

## УДК 515.2

*М. В. Новожилова<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., професор, зав. каф. (ORCID 0000-0002-9977-7375)*

*Ю. В. Михайловська<sup>2</sup>, ад'юнкт ад'юнктури (ORCID 0000-0003-1090-5033)*

<sup>1</sup>*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна*

<sup>2</sup>*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

## РОЗРОБКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

Розроблено організаційно-технічний метод формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру регіонального рівня, зокрема, що виникають внаслідок вибухів боєприпасів на арсеналах та складах. Новий науковий результат полягає в низці математичних моделей, що створені в рамках застосування ідеології сценарного підходу до прогнозування обсягів ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів з урахуванням невизначеності їх параметрів на етапі стратегічного планування, що здійснюється заздалегідь у повсякденному режимі функціонування територіальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Запропоновано та введено до розгляду поняття мобільного центру допомоги, яке розширює поняття пересувних пунктів управління, що уможливило розвиток організаційних засад щодо заходів з реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Складовими організаційно-технічного методу, що розглядається, є методика визначення параметрів ураженої зони можливої надзвичайної ситуації регіонального рівня внаслідок вибухів боєприпасів, що дозволяє врахувати просторову розподіленість її наслідків, формування потреби в ресурсах життєзабезпечення для населення ураженої зони, визначення шляхів евакуації постраждалих з урахуванням стану транспортної інфраструктури зони надзвичайної ситуації. Показано, що при побудові стратегічного плану реагування на надзвичайну ситуацію регіонального рівня внаслідок вибухів боєприпасів, на основі дослідження наявних статистичних даних, шляхом прийняття оперативних управлінських рішень можливо обґрунтоване формування характеристик розподілу параметрів можливої надзвичайної ситуації, що є вхідною інформацією реалізації формалізованого сценарного підходу. В роботі побудоване інформаційне середовище та наведені результати чисельних експериментів щодо визначення множини сценаріїв на прикладі надзвичайної ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на військовому арсеналі боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація внаслідок вибухів боєприпасів, оптимізація ресурсного забезпечення, ліквідація надзвичайних ситуацій, прогнозування, мобільний центр допомоги

### 1. Вступ

Номенклатура та обсяг задач ресурсного забезпечення реагування на масштабні надзвичайні ситуації (НС) техногенного характеру регіонального, державного рівня визначають необхідність розробки відповідного інформаційно-аналітичного забезпечення та організаційних регламентів [1], що узгоджується із концепцією розвитку Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС).

Загалом ресурсне забезпечення реагування на НС є складовою ресурсного забезпечення територіальної системи техногенної безпеки, що включає структуровану множину необхідних і доступних ресурсів щодо виконання завдань повсякденного режиму служби та режиму надзвичайної ситуації, а також систему прийняття рішень щодо оптимізації структури ресурсного забезпечення в умовах динамічних змін та викликів зовнішнього середовища.

Особливе місце серед надзвичайних ситуацій техногенного характеру займають НС внаслідок вибухів боєприпасів на арсеналах та складах.

Планування операцій з реагування на НС регіонального, державного рівня НС внаслідок вибухів боєприпасів з урахуванням забезпечення організації, коор-

динації, розподілу ресурсних (матеріальних, фінансових, інформаційних) потоків в процесі ліквідації НС визначеного типу та мінімізації їх наслідків є багатофакторною задачею, має базуватися на строгому формальному фундаменті та використовувати арсенал сучасних засобів системного аналізу, теорії прийняття рішень, теорії оптимізації.

При цьому важливим інструментом підготовки суспільства до реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів є стратегічне (завчасне) планування ресурсного забезпечення при побудові планів реагування на НС та створення на цій основі організаційно-розпорядчих документів щодо дій територіальних підрозділів ДСНС в разі загрози або виникнення НС.

Тому створення аналітичного апарату вирішення задачі оптимального розподілу ресурсного забезпечення рятувальних операцій з реагування на можливу НС внаслідок вибухів боєприпасів на етапі стратегічного планування є актуальною науково-практичною проблемою.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Проведений аналіз особливостей надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів на арсеналах та складах показує, що загалом ліквідація НС такого типу та мінімізація їх наслідків – це операція, що потребує значної кількості різноманітних ресурсів, основним з яких є час, а саме: час доставки ресурсів життєзабезпечення в уражену зону, час евакуації постраждалих та час ліквідації наслідків НС.

Загалом ці питання активно розглядаються світовою науковою спільнотою. На сьогодні створено певний науковий доробок із застосування детермінованих та стохастичних математичних моделей та методів їх реалізації в різних аспектах НС природного та техногенного характеру в рамках концепту логістики катастроф (emergency logistics) [2–4].

Аварійне транспортування є найважливішою частиною операцій з ліквідації наслідків НС, і, проблема його планування завжди включає багато цілей, складні обмеження та невизначеність В роботі [5] розроблена модель екстреної диспетчеризації ресурсів, в якій вибір ресурсу є випадковим, а транспортний канал може бути ненадійним, запропоновано змішану імітаційну модель визначення потреб щодо надання допомоги в зону надзвичайної ситуації із сусідніх районів до тих пір, поки урядові та/або гуманітарні організації не зможуть дістатися до ураженої області. Але при цьому математичний апарат, що пропонується для формалізації предметної області дослідження, не враховує особливостей НС техногенного характеру.

Завдання найвищої надійності при найнижчих витратах, коли часові рамки невизначені, а ресурси життєзабезпечення повинні відправлятися з декількох місць також розглядається і в роботі [6], де однокритеріальну оптимізаційну модель розподілу ресурсів в певній аварійно-рятувальній мережі, інтегрує розподільні центри, міста та ресурси для поповнення в багаторівневу логістичну систему. Але залишається відкритим питання визначення характеристик розподільних центрів, місця їх розташування та потужності.

Отже, щоб постраждалі райони отримували термінову допомогу вчасно та точно після катастроф та стихійних лих, ефективного функціонування логістики катастроф та швидке реагування на нагальні потреби в постраждалих районах є дуже важливим. В роботі [7] на основі аналізу кількох стихійних лих, що сталися

в Китаї з 2007 року, розроблений метод спільної оптимізації, який ділить інтегровану проблему на набір компонентів, одночасно розвиває підрозділи та об'єднує підрозділи для побудови комплексних рішень. При побудові моделі застосовано математичний апарат дискретних ланцюгів Маркова. Зауважимо, що в рамках даного підходу є принципові складнощі із застосуванням оптимізаційних методів щодо планування аварійних перевезень при управлінні катастрофами.

