

## РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПОКРИТТЯ ПОТРЕБИ В РЕСУРСАХ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

НОВОЖИЛОВА М.В., ЧУБ І.А., ГУДАК Р.В.,  
МИХАЙЛОВСЬКА Ю.В.

Розглядається задача покриття потреби в ресурсах під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації природного та техногенного характеру, що є просторово-розподіленою. Дана задача вирішується за рахунок розміщення на ураженій території певної кількості тимчасових мобільних центрів допомоги визначеної потужності. Задачу сформульовано у вихідній постановці як задачу покриття. Обґрунтовано алгоритм зведення задачі покриття до задачі розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками з урахуванням стану транспортних мереж території.

**Ключові слова:** планування, ліквідація надзвичайної ситуації, ресурсозбереження, покриття, змінні метричні характеристики, розміщення.

**Key words:** planning, liquidation of an emergency, resource saving, covering, variables metric characteristics, placement.

### 1. Вступ

Природні та техногенні надзвичайні ситуації (НС) регіонального, національного рівня – це великі проблеми, що важко розв'язуються та перевіряють здатність спільнот та націй ефективно захищати своє населення та інфраструктуру [1], скоротити як людські, так і майнові втрати, а також швидко відновитися. Зовнішня хаотичність наслідків, різнохарактерність інцидентів вимагають динамічних, ефективних та економічних рішень як на етапі стратегічного планування, так і в режимі реального часу. Крім того, негативні наслідки надзвичайних ситуацій в багатьох випадках вражають великі просторово розподілені регіони з недосконалою транспортною інфраструктурою, експлуатація якої може ускладнюватися погодними умовами. Проблема ресурсного забезпечення процесу ліквідації НС містить етапи планування, організацію, координацію, розподіл ресурсних (матеріальних, фінансових, інформаційних) потоків, є базовою задачею логістики катастроф та важливим інструментом мінімізації наслідків НС.

В цьому сенсі визначальною є задача стратегічного планування процесів розподілу та зберігання необхідного обсягу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації

силами територіальних підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) України за умови можливої ураженості певної території  $S$ , що містить скінченну множину  $\varnothing$  населених пунктів  $\varnothing = \{\varnothing_1, \varnothing_2, \dots, \varnothing_{|\varnothing}\}$ , доставки ресурсів, які є локусами районів, постраждалих від НС.

Для вирішення задач етапу стратегічного планування найбільш прийнятним є сценарний підхід. В рамках сценарного підходу визначаються можливі алгоритми дії територіальної служби з надзвичайних ситуацій та передбачається розв'язання низки оптимізаційних задач стосовно розгортання мережі мобільних центрів допомоги (МЦД), спрямованих на надання першої допомоги постраждалим, постачання медикаментів тощо.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Етап стратегічного планування оптимального розподілу ресурсів щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації включає такі взаємопов'язані задачі, як визначення транспортних маршрутів доставки вантажів у зону ураження, так і розміщення МЦД, максимально наближених до зони НС. Ці задачі є об'єктом пильної уваги науковців. Перш за все, як зазначається в [2], необхідною операцією є визначення потреби у ресурсах щодо ліквідації наслідків НС в ураженій зоні. Це динамічна багатовимірна задача, і в роботі [2] запропоновано двофазну оптимізаційну модель цілочисельного програмування.

Зовнішнє середовище НС, що швидко змінюється, значна номенклатура товарів першої необхідності, ліків, медичного обладнання, жорсткі часові та інші обмеження, визначені в роботі [3], виводять задачу доставки вантажів щодо ліквідації НС, що включає визначення типів транспортних засобів і відповідних транспортних маршрутів, за рамки класичної транспортної задачі.

В роботах [4, 5] показано, що ця задача є NP-важкою, багатовимірною, у загальному випадку багатокритеріальною, і для її розв'язання авторами пропонується низка евристичних методів, що ґрунтуються на комбінованій схемі, яка містить засоби імітаційного моделювання та еволюційні алгоритми.

