness of civil protection units to act in emergency situations, taking into account the staffing of units with weapons and equipment. A control algorithm for the implementation of the organizational and technical method has been developed, which provides for the following procedures: collection and analysis of information on the staffing of units with equipment and personnel; assessment of the potential technical capabilities of units; assessing the readiness of units to respond and eliminate the consequences of emergencies, material, technical, financial and human support; optimization of territorial structures of civil protection, taking into account the state of man-made natural threats to the regions; formation of a solution for responding to emergency situations and eliminating their consequences, evaluating the effectiveness and correcting decisions based on the analysis of the actions of the response units. The developed complex of models for ensuring preparedness for emergency response is the basis for justifying and carrying out organizational and technical measures aimed at adequate response and liquidation of the consequences of emergency situations both on a national scale and in its regions.

**Keywords:** organizational and technical method, formalized model, emergency, possible technical ability

### References

1. Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsybmal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O. (2018). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 10(92), 4–17. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127829
2. Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O., Tykhomyrova, T., Rybalova, O., Artemiev, S., Bryhada, O. (2018). Studying the influence of design and operation mode parameters on efficiency of the systems of biochemical purification of emissions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 10(93), 59–71. doi: 10.15587/1729-4061.2018.133316
3. Guskova, N. D., Neretina, E. A. (2013). Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*, 63(3), 227–237. doi: 10.2298/ijgi1303227g
4. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a

combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 10(90), 11–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.114504

5. Ministry of health care Singapore Pandemic Influenza Pandemic response plan project. 2019. Retrieve from [http://www.fao.org/docs/eims/upload/221490/national\\_plan\\_ai\\_sin\\_en.pdf](http://www.fao.org/docs/eims/upload/221490/national_plan_ai_sin_en.pdf)

6. Report on the main results of the Civil Service of Ukraine for Emergencies in 2018. Retrieve from <https://www.dsns.gov.ua/files/2019/1/18/321/%D0%9F%D1%83%D0%B1%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%202018%20%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf>

7. Tiutiunyk, V. V., Ivanetz, H. V., Tolkunov I. A., Stetsyuk E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 99–105. doi: 10.33271/nvngu/2020-6/109

8. Liu, W.M., Hu, G.Y. and Li, J.F. (2012). Emergency Resources Demand Prediction Using Case-Based Reasoning. *Safety Science*, 50, 530–534. doi: 10.1016/j.ssci.2011.11.007

9. Deng, S. C., Wu, Q., Shi, B., et al. (2014). Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. *China Safety Science Journal*, 24, 79–84. Retrieve from [http://caod.oriprobe.com/articles/42018819/Prediction\\_of\\_resource\\_for\\_responding\\_waterway\\_transportation\\_emergenc.htm](http://caod.oriprobe.com/articles/42018819/Prediction_of_resource_for_responding_waterway_transportation_emergenc.htm)

10. Wu, X., Wu, L. (2011). Evaluation of the Fire Emergency Rescue Capability in Urban Community. *Procedia Engineering*, 11, 536–540. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.693

11. Wood, N. J., Schmidlein, M. C. (2012). Anisotropic path modeling to assess pedestrian-evacuation potential from cascadia-related tsunamis in the US Pacific Northwest, *Nat. Hazards*, 62, 275–300. doi: 10.1007/s11069-011-9994-2

12. Zhuang, Y. (2017). Constructing Effective Mechanism of Reflection on Major Accidents Zhang Supei. *China Safety Science Journal*, 6, 1–6. Retrieve from [http://oversea.cnki.net/kns55/oldNavi/n\\_Catalog.aspx?NaviID=48&Flg=local&YearID](http://oversea.cnki.net/kns55/oldNavi/n_Catalog.aspx?NaviID=48&Flg=local&YearID)

13. Lee, Y., Byungdoo, L., Kyung, Ha K. (2014). Optimal spatial allocation of initial attack resources for firefighting in the republic of Korea using a scenario optimization model. *Journal of Mountain Science*, 11, 323–335. doi: 10.1007/s11629-013-2669-6

14. West Virginia State Fire Commission. Requirements for West Virginia Fire. Retrieve from <http://www.firemarshal.wv.gov/Documents/Multimedia>

15. Martha, A., Centeno A., (2014). Markov chain location-allocation meta-model for hurricane relief planning. *Int. J. of Emergency Management*, 10, 3/4, 209–240. doi: 10.1504/IJEM.2014.066477

16. Ivanets, G. V., Tolkunov, I. O., Stetsyuk E. I., Mother, V. V., Popov I. I., Bondarenko, O. O. (2020). Methods of comparative assessment of potential technical capabilities of civil defense response units. *Problems of Emergencies Situations*. Kharkiv, NUCZU, 1(31), 78–88. Retrieve from <http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/31/7.pdf>

Надійшла до редколегії: 02.03.2021

Прийнята до друку: 9.04.2021