В роботі [8] побудовано оптимізаційну модель розміщення додаткових ресурсів, а саме польових шпиталів на стадії ліквідації НС, а саме: очікування жертв протягом періоду пошуково-рятувальних робіт та загальних витрат на створення нових об'єктів. Однак, в даній моделі не враховані основні типи невизначеностей, що генеруються зовнішнім середовищем, а основа аналізу для визначення місця та розміру аварійної служби створена для стихійного лиха - землетрусу, щоб справитись зі сплеском попиту на екстрену медичну допомогу.

Також слід зазначити, що аварійні перевезення відіграють життєво важливу роль у успіху локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій та операцій з надання допомоги, але їх планування часто включають складні цілі та пошукові розподілені простори. Так, в дослідженнях [9, 10] розглядається питання оптимізації сил порятунку на етапі оперативного планування, тобто задача розподілу продуктів життєзабезпечення та екстрене транспортування постраждалих з наданням медичної допомоги, вирішується лише на етапі ліквідації наслідків надзвичайної ситуації. Цей підхід не дозволяє вирішувати завдання стратегічного планування. В роботі [11] для моделювання процесів планування аварійних перевезень використовуються біоінспіровані мета-евристичні методи, а саме еволюційні алгоритми, що пояснюється складністю системи цілей та пошукових просторів. Тим не менш, питання оптимізації ресурсного забезпечення залишаються невирішеними. Так, приклад, вирішення просторово розподіленої моделі масового обслуговування постраждалих можна розглянути у публікації бразильських вчених [12], де розглядається система невідкладної медичної допомоги на автошляхах, яка працює в рамках конкретної диспетчерської політики. Цю систему конфігуровано як систему надзвичайних ситуацій типу сервер-замовник на основі моделі просторово розподіленої черги, заснованої на наближеннях марківського аналізу. У цьому дослідженні представлено набір моделей на основі найменших нетривіальних систем обслуговування. Однак, в даному дослідженні не розглядаються питання визначення характеристик автотранспортних шляхів в зону ураження, як невід'ємної частини параметричної ідентифікації оптимізаційної моделі.

Окремим є питання створення теоретичних засад щодо спеціалізованого програмного забезпечення реалізації запропонованих математичних моделей. В роботі [13] розглянуті технічні, організаційні характеристики та діапазони застосування спеціалізованих апаратно-програмних засобів з протидії поширення надзвичайних ситуацій природного характеру. Однак, залишається невирішеним питання можливості розповсюдження даного підходу на інші функціональні завдання. Так само залишається невирішеним питання щодо можливості вибору варіанту дій, особливо, що приймає рішення (ОПР). В статті [14] запропоновано механізм оцінки уражених ділянок для визначення відповідних пріоритетів розповсюдження надзвичайної ситуації на основі концепції доцільності, за якою уражені ділянки класифікуються експертами відповідно до оцінюваних рівнів. Оцінювальні показники визначаються шляхом введення концепції ступеня, що підлягає рятуванню, ступень дозрівання уражених областей, які лежать на ступенях удару у відповідних постраждалих рай-

онах, тобто автори пропонують імперативний алгоритм розв'язання задачі, не забезпечуючи ОНР можливості вибору варіанту дій.

Аналіз основних напрямів наукових досліджень показує, що на сьогодні критично мало робіт, присвячених предметній області даної роботи – стратегічному формуванню та управлінню ланцюгами поставок ресурсів при реагуванні на ймовірні надзвичайні ситуації, зокрема, що виникають внаслідок вибухів боєприпасів, прийняття термінових управлінських рішень про допомогу, механізму підтримки логістики катастроф, включаючи уніфіковану та мережеву координацію дій особового складу ДСНС та інших структур.

Таким чином, невирішеною частиною проблеми, що розглядається, є відсутність науково-обґрунтованих методів формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів за рахунок скорочення часу доставки необхідних засобів життєзабезпечення та евакуації постраждалих.

### **3. Мета та завдання дослідження**

Метою дослідження є розробка організаційно-технічного методу ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів за рахунок скорочення часу доставки засобів життєзабезпечення та евакуації постраждалих.

Для забезпечення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробити теоретичні положення організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів на основі реалізації сценарного підходу за допомогою побудови оцінок необхідних обсягів ресурсів життєзабезпечення у множині пунктів доставки – локацій в ураженій зоні та визначення оптимальних шляхів транспортування ресурсів та евакуації постраждалих.

2. Розробити програмно-апаратні засоби реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів.

3. Провести перевірку працездатності організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів на основі чисельної реалізації визначення множини сценаріїв розвитку НС.

### **4. Розробка теоретичних положень організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення**

Випадковий характер виникнення НС, просторова розподіленість ураженої території, необхідність одночасного проведення заходів в кількох географічно віддалених локаціях, ймовірнісний характер розвитку та параметрів НС, велика кількість постраждалих і загиблих та масштабна евакуація з ураженої території – ці та інші особливості та характеристики надзвичайних ситуацій, пов'язаних з вибухами на складах боєприпасів, критично ускладнюють безпосереднє керівництво рятувальними роботами з єдиного центру.

Тому у світовій практиці проведення оперативно-рятувальних робіт з локалізації просторово розподілених масштабних надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, у тому числі в Україні, та ліквідації їх наслідків вважається доцільною організація та запровадження роботи тимчасових (на період локалізації НС та ліквідації її наслідків) пунктів, наприклад, мобільних

центрів допомоги (МЦД), у складі яких мають бути розміщені пересувні пункти управління, тимчасові шпиталі, служба психологічної допомоги, сховища продуктів першої необхідності, води, тощо, що скорочує час прийняття управлінського рішення, час надання невідкладної медичної допомоги, час реагування на розвиток НС.

Таким чином, вводиться у розгляд множина  $\aleph$  МЦД, кількість  $M$  яких наперед є невизначеною величиною.