Одним з перспективних підходів до моделювання та розв'язання задач планування оптимального розподілу ресурсів є

застосування теорії і методів оптимізаційного геометричного проектування, а саме – математичних моделей і оптимізаційних методів розв’язання задач покриття [6 – 7] та задач оптимального розміщення об’єктів визначених типів, а також суміжного наукового напрямку – теорії оптимального розбиття множин. В таблиці надано стисло порівняльну характеристику основних елементів та особливостей задач сімейств покриття, розміщення та розбиття.

З цієї точки зору цікавою є фундаментальна робота [8], в якій проведено ґрунтовний аналіз різних типів задач покриття та викладено метод розв’язання задачі покриття, побудований на основі теорії оптимального розбиття множин.

Порівняльна характеристика задач покриття, розміщення та розбиття

Покриття	Розміщення	Розбиття
Елементи моделі: область		
Область покриття $S_0$	Область розміщення $S$	Область розбиття $S$
Метричні характеристики області		
задані	задані	задані
Елементи моделі: об’єкти		
об’єкти покриття $S_i$	об’єкти розміщення $S_i$	підмножини розбиття $S_i$
Метричні характеристики об’єктів		
змінні	змінні	змінні
в загальному випадку в залежності від типу задачі		
Приналежність об’єктів $S_i$ області $S_0$		
$S_0 \subseteq \cup S_i$	$\cup S_i \subset S_0$	$\cup S_i = S_0$
Умова попарного неперетину об’єктів		

З таблиці видно, що концептуальними є розбіжності в умовах обмежень задач, які описують основні взаємовідносини між областю та об’єктами покриття (розміщення, розбиття).

Моделювання та розв’язання класів задач, що розглядаються (задач покриття, задач розміщення та задач розбиття) основане в кінцевому підсумку на перетворенні інформації щодо геометричних характеристик об’єктів дослідження. Як геометричні характеристики залежно від типу задачі подаються не тільки власне ці характеристики, але і фізичні, статистичні, вартісні та інші параметри.

Характерною ознакою задачі планування оптимального розподілу ресурсів щодо

виконання операцій з ліквідації наслідків НС є невизначеність типів та обсягів необхідних критичних ресурсів. В просторі ресурсів такі операції моделюються як геометричні об’єкти зі змінними метричними характеристиками [10, 11].

**Метою дослідження** є побудова математичної моделі і методики розв’язання задачі стратегічного планування розподілу ресурсів щодо ліквідації просторово-розподіленої НС як задачі розміщення геометричних об’єктів зі змінними метричними характеристиками в заданій області.

## 2. Виклад основного матеріалу

Різноманіття прогнозних завдань при стратегічному плануванні комплексу заходів щодо ліквідації НС природного або техногенного характеру може бути зведене до двох основних типів:

- визначення динаміки розвитку НС, покроковий опис можливих змін стану зовнішнього середовища;
- планування та розробка системи узгоджених дій, спрямованих на досягнення цілей ліквідації наслідків НС.

Досліджено наявні підходи до створення сценарію розвитку НС як засобу стратегічного планування з урахуванням ступеня складності і ймовірнісного характеру зміни параметрів НС та зовнішнього середовища. Аналіз показав, що в даному випадку найбільш прийнятним є формалізований підхід, що включає як якісні судження експертів, так і елементи математичного моделювання, що містять аналітичний опис множин вхідних та вихідних параметрів та необхідний функціонал.

Формалізований сценарій загалом містить множину задач, серед яких однією з найважливіших є задача ресурсного забезпечення процесу ліквідації НС, яка звичайно розглядається сумісно із задачею оптимізації транспортних потоків.

Таким чином, виникає задача побудови методики реалізації формалізованого сценарію процесу ліквідації ймовірної НС, що оперує з набором фізичних, геометричних та інших видів даних (рис. 1) про можливі типи НС природного і техногенного характеру, а також про характеристики зони можливого ураження і наявні ресурси територіальних підрозділів ДСНС України.

При цьому множина можливих типів ймовірної НС визначається типом території (міська забудова, гірська місцевість тощо), що може зазнати впливу небезпечних факторів надзвичайної ситуації.

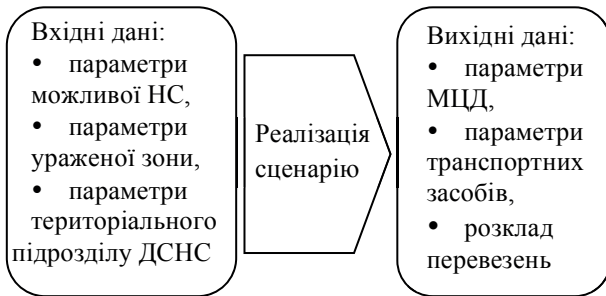


Рис. 1. Схема реалізації формалізованого сценарію. Зважаючи на аналіз, проведений в [2], виділимо такі параметри можливої НС:

$$\mathfrak{S} = \{\tau, \mathfrak{S}_1, \mathfrak{S}_2, \mathfrak{S}_3\},$$

де  $\tau$  – час виникнення НС, кортеж  $\mathfrak{S}_1$  визначає тип географічної локації і координати центру НС – в загальному випадку вектор координат;  $\mathfrak{S}_2$  – тип НС: {(хімічна, радіаційна, біологічна, змішана), (повінь, землетрус, лісова пожежа)};  $\mathfrak{S}_3$  – рівень НС за тяжкістю втрат (низький, середній, високий).

Значення цих характеристик впливають на параметри ураженої зони, а також формують попит на відповідні дії територіального підрозділу ДСНС.

Розглянемо параметри ураженої зони. Територія  $S$ , що є об'єктом захисту, моделюється замкненим багатокутником (рис. 2), метричні характеристики якого задані координатами вершин  $(x_n^S, y_n^S)$ ,  $n=1,2,\dots, N^S$  у загальній системі координат, що зв'язана з областю  $S$ .

Ще одним елементом вихідної інформації є вектор  $w$  параметрів розміщення множини  $\wp$  населених пунктів:  $w = \{(x_1^\wp, y_1^\wp), (x_2^\wp, y_2^\wp), \dots, (x_n^\wp, y_n^\wp)\}$  у загальній системі координат.

Параметри розміщення множини  $\wp$  об'єктів є сталими та зв'язані з певною внутрішньою точкою, що має назву полюсу (центру) об'єкта. Вважатимемо, що геометричною моделлю об'єкта  $\wp_i$  є однойменний замкнений опуклий багатокутник  $\wp_i$ , вершини якого задані у власній системі координат. Такий багатокутник будується, наприклад, в інтерактивному

середовищі Google Maps на карті території  $S$  як опукла оболонка реального населеного пункту. Координати центру та вершин багатокутника  $\wp_i$  подаються в середовищі Google Maps в абсолютному вимірі, тому за точку відліку загальної системи координат можна прийняти, наприклад точку на карті Європи з координатами («довгота м. Чоп», «широта м. Ізмаїл») таким чином, щоб територія країни розташовувалась в умовному першому квадранті площини. При цьому за замовчуванням координати вершин та центру  $\wp_i$  задаються у географічних координатах  $(\varphi, \lambda)$ , де  $\varphi$  – широта,  $\lambda$  – довгота вершини багатокутника  $\wp_i$ , що вимірюється.