За таких умов організаційно-технічний метод оптимізації ресурсного забезпечення реагування на НС визначеного типу, що реалізується на етапі стратегічного планування, містить два основні етапи.

На першому етапі стратегічного планування ресурсного забезпечення реагування на НС визначається оцінка рівню техногенної безпеки території можливої НС, а також рівню ризику реалізації різних видів небезпек.

Методична та чисельна реалізація оцінки рівня техногенної безпеки території можливої НС докладно розглянута в [15].

Зосередимося на другому етапі стратегічного планування ресурсного забезпечення реагування на НС.

Для вирішення задач другого етапу стратегічного планування в рамках побудови організаційно-технічного методу оптимізації ресурсного забезпечення реагування на НС реалізовано сценарний підхід, що визначає можливі алгоритми дій територіального підрозділу ДСНС з ліквідації надзвичайної ситуації визначеного типу та відповідні обсяги ресурсного забезпечення рятувальних робіт.

Укрупнена схема організаційно-технічного методу оптимізації ресурсного забезпечення реагування на НС на основі реалізації сценарного підходу до прогнозування обсягів ресурсного забезпечення процесу локалізації та ліквідації наслідків НС представлена на рис. 1.

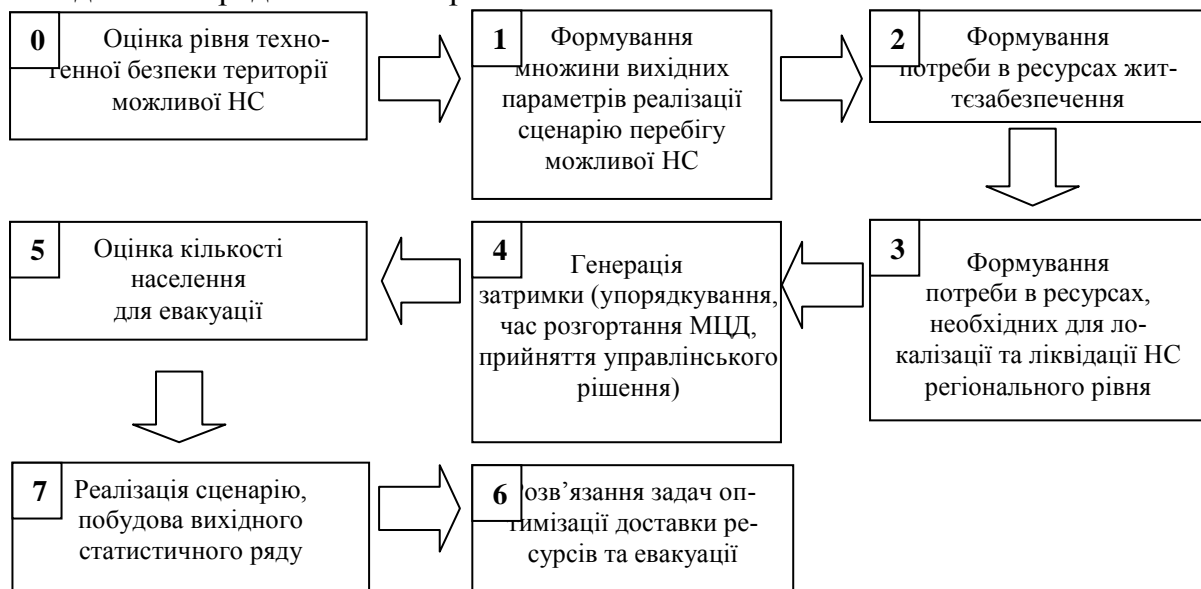


Рис. 1. Основні блоки реалізації сценарного підходу

Розглянемо послідовно кроки цього сценарію.

Однією з основних в цьому сенсі є задача побудови методики реалізації формалізованого сценарію процесу ліквідації ймовірної НС, що оперує з набором фізичних, геометричних та інших видів даних щодо НС як вхідних параметрів методу, а також щодо характеристик зони можливого ураження і наявних ре-

сурсів територіального підрозділу ДСНС України.

Крок 1. Формування множини вихідних параметрів реалізації формалізованого сценарію. Завдання вхідних параметрів реалізації сценарію при стратегічному плануванні ресурсного забезпечення процесу локалізації та ліквідації наслідків НС є багатомірною задачею.

Вхідними параметрами щодо реалізації сценарного підходу є такі:

1. параметри можливої НС;
  2. параметри ураженої зони – території S;
  3. параметри транспортної мережі території S;
  4. параметри територіального підрозділу ДСНС України.
- Параметри можливої НС мають вигляд:

$$\mathfrak{T} = \{t, \tau, \mathfrak{T}_1, \mathfrak{T}_2, \mathfrak{T}_3\}, \quad (1)$$

де  $t$  – час виникнення НС;  $\tau$  – час локалізації НС; параметр  $\mathfrak{T}_1$  – множина характеристик: географічна локація – розподілена, характер рельєфу території: рівнина; параметр  $\mathfrak{T}_2$  – тип НС: надзвичайна ситуація техногенного характеру, пов'язана з вибухами боєприпасів на арсеналах та складах; параметр  $\mathfrak{T}_3$  – «Рівень НС за тяжкістю втрат: середній (регіональний)».

Дослідження характеристик статистичного ряду щодо перебігу надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів на арсеналах та складах, що відбулись за останні 20 років в світі та в Україні, показало, що параметр  $t$  – час виникнення НС, приймає значення на множині місяців {березень – жовтень}, причому досить рівномірно.

Таким чином, при моделюванні сценарію розвитку НС, вважаючи час умовно неперервною величиною, можна прийняти гіпотезу щодо рівномірного розподілу часу  $t$  моменту настання НС на інтервалі  $[a, b)$  із функцією розподілу

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t \leq a; \\ \frac{t-a}{b-a}, & a < t \leq b; \\ 1, & t > b. \end{cases} \quad (2)$$

В свою чергу, дослідження характеристик статистичного ряду щодо перебігу надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів, що відбулись за останні 20 років в світі та в Україні, на основі побудови відповідних гістограм показало, що параметр  $\tau$  – час локалізації НС – можна вважати розподіленим за нормальним законом із функцією розподілу вигляду

$$F(\tau) = \frac{1}{\sigma_\tau \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx, \quad (3)$$

де  $m_x$  – математичне сподівання випадкової величини  $\tau$ , приймається рівним 107 год.;  $\sigma_\tau$  – середньоквадратичне відхилення – 96,2.

Геометричні параметри ураженої зони – території S – задаються радіусом дії  $r$ , що є нечітким числом – нечіткою числовою множиною та визначається харак-

теристиками боєприпасів, які зберігаються на арсеналі або складі, що розглядається (рис. 2).

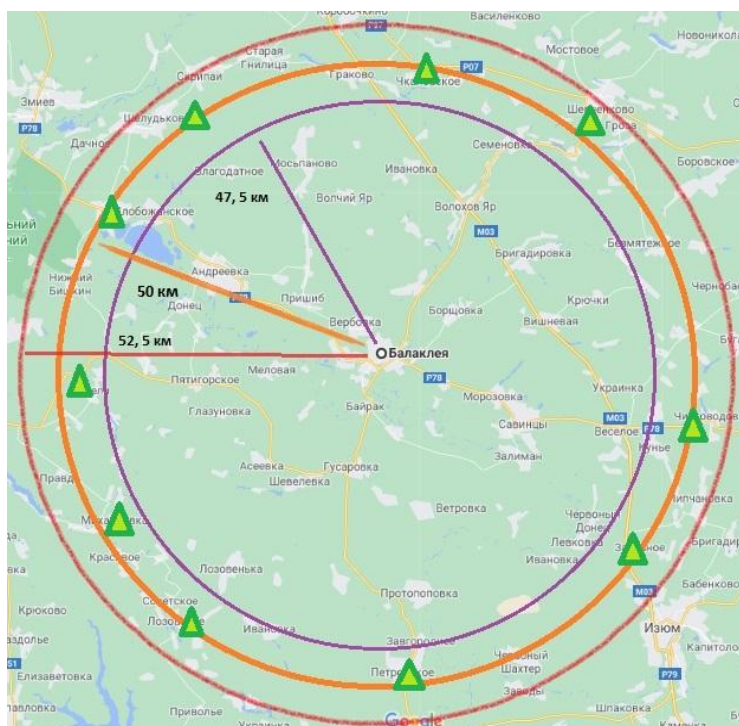


Рис. 2. Побудова ураженої зони від вибухів на військових арсеналах боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р.

На рис. 2. модель ураженої зони  $S$ , побудованої на основі реальних даних щодо НС внаслідок вибухів боєприпасів, що сталася, носій  $(a, c)$  нечіткої числової множини радіусу дії  $r$  – задається фіолетовим та червоним колами, тоді як  $b$  – координата максимуму – оптимістична оцінка нечіткого числа – подається помаранчевим колом.

В роботі використовується припущення, що носій  $(a, c)$  нечіткої числової множини складає 10% від оцінки радіусу дії  $r$ .

Радіус дії  $r$  задає межі можливої ураженої зони НС та є основою завдання кількості  $I$  та формування множини координат населених пунктів  $\varphi_i, 1, 2, \dots, I$ , зони ураження, що реалізується через функціонал додатку Google Maps (<https://maps.google.com/>).

Визначені також можливі локації розташування мобільних центрів допомоги, а саме підмножини  $\varphi_h, h=1, 2, \dots, H < I$ , населених пунктів, що належать кільцю  $K$  – геометричному образу нечіткої множини  $(a, c)$ . На рис. 2. ці локації показані як зелені трикутники.

Визначальним параметром  $m$ -го МЦД є потужність  $P_m$  за напрямками руху.

Потужність  $P_m$   $m$ -го МЦД є вектором та обчислюється через відстані до найвіддаленіших точок території  $S$ , які за регламентом можна віднести до зони впливу даного МЦД.

При цьому необхідно зважати на наявність та стан під'їзних шляхів, а також від типів транспортних засобів, що є в наявності у  $m$ -го МЦД.

Отже,  $P_m(v_m)$  є функцією рельєфу місцевості, характеристик під'їзних шляхів та наявних транспортних засобів і змінюється згідно розташування  $m$ -го МЦД. Крім того, навіть для визначеного  $v_m$  величина  $P_m$  є функцією від напрямку прямування.

Таким чином, просторовий розподіл  $P_m$  можна апроксимувати багатокутником  $S_m$ , загалом неопуклим.

Реалізація Кроку 1 сценарного підходу забезпечує визначення кількості  $M$  мобільних центрів допомоги, а також векторів

$$\{(x_1, y_1), \dots, (x_M, y_M)\},$$

$$(x_\zeta^m, y_\zeta^m), \zeta=1,2,\dots,n_m, m=1,2,\dots,M,$$

координат розміщення МЦД та координат вершин границі багатокутників  $S_m$  відповідно.

Результат реалізації алгоритму побудови множини багатокутників  $S_m$  (жовтим кольором) на прикладі НС у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р. наведено на рис. 3.