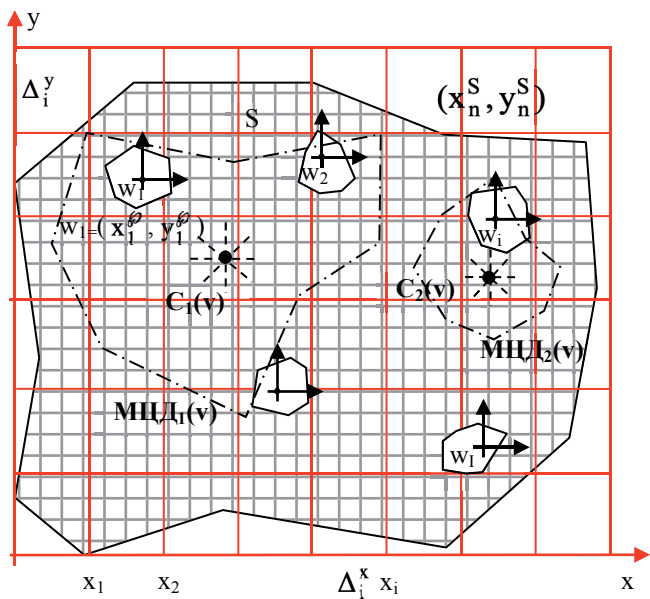


Рис. 2. Область та об'єкти покриття (розміщення)

Перехід від географічної системи координат до прямокутної системи здійснюється із застосуванням зональної системи прямокутних координат Гаусса. При цьому зона – це фрагмент поверхні Землі, обмежений меридіанами через  $6^\circ$  довготи.

Наближене визначення координат є таким (рис. 3):

$$\begin{aligned} \cos d &= \sin \varphi_a \sin \varphi_b + \cos \varphi_a \cos \varphi_b \cos(\lambda_a - \lambda_b); \\ \cos(\Delta x_{ab}) &= \sin(\varphi_a + \varphi_b); \\ \cos(\Delta y_{ab}) &= \sin^2 \varphi_a + \cos^2 \varphi_a \cos(\lambda_a - \lambda_b). \end{aligned}$$

Покладемо, що кожен пункт генерує запит (однойменний кортеж)  $\wp_i$  щодо обсягу необхідних вантажів, таких як предмети першої необхідності, елементи обладнання, ліки.

Вихідними параметрами формалізованого сценарію є вектор координат розміщення МЦД

$v = \{v_1, \dots, v_m, v_M\} = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m), \dots, (x_M, y_M)\}$ ,

де  $v_m = (x_m, y_m)$  – координати розміщення полюсів  $m$ -го МЦД,  $m=1,2,\dots,M$ , на території  $S$ .

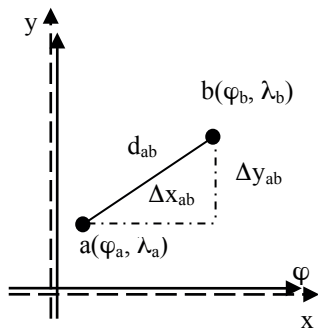


Рис. 3. Наближене визначення координат в прямокутній системі за значеннями в географічній системі координат

Головним параметром  $m$ -го МЦД є потужність  $P_m$ , що визначається через відстань до найвіддаленішої точки території  $S$ , яку за регламентом можна віднести до зони впливу цього МЦД.

При цьому необхідно зважати на наявність та стан під'їзних шляхів, а також на тип 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 з розташуванням  $m$ -го МЦД. Крім того, навіть для визначеного  $v_m$  величина  $P_m$  є функцією від напрямку руху.

Таким чином, просторовий розподіл  $P_m$  можна апроксимувати багатокутником  $C_m$ , загалом неопуклим. Далі вважатимемо вирази  $C_m$  і  $C_m(v_m)$ ,  $\varphi_i$  і  $\varphi_i(w_i)$  еквівалентними.

*Зауваження 1.* Форма багатокутника  $C_m$  може бути визначеною заздалегідь – на стратегічному рівні планування. Цей опис стає початковою точкою для розв'язання тактичної задачі розподілу ресурсів в умовах реалізованої НС.

*Зауваження 2.* Багатокутник  $C_m$  є геометричний об'єкт у загальному випадку із змінними метричними характеристиками та просторовою формою [3,4]. Залежно від параметрів розміщення центру  $C_m$  на території  $S$ , тобто залежно від взаємного розташування  $C_m$  та реципієнтів допомоги  $\varphi_i$  координати вершин  $(x_\xi^m, y_\xi^m)$ ,  $\xi=1,2,\dots,n_m$ , багатокутника  $C_m$  у

власній системі координат змінюються.

Покладемо  $f_m^\xi(x_m, y_m, x, y) \geq 0$ ,  $\xi=1,2,\dots,n_m$ , – набір лінійних нерівностей, таких, що  $(x, y) \in C_m$ .

*Зауваження 3.* Щодо форми об'єкта  $C_m$ . Залежно від наявних типів транспортних засобів форма  $C_m$  може відрізнитися.

Наприклад, для гвинтокрила це є коло, для залізничного транспорту – еліпс, орієнтований по залізничному полотну, для автомобільного транспорту – багатокутник.

Параметри розміщення об'єкта  $C_m$  збігаються з параметрами розміщення  $v_m = (x_m, y_m)$   $m$ -го МЦД.

Для вирішення задач етапу стратегічного планування в рамках сценарного підходу визначаються можливі алгоритми дії територіальної служби з надзвичайних ситуацій та передбачається розв'язання низки оптимізаційних задач стосовно розгортання мережі МЦД.

Множина оптимізаційних задач є такою.

**Задача 1.** Визначити параметри оптимального розміщення множини МЦД визначеної потужності на ураженій території  $S$ , що потерпає від НС природного або техногенного характеру.

**Задача 2.** Визначити оптимальну кількість МЦД визначеної потужності на ураженій території  $S$  для забезпечення прийняттого рівня ліквідації наслідків НС.

*Зауваження 4.* **Задача 2** є двоїстою стосовно **Задачі 1**.

Розв'язання перших двох задач безпосередньо пов'язане із **Задачею 3** щодо визначення обсягу недостатніх ресурсів, постачання яких є в компетенції підрозділів ДСНС України вищого рівня ієрархії.

Математична модель **Задачі 1** має вигляд:

$$\min_{v \in D \subseteq E^{2M}} \sum_{m=1}^M \sum_{n=m+1}^M [\omega_{mn}(v_m, v_n) + \omega_m^S(0, v_m)], \quad (1)$$

де область допустимих значень  $D$  задається умовою  $\bigcup_{i=1}^I \varphi_i \subset \bigcup_{m=1}^M C_m$ , функція  $\omega_{mn}(v_m, v_n)$  визначає площу області взаємного перекриття об'єктів  $(C_m, C_n)$ , функція  $\omega_m^S(0, v_m)$  визначає площу області взаємного перекриття об'єктів  $C_m$  та  $cl(E^2/S)$ ,  $m, n=1,2,\dots,M$ ,  $m \neq n$ .

*Зауваження 5.* При визначенні функцій



$\omega_{mn}(v_m, v_n)$ ,  $\omega_m^S(0, v_m)$ , на відміну від відомих постановок, необхідно зважати на факт необхідності покриття множини багатокутників  $\emptyset_i$ , а не всієї багатокутної області  $S$ .

Як результат розв'язання задачі (1) може виникнути підзадача вилучення надлишкових МЦД, видалення яких не призводить до порушення умови покриття області  $\bigcup_{i=1}^I \emptyset_i$ .

Задача 1 у постановці (1) є задачею про оптимальне покриття двовимірної області скінченною множиною багатокутників  $C_m$ ,  $m=1, 2, \dots, M$ .

Розглянемо оптимізаційну задачу покриття (1) як задачу розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками у просторі параметрів розміщення об'єктів  $C$ .