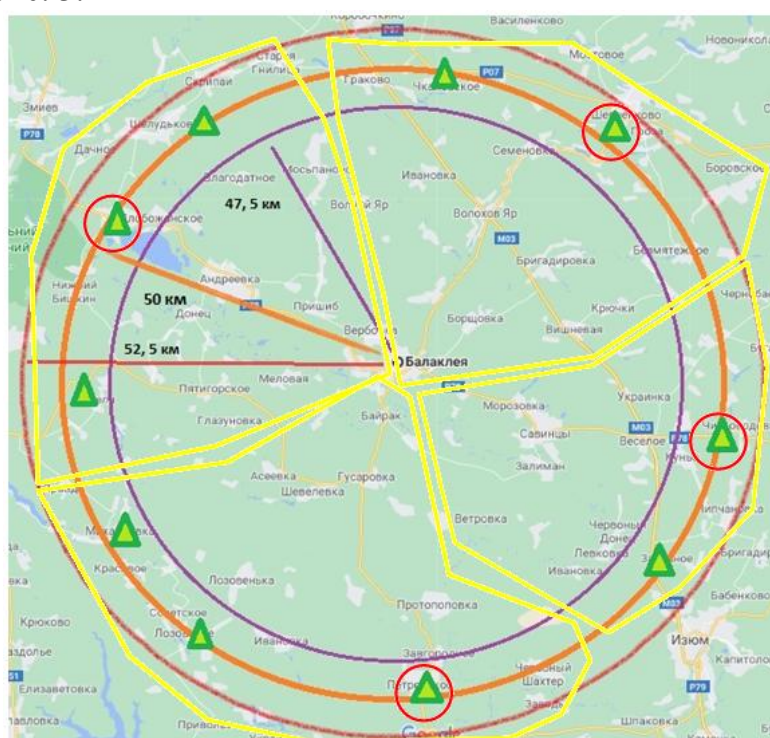


Рис. 3. Варіант визначення місць можливого розташування МЦД

Крок 2. Формування потреби в ресурсах: медикаменти і засоби особистої гігієни, продукти харчування, питна вода, теплий одяг, пальне, джерела енергопостачання. Потреба в цих ресурсах визначається з використанням добових норм Світової організації охорони здоров'я (СООЗ), а саме становить 2,5 літрів води на день, 3-разове харчування на людину-день, один медичний набір на одну особу в перші 72 години катастрофи.

На основі цих стандартів потреби в наданні допомоги в районах визначаються з урахуванням їх населення з використанням наступного формулювання:

$$\delta_{in} = p_i \theta_n \sum_h t_h (1 - q_h), \quad \forall i, n, \quad (4)$$



де  $\delta_{ik}$  – попит у локації  $\wp_i$  на пропозицію допомоги  $\Omega_n$ ;  $p_i$  – постраждале населення в локації  $\wp_i$ ;  $\theta_n$  – вимога постачання гуманітарної допомоги типу  $n$  на людину-одиницю часу;  $t_h$  – час готовності до обслуговування для вузла постачання  $h$ ;  $q_h$  – кількість, що представляє частку потреби, задоволеної наявними ресурсами у вузлах пропозиції (приймаємо рівним 0,6).

Зауваження 1. Попит, розрахований у рівнянні (4) передбачає, що кожен ресурс, що надходить, відповідає вимогам усіх районів однорідно.

Зауваження 2. Виходячи з аналізу наявних статистичних даних, покладемо, що невідкладної гуманітарної допомоги, що має надійти із зовнішніх джерел, у тому числі через МЦД, потребує [20-30] % населення ураженої зони, [10-12] % населення ураженої зони потребує евакуації.

Крок 3. Формування потреби в ресурсах  $R$ , необхідних для локалізації та ліквідації ТНС регіонального рівня: пожежна, аварійно-рятувальна та інженерна техніка, спецтехніка, засоби ліквідації тощо визначається згідно Методичних рекомендацій «Організація управління в надзвичайних ситуаціях», викладених в Наказі МНС України від 05.10.2007 № 685.

Крок 4. Генерація затримки (упорядкування, час доставки, час прийняття управлінського рішення) є сукупністю трьох етапів.

I етап – визначення векторів пріоритетів  $\beta_m = \{\beta_{m1}, \beta_{m2}, \dots, \beta_{1^m}\}$  локацій  $\wp_i$ ,  $i=1,2,\dots, I^m$ ,  $m=1,2,\dots, M$ , що є охопленими зоною  $S_m$  впливу  $m$ -го МЦД, щодо евакуації постраждалих та  $\chi_m = \{\chi_{m1}, \chi_{m2}, \dots, \chi_{1^m}\}$  місць доставки вантажів за зонами МЦД. Вектори пріоритетів  $\beta_m$ ,  $\chi_m$  задають порядок обслуговування локацій в залежності від їх географічного розташування.

II етап – визначення матриць відстаней  $\mathfrak{R}_m$  рангу  $I^m$ , елементи яких задають відстані між об'єктами  $\wp_i$ ,  $i=1,2,\dots, I^m$ ,  $m=1,2,\dots, M$ , що є охопленими зоною  $S_m$  впливу  $m$ -го МЦД, та відповідних матриць  $\mathfrak{T}_m$  рангу  $I^m$ , що задають ступінь складності подолання відстаней між об'єктами  $\wp_i$ . Елементи матриці  $\mathfrak{T}_m$  визначаються в діапазоні [1...2] та обираються при моделюванні на основі рівномірного розподілу.

III етап – оцінка кількості населення до евакуації визначається в долях від населення локацій  $\wp_i$ ,  $i=1,2,\dots, I^m$ ,  $m=1,2,\dots, M$ , в діапазоні (10% – 30 %) в залежності від вектору пріоритетів  $\beta_m = \{\beta_{m1}, \beta_{m2}, \dots, \beta_{1^m}\}$ .

Крок 5. Оцінка кількості населення до евакуації визначається в долях від населення локацій  $\wp_i$ ,  $i=1,2,\dots, I^m$ ,  $m=1,2,\dots, M$ , в діапазоні (10% – 30 %) в залежності від вектору пріоритетів  $\beta_m = \{\beta_{m1}, \beta_{m2}, \dots, \beta_{1^m}\}$ .

Крок 6. Розв'язання задач оптимізації доставки ресурсів та евакуації містить алгоритм розв'язання задачі визначення параметрів оптимального розміщення множини МЦД на дискретній множині припустимих значень, що оснований на стратегії послідовно-поодинокого розміщення, та алгоритм побудови раціональних маршрутів доставки вантажів на наявній транспортній мережі, оснований на використанні інструментарію розв'язання задачі комівояжера за методом найближчого сусіди.

## **5. Розробка програмно-апаратних засобів реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення**

Етапи організаційно-технічного методу оптимізації ресурсного забезпечення реагування на НС на основі реалізації сценарного підходу до прогнозування обсягів ресурсного забезпечення процесу локалізації та ліквідації наслідків НС є підґрунтям проектування структурної схеми прогнозної моделі як сукупності абстрактних взаємопов'язаних елементів, що описують функції системи, що проектується, можливі варіанти її використання, ознаки інформації, що циркулює в системі, об'єкти та суб'єкти, що взаємодіють із системою як основи автоматизованої інформаційної системи.

Таким чином, проектування середовища побудов сценаріїв стосовно розв'язання задачі ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів та мінімізації їх наслідків включає визначення характеристик, візуалізацію та документування концептів цієї галузі.