Функцією мети задачі розміщення набору геометричних об'єктів у замкненій області  $S$  є така:

$$M(v) \rightarrow \min_{v \in D}, \quad (2)$$

де область  $D$  визначається обмеженнями:

1. Зони впливу  $C_m$  мають відповідати умовам взаємного неперетину:

$$clC_m \cap clC_j = \emptyset. \quad (3)$$

2. Кожний населений пункт  $\emptyset_i$  має належати одній із зон  $C_m$ :

$$\emptyset_i \cap clC_m = \emptyset_i, \quad (4)$$

або в послабленому формулюванні:

$$(x_i^\emptyset, y_i^\emptyset) \in clC_m. \quad (5)$$

3. Зона впливу  $C_m$  може частково не належати області  $S$ :

$$C_m \cap E^2 / S \neq \emptyset. \quad (6)$$

Тому надамо виразу (5) таку інтерпретацію:

$$h_m \cap E^2 / S = \emptyset, \quad (7)$$

де  $h_m = h_m(v_m)$  – замкнений всюди щільний прямокутний окіл полюсу  $v_m$  об'єкта  $C_m(v_m)$ .

Для аналітичного опису обмежень (3) – (7) застосуємо апарат  $\Phi$ -функцій параметрів розміщення об'єктів [6 – 8, 10]. Класична  $\Phi$ -функція задає неперетин, торкання та перетин пари об'єктів із сталими метричними характеристиками та формою.

Тому проведемо певну редукцію задачі (2) – (4), (6) щодо визначення форми та метричних характеристик багатокутника  $C_m$  наступним чином. Розіб'ємо область  $S$  рівномірною сіткою

з комітками  $\{\Delta^x, \Delta^y\}$ . У межах кожної комірки (якщо  $v_m \in \{\Delta_i^x, \Delta_j^y\}$ ) вважатимемо форму та метричні характеристики об'єктів  $C_m$  сталими, тобто вважатимемо

$$x_k^m = x_k^m(\Delta_i^x, \Delta_j^y), \quad y_k^m = y_k^m(\Delta_i^x, \Delta_j^y), \quad k=1, 2, \dots, n_m.$$

В загальному випадку  $n_m = n_m(\Delta_i^x, \Delta_j^y)$ .

Якщо  $C_m(v_m)$ ,  $C_l(v_l) \subset E^2$  розглядаються як опуклі багатокутники, то 0-поверхня  $\Phi_{mj}(v_m, v_j)$ -функції, що описує торкання об'єктів, є замкненою багатогранною поверхнею  $T_{ij}$ , що містить  $K$  гіперплощин  $T_{ij}^k$ , кожна з яких задається лінійним рівнянням  $f_{ij}^k(v_m, v_j) = 0$  із лівою частиною вигляду

$$A^g(y_{k,k+1}^m, y_{q,q+1}^l)(x_m - x_l) + B^g(x_{k,k+1}^m, x_{q,q+1}^l)(y_m - y_l) + C^g(x_{k,k+1}^m, x_{q,q+1}^l, y_{k,k+1}^m, y_{q,q+1}^l), \\ g=1, 2, \dots, G \leq (n_m + n_l), \quad k=1, \dots, n_m, \quad q=1, \dots, n_l,$$

де  $x_{k,k+1}^m, x_{q,q+1}^l, y_{k,k+1}^m, y_{q,q+1}^l$  – двовимірні вектори, наприклад,  $x_{k,k+1}^m = (x_k^m, x_{k+1}^m)$ .

В разі, якщо об'єкт  $C_m(v_m)$  є неопуклим, то використовується подання

$C_m(v_m) = \bigcup_{\lambda=1}^{N_m} K_{\lambda m}(v_m)$  у вигляді об'єднання опуклих компонент  $K_{\lambda m}(v_m)$ ,  $\lambda_m = 1, 2, \dots, N_m$ .

Алгоритм розв'язання задачі (2) – (7) оснований на стратегії послідовно-поодинокого розміщення,  $m$ -а ітерація якої містить такі етапи:

1. Завдання переставлення номерів населених пунктів:  $\emptyset_i$ ,  $i=1, 2, \dots, I$ . Упорядкування проводиться за принципом «найближчого сусіда», починаючи, наприклад, із південно-західного пункту.
2. Визначення місця розташування  $m$ -го МЦД із зоною впливу  $C_m$ .