В роботі для цієї мети застосовано уніфіковану мову моделювання UML (Unified Modeling Language). Дана структурна модель містить такі класи як:

- клас МЦД – Мобільний центр допомоги – центральний клас;
- клас Населений пункт;
- клас Транспортний засіб;
- клас Спеціальна техніка;
- клас План Використання;
- клас Потреби ресурси населення;
- клас Потреби ресурси ліквідації.

Інформаційне середовище побудови сценаріїв є інтерактивним та включає ОПР, інтерфейс з Google Maps (<https://maps.google.com/>) та Інтерактивною картою ремонту доріг, що підтримується Державним агентством автомобільних доріг України «Укравтодор», функціонал електронних таблиць (MS Excel) та програму на C++, виконану у середовищі візуального програмування C++ Builder Community Edition. Перевагою обраного інструментального засобу програмування є інтуїтивно зрозумілий розвинений графічний інтерфейс, наявність потужної бібліотеки спеціалізованих підпрограм та можливість підключення API (Application Programming Interface) Google Maps через бібліотеку WebGMaps. Програма функціонує як десктопний додаток під управлінням ОС Windows.

## **6. Перевірка працездатності запропонованого організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення**

Проведемо практичну реалізацію етапів та перевірку працездатності організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС на основі реалізації сценарного підходу з використанням інформації про НС внаслідок вибухів на військовому арсеналі боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р.

З цією метою проведемо процедуру моделювання реалізації методу двох типах даних:

- на наявних даних щодо організації оперативно-рятувальних робіт з реагування на НС внаслідок вибухів на військовому арсеналі боєприпасів у м. Балаклія за відсутності мобільних центрів допомоги;
- на модельних даних щодо організації оперативно-рятувальних робіт з реагування на НС внаслідок вибухів на військовому арсеналі боєприпасів у м. Балаклія

при застосуванні розгортання мобільних центрів допомоги, тобто при застосуванні методики визначення кількості, місць розташування та потужності МЦД.

В цьому контексті при проведенні процедури моделювання наявні вихідні дані використовувалися із варіацією  $\pm 10\%$ .

Згідно зі схемою реалізації формалізованого сценарію при стратегічному плануванні ресурсного забезпечення НС (рис.1), елементи якої розглянуті в п. 4 даної роботи, визначені діапазони зміни параметрів НС, параметрів ураженої зони, транспортної мережі ураженої зони НС та параметрів ресурсного забезпечення територіального підрозділу ДСНС.

Подальше моделювання та розв'язання задачі визначення оптимальних шляхів транспортування ресурсів та евакуації постраждалих проводилось на наборах даних, структура яких подана в табл. 1.

**Табл. 1. Перебіг моделювання вхідних даних**

№ експерименту	Радіус, км	Площа ураженої зони, км <sup>2</sup>	Кількість населення, осіб	Тривалість локалізації, год/дів		Кількість уражених локацій, од	Кількість населення, що потребує допомоги, %	Кількість населення, що потребує допомоги, осіб	Кількість населення, що потребує евакуації, осіб
1	45	6358,5	267057	88	3,67	22	27	72105	29376
2	49	7539,1	316644	88	3,67	26	22	69662	34831
3	44	6079,0	255320	89	3,71	21	27	68936	28085
4	49	7539,1	316644	90	3,75	26	24	75995	34831
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17	48	7234,6	303852	81	3,38	25	26	79001	33424
18	42	5539,0	232636	71	2,96	19	24	55833	25590
19	43	5805,9	243846	76	3,17	20	21	51208	26823
<b>Середній випадок</b>	<b>46</b>	<b>6577,8</b>	<b>276268</b>	<b>80</b>	<b>3,31</b>	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>69017</b>	<b>30389</b>
<b>Найгірший випадок</b>	<b>49</b>	<b>7539,1</b>	<b>316644</b>	<b>90</b>	<b>3,75</b>	<b>26</b>	<b>29</b>	<b>88117</b>	<b>34831</b>

Результати моделювання вхідних даних наведені в табл. 2.

**Табл. 2. Узагальнені результати імітаційних експериментів щодо визначення характеристик НС та зони ураження**

Назва вхідного параметра	Значення		Назва вхідного параметра	Значення	
	Середній випадок	Найгірший випадок		Середній випадок	Найгірший випадок
Тривалість локалізації, год.	78	89	Кількість осіб до евакуації	29058	36267
Радіус зони ураження	45	50	Вода, тон/доба	163	209
Площа ураженої зони, км <sup>2</sup>	6289,6	7850	Набори готової їжі, тон	97,8	125,6
Кількість уражених локацій, одиниць	22	27	Набори медикаментів, тон	39,1	50,2
Кількість осіб, що потребують допомоги	63060	85722			

В якості вантажів першої допомоги визначено воду, набори готової їжі (0,5 кг кожний) та набори базових медикаментів (0,25 кг кожний).

Загалом побудовано 19 сценаріїв розвитку рятувальних операцій в залежності від генерованого набору вхідних параметрів.

Особлива увага надавалась середньому та найгіршому випадкам, коли враховуються середній та найтриваліший час виконання сценаріїв (табл.3). При цьому розглядалась як імітація поточної системи (за відсутності МЦД), так і си-

стема організації оперативно-рятувальних робіт при застосуванні розгортання мобільних центрів допомоги.

**Табл. 3. Оцінка необхідного обсягу ресурсів життєзабезпечення**

№ експерименту	Загальний об'єм води, тон (норма на 1 людину: 2,5 л/доба)	Добовий об'єм води, тон	Об'єм води, тон/доба (40 % від загального об'єму)	Загальний об'єм медикаментів, тон (норма на 1 людину: 0,25 кг/період локалізації)	Загальний об'єм їжі, тон (норма на 1 людину: 1,5 кг/доба)	Добовий об'єм їжі, тон	Об'єм їжі, який необхідно доставити, тон/доба (40 % від загального об'єму)
1	661,0	180,3	72,1	18,0	396,6	108,2	43,3
2	638,6	174,2	69,7	17,4	383,1	104,5	41,8
3	639,1	172,3	68,9	17,2	383,5	103,4	41,4
4	712,4	190,0	76,0	19,0	427,5	114,0	45,6
...	...	...	...	...	...	...	...
17	537,2	514,9	140,4	56,2	14,0	308,9	84,3
18	482,6	426,7	121,9	48,8	12,2	256,0	73,2
19	507,5	405,4	128,0	51,2	12,8	243,2	76,8
<b>Середній випадок</b>	<b>572,1</b>	<b>172,5</b>	<b>69,0</b>	<b>17,3</b>	<b>343,3</b>	<b>103,5</b>	<b>41,4</b>
<b>Найгірший випадок</b>	<b>712,4</b>	<b>220,3</b>	<b>88,1</b>	<b>22,0</b>	<b>427,5</b>	<b>132,2</b>	<b>52,9</b>

В результаті отримано розв'язання задачі визначення необхідних обсягів ресурсів щодо локалізації та ліквідації НС, а саме потреби в ресурсах на множині  $\wp = \{\wp_i\}_{i \in I}$  пунктів доставки.

Узагальнені результати експериментів зведені у табл. 4.

**Табл. 4. Узагальнені результати імітаційних експериментів**

Назва параметра	Із застосуванням МЦД. Зона відповідальності $C_m$		Без застосування МЦД	
	Середній випадок	Найгірший випадок	Середній випадок	Найгірший випадок
Час розгортання МЦД, год	8	11		
Кількість МЦД	3	4		
Кількість пунктів в зоні одного МЦД	20	23		
Час доставки вантажів (гуманітарної допомоги), год/рейс	1	1,6	1,3	2,3
Час евакуації, год/рейс	0,8	1,12	1,5	2,5

Таким чином, отримане в результаті проведення чисельних експериментів скорочення часу доставки вантажів з невідкладною допомогою та евакуації населення компенсує час розгортання мобільних центрів допомоги та дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів з ліквідації НС, пов'язаних з вибухами боєприпасів на арсеналах та складах, зокрема парку транспортних засобів.

## 7. Обговорення результатів дослідження

Багатофакторність задачі даного наукового дослідження зумовила необхідність використання арсеналу засобів імітаційного та оптимізаційного моделювання, а також застосування апарату нечітких множин та побудови експертних оцінок для формалізації вихідних даних.

При побудові та реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів враховано такі особливості реального процесу завчасного планування, як випадковий характер виникнення НС, просторова розподіленість ураженої території, необхідність одночасного проведення заходів в кількох географічно віддалених локаціях, ймовірнісний характер розвитку та параметрів НС, організація та запровадження роботи тимчасових (на період локалізації НС та ліквідації її наслідків) мобільних центрів допомоги (МЦД), а інші фактори.

Важливим питанням є формалізація важелів підвищення ефективності планування. Підвищення ефективності планування досягається як за рахунок скорочення часу, матеріальних (транспортних засобів, а також кількості обслуговуючого кваліфікованого персоналу), фінансових та інших видів ресурсів, так і за рахунок скорочення часу та підвищення обґрунтованості прийняття управлінського рішення на основі застосування відповідного програмно-апаратного забезпечення.

Крім того, ОПР забезпечується цілим спектром упорядкованої інформації, агрегованої у вигляді, прийнятному для забезпечення прийняття обґрунтованого управлінського рішення.

Аналіз розв'язків низки чисельних результатів на чутливість та порівняння результатів експериментів двох типів системи організації оперативно-рятувальних робіт як за відсутності мобільних центрів допомоги, так і при застосуванні розгортання МЦД (рис. 3) показує, що практичне застосування організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів та введення у практику рятувальних робіт мобільних центрів допомоги дозволило на I та II етапах знизити загальний час доставки вантажів – на 30,2 % (табл. 2), на III етапі (загальний час евакуації постраждалого населення) – на 55 % (табл. 2).

## 8. Висновки

1. Проведено розробку теоретичних положень організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів на основі реалізації сценарного підходу за допомогою побудови оцінок необхідних обсягів ресурсів життєзабезпечення у множині пунктів доставки – локацій в ураженій зоні та визначення оптимальних шляхів транспортування ресурсів та евакуації постраждалих.

2. Створено програмно-апаратні засоби реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів. За допомогою уніфікованої мови моделювання UML побудовано структурну модель класів інформаційного середовища реалізації методу, що є інтерактивним та включає ОПР, множину програмних засобів реалізації організаційно-технічного методу, відповідне апаратне забезпечення і протоколи передачі та обміну даними.

3. Перевірено працездатність організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів на основі чисельної реалізації визначення множини сценаріїв розвитку НС на прикладі надзвичайної ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на військовому арсеналі у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р. Визначено складові підвищення ефективності планування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів із застосуванням запропонованого організаційно-технічного

методу, що досягається як за рахунок скорочення часу, матеріальних (транспортних засобів і як наслідок, кількості обслуговуючого кваліфікованого персоналу) та інших видів ресурсів, так і за рахунок скорочення часу прийняття управлінського рішення на основі застосування відповідного програмно-апаратного забезпечення. Застосування запропонованого організаційно-технічного методу у практиці побудови планів реагування на НС та створення на цій основі організаційно-розпорядчих документів щодо дій територіальних підрозділів ДСНС України в разі загрози або виникнення НС обмежено урахуванням особливостей рельєфу можливої ураженої зони (рівнина), але при цьому за певних модифікацій структурної моделі проектування інформаційного середовища реалізації методу, що пропонується, може бути застосований і для інших типів просторово-розподілених НС природного або техногенного характеру.