Це ітераційна задача вигляду

$$(x_m^*, y_m^*) = \arg \min_{v_m \in S} \max_{i \in I^-, j \in I^+} f_m^S(x_m, y_m, x_{ji}^\emptyset, y_{ji}^\emptyset)$$

за виконання умов (3), (5), (6), де множина  $I^-$  – множина індексів об'єктів  $\emptyset_i$ , що є не охопленими певною зоною впливу;  $I^- \cup I^+ = I$ ,  $I^+$  – множина індексів об'єктів  $\emptyset_i$ , що є охопленими зонами  $C_m$  на попередніх ітераціях.

3. Формування множини індексів  $I^m$

об'єктів  $\varnothing_i$ , що є охопленими зоною  $C_m$  впливу  $m$ -го МЦД.

Критерій останову алгоритму: якщо  $I^+ = I^-$  – розв'язок знайдений.

### Висновки

Розглянута задача покриття потреби в ресурсах під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації природного та техногенного характеру. Вона є базовою задачею логістики катастроф. У подальшому передбачається включення в математичну модель часового параметру, тобто часу доставки вантажів та можливості варіації значень потужності мобільних центрів допомоги.

**Література:** 1. Чуб І.А., Михайловська Ю.В. Формалізація задачі ресурсного забезпечення ліквідації техногенної надзвичайної ситуації // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2017. № 3. С. 33-38. 2. Sebatli A., Kose-Kucuk M., Cavdur F. Determination of relief supplies demands and allocation of temporary disaster response facilities // Transportation Research Procedia. 2017. 22. P. 245–254. 3. Zheng Y.J., Ling H.F. Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: A cooperative fuzzy optimization approach // Soft Comput. 2013. № 17. P.1301–1314. 4. Zhang M.-X., Zhang B., Zheng Yu.-J. Bio-Inspired Meta-Heuristics for Emergency Transportation Problems // Algorithms. 2014. № 7. P. 15-31. 5. Berkoune D., Renaud J., Rekik M. Transportation in disaster response operations // Soc. Ecol. Plan. Sci. 2012. № 46. P. 23–32. 6. Антошкин А.А. Комяк В.М., Романова Т.Е., Шеховцов С.Б. Особенности построения математической модели задачи покрытия в системах автоматической противопожарной защиты // Радиоэлектроника и информатика. 2001. Вып. 1. С. 75-78. 7. Романова Т.Е., Кривуля А.В., Злотник М.В. Математическая модель и метод решения задачи покрытия многоугольной области прямоугольными объектами // Проблемы машиностроения. 2008. №3. С. 58–68. 8. Киселева, Е.М., Лозовская Л.И., Тимошенко Е.В. Решение непрерывных задач оптимального покрытия шарами с использованием теории оптимального разбиения множеств // Кибернетика и системный анализ. 2009. № 3. С. 98-117. 9. Чуб І.А., Новожилова М.В. Геометричне моделювання основних обмежень на параметри розміщення об'єктів зі змінними метричними характеристиками // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2009. Вип. 4. Т. 42. С. 77-85. 10. Мурин М.Н., Чуб І.А., Новожилова М.В. Математическое обеспечение решения задачи размещения прямоугольников с изменяемыми метрическими характеристиками // Системы обработки информации. 2012. Вип. 7 (105). С. 195-199.

### Transliterated bibliography:

1. Chub, I.A., Mykhailovska, Yu. V. Formalizatsiia zadachi resursnoho zabezpechennia likvidatsii tekhnogennoi nadzvychainoi sytuatsii // Problems of Emergencies. 2017. №3. pp. 33-38.
2. Sebatli A., Cavdur F., and Kose-Kucuk M. Determination of relief supplies demands and allocation of temporary disaster response facilities // Transportation Research Procedia. 2017. №22. P. 245–254.
3. Zheng Y.J., Ling H.F. Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: A cooperative fuzzy optimization approach // Soft Comput. 2013. №17. P. 1301–1314.
4. Zhang, M.-X., Zhang, B., Zheng Yu.-J. Bio-Inspired Meta-Heuristics for Emergency Transportation // Algorithms. 2014. №7. P. 15-31.
5. Berkoune, D., Renaud, J., Rekik, M., Ruiz, A. Transportation in disaster response operations// Soc. Ecol. Plan. Sci. 2012. №46. P. 23–32.
6. Antoshkon A.A., Komyak V.M., Romanova T.E., Shehovstov S.B. Osobennosti postroeniya matematicheskoy modeli zadachi pokryitiya v sistemah avtomaticheskoy protivopozharnoy zaschity // RadioElectronics and Informatics. 2001. №1. pp. 75-78.
7. Romanova T.E., Krivylyya A.B., Zlotnik M.B. Matematicheskaya model i metod resheniya zadachi pokryitiya mnogougolnoy oblasti pryamougolnymi ob'ektami // Problems of Mechanical Engineering, 2008. №3. P. 58–68.
8. Kiseleva, E.M., Lozovskaya, L.I., Timoshenko E.V. Reshenie nepreryivnykh zadach optimalnogo pokryitiya sharami s ispolzovaniem teorii optimalnogo razbieniya mnozhestv// Cybernetics and systems analysis. 2009. №3. P. 98-117.
9. Chub I.A., Novozhylova M.V. Neometrychne modeliuвання osnovnykh obmezhen na parametry rozmichenia obiektiv zi zminnymy metrychnymy kharakterystykamy// Works of Tavria state agrotechnological university, 2009. №4. P. 77-85.
10. Murin M.N., Chub I.A., Novozhylova M.V. Matematicheskoe obespechenie resheniya zadachi razmescheniya pryamougolnikov s izmenyaemyimi metricheskimi kharakteristikami // Information processing systems. 2012. №7. P. 195-199.

Надійшла до редколегії 12.02.2019

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Литвинов А.Л.  
**Чуб Ігор Андрійович**, д-р техн. наук, професор, начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України, Харків. Наукові інтереси: оптимізація складних організаційно-технічних систем. Адреса: Україна, 61000, Харків, вул. Чернишевська, 94, тел. (057) 707-34-13.

**Новожилова Марина Володимирівна**, д-р фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики і інформаційних технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Наукові інтереси: математичне моделювання та теорія та методи дослідження операцій. Адреса: Україна, 61000, Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

**Михайловська Юлія Валеріївна**, ад'юнкт Національного університету цивільного захисту України, Харків. Наукові інтереси: моделювання ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Адреса: Україна, 61000, Харків, вул. Чернишевська, 94, тел. (057) 707-34-13.

**Гудак Роман Васильович**, начальник управління ДСНС України в Закарпатській області. Адреса: Україна, Ужгород, вул. Болгарська, 2.

**Chub Igor**, Doctor of Sci., Professor, Head of department of fire prevention in the settlements of the National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkov c. Research interests optimization of complex technical systems. Kharkov c., st. Chernyshevskaya, 94, tel. (057) 707-34-13.

**Novozhylova Maryna**, Doctor of Sci., Professor, Head of the department of applied mathematics and information technologies of O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Research interests are math modeling and operations research theory. Address: Kharkov, Bazhanova str., 17, tel. (097) 517-22-79.

**Mykhailovska Yuliia**, adjunct of the National University of Civil Defence of Ukraine. Research interests are mathematical modeling and optimization of the structure and functioning complex technical systems. Kharkov c., st. Chernyshevskaya, 94, tel. (057) 707-34-13.

**Gudak Roman**, Chief the SESU Department of Ukraine in Transcarpathian region, Uzhhorod c., Bolharska st., 2.