### Література

1. Любінський А. Сучасний стан та перспективи модернізації системи цивільного захисту України. Ефективність державного управління. 2015. Вип. 43. С. 104–109.
2. Sebatli A., Cavdur F., Kose-Kucuk M. Determination of relief supplies demands and allocation of temporary disaster response facilities. *Transportation Research Procedia*. 2017. №22. С. 245–254.
3. Brito I. Jr., Leiras A., Yoshizaki H. Stochastic optimization applied to the positioning of disaster relief supplies in Brazil. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2015, Porto de Galinhas, PE [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/303939071> (дата звернення 15.06.2020).
4. Ozdamar L., Demir O. A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2012. № 48(3). P. 591-602.
5. Xiang Li, Yongjian Li. A Model on Emergency Resource Dispatch under Random Demand and Unreliable Transportation Systems. *Engineering Procedia*. 2012. №5. P. 248 – 253.
6. Wang W., Huang L., Guo Z. Optimization of emergency material dispatch from multiple depot locations to multiple disaster sites. *Sustainability*. 2017. №9. P. 1978–1991.
7. Zheng Y.-J., Ling H.-F. Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach. *Soft Computing*. 2012. №17(7). P. 1301–1314.
8. Salman F. S., Gul S. Deployment of field hospitals in mass casualty incidents. *Computers & Industrial Engineering*. 2014. № 74. P. 37–51.
9. Gormez N., Koksalan M., Salman F.S. Locating disaster response facilities in Istanbul. *Journal of the Operational Research Society*. 2011. № 62(7). P. 1239–1252.
10. Zhang M.-X., Zhang B., Zheng Yu-J. Bio-Inspired Meta-Heuristics for Emergency. *Transportation Problems Algorithms*. 2014. №7. P. 15–31.
11. Yu-Jun Zheng, Sheng-Yong Chen, Hai-Feng Ling. Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey. *Applied Soft Computing*. 2015. №27. P. 553–566.
12. Chiyoshi F., Iannoni A.P., Morabito R. A tutorial on hypercube queueing models and some practical applications in Emergency Service Systems. *Pesquisa Operacional*. 2011. № 31(2). P. 271–299.
13. Левтеров О. А., Шевченко Р. І. Апаратно-програмна реалізація сучасних підходів з попередження надзвичайних ситуацій природного характеру. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2019. № 1(29). С. 47–61.

14. Guojun Ji, Caihong Zhu. A Study on Emergency Supply Chain and Risk Based on Urgent Relief Service in Disasters. *Systems Engineering Procedia*. 2012. № 5. P. 313–325.

15. Новожилова М. В., Чуб О. І., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В., Мележик Р. С. Розробка ієрархічної стратегії підвищення рівня техногенної безпеки території. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2019. № 30. С. 164–177.

*M. Novozhylova<sup>1</sup>, DSc, Professor, Head of Department*

*Yu. Mykhailovska<sup>2</sup>, Cadet*

<sup>1</sup>*O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

## **DEVELOPING ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL METHOD OF RESOURCE SUPPLYING FORMATION FOR EMERGENCY SITUATIONS**

The organizational and technical method of formation of resource provision of response to emergencies of technogenic character of regional level, in particular, arising as a result of explosions of ammunition on arsenals and warehouses is developed. The new scientific result consists of a number of mathematical models developed within the framework of the ideology of the scenario approach to forecasting the amount of resource response to emergencies due to munitions explosions, taking into account the uncertainty of their parameters at the stage of strategic planning. Proposed and introduced the concept of a mobile assistance center, which expands the concept of mobile control points, which allows the development of organizational framework for emergency response to ammunition explosions. Components of the organizational and technical method under consideration are the method of determining the parameters of the affected area of a possible emergency situation at the regional level due to ammunition explosions, which allows to take into account the spatial distribution of its consequences, the need for life emergency zone infrastructure. It is shown that when building a strategic emergency response plan at the regional level due to munitions explosions, based on the study of available statistics, by making operational management decisions may be reasonable formation of characteristics of the distribution of parameters of a possible emergency, which is input to formalized scenario approach. The paper builds an information environment and presents the results of numerous experiments to determine the set of scenarios on the example of an emergency situation due to explosions of ammunition in the military arsenal of ammunition in Balaklia, Kharkiv region, March 23, 2017.

**Keywords:** emergency situation due to ammunition explosions, optimization of resource provision, liquidation of emergency situations, forecasting, mobile assistance center

### **References**

1. Lyubinsky, A. (2015). Current state and prospects of modernization of the civil defense system of Ukraine. *Efficiency of public administration*, 43, 104–109.

2. Sebatli, A., Cavdur, F., Kose-Kucuk, M. (2017). Determination of relief supplies demands and allocation of temporary disaster response facilities. *Transportation Research Procedia*, 22, 245–254.

3. Brito, I. Jr., Leiras, A., Yoshizaki, H. (2015). Stochastic optimization applied to the pre-positioning of disaster relief supplies in Brazil. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Porto de Galinhas, PE. <https://www.researchgate.net/publication/303939071>

4. Ozdamar, L., Demir, O. A. (2012). hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(3), 591–602.

5. Xiang, Li, Yongjian, Li. (2012). A Model on Emergency Resource Dispatch under Random Demand and Unreliable Transportation Systems. *Engineering Procedia*, 5, 248–253.

6. Wang, W., Huang, L., Guo, Z. (2017). Optimization of emergency material dispatch from multiple depot locations to multiple disaster sites. *Sustainability*, 9, 1978–1991.
7. Zheng, Y.-J., Ling, H.-F. (2012). Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach. *Soft Computing*, 17(7), 1301–1314.
8. Salman, F. S., Gul, S. (2014). Deployment of field hospitals in mass casualty incidents. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 37–51.
9. Gormez, N., Koksalan, M., Salman, F. S. (2011). Locating disaster response facilities in Istanbul. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7), 1239–1252.
10. Zhang, M.-X., Zhang, B., Zheng, Yu-J. (2014). Bio-Inspired Meta-Heuristics for Emergency. *Transportation Problems Algorithms*, 7, 15–31.
11. Yu-Jun, Zheng, Sheng-Yong, Chen, Hai-Feng, Ling. (2015). Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey. *Applied Soft Computing*, 27, 553–566.
12. Chiyoshi, F., Iannoni, A. P., Morabito, R. A tutorial on hypercube queueing models and some practical applications in Emergency Service Systems. *Pesquisa Operacional*, 2011, 31(2), 271–299.
13. Levterov, O. A., Shevchenko, R. I. (2019). Hardware and software implementation of modern approaches to the prevention of natural emergencies. *Problems of emergencies*, 1(29), 47–61.
14. Guojun, Ji, Caihong, Zhu. (2012). A Study on Emergency Supply Chain and Risk Based on Urgent Relief Service in Disasters. *Systems Engineering Procedia*, 5, 313–325.
15. Novozhilova, M. V., Chub, O. I., Mykhailovska, Y. V., Gudak, R. V, Melezhik, R. S. (2019). Development of a hierarchical strategy to increase the level of man-made safety of the territory. *Problems of emergencies*, 30, 164–177.

Надійшла до редколегії: 06.04.2020

Прийнята до друку: 20.04.2020