

УДК 515.2

*І.А. Чуб, д.т.н., професор, зав. каф., НУЦЗУ,
Ю.В. Михайловська, ад'юнкт, НУЦЗУ,
М.В. Новожилова, д.ф.-м.н., професор, ХНУСА*

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛІКВІДАЦІ ТЕХНОГЕННОЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

Наведено математичну модель задачі оптимізації розподілу ресурсів територіальної системи техногенної безпеки при ліквідації надзвичайної ситуації.

Ключові слова: математична модель, оптимізація розподілу ресурсів, ліквідація надзвичайної ситуації.

Постановка проблеми. Хоча незначні надзвичайні ситуації техногенного характеру (ТНС) в межах того або іншого територіального утворення мають місце практично кожен день, наслідки значних ТНС є руйнівними, забираючи людські життя, завдаючи непоправної шкоди здоров'ю сотень людей, величезні матеріальні, фінансові та екологічні збитки, розміри яких є порівняними, а часом значно перевищують річний бюджет території. Досить згадати такі великі техногенні катастрофи на об'єктах енергетики як аварія на Саяно-Шушенській ГЕС в 2009 р. в результаті чого було порушено енергопостачання кількох сибірських регіонів, техногенну катастрофу на АЕС «Фукусіма-1» в 2011 р., із загальним обсягом викидів 900000 терабеккерелей радіоактивних речовин йод-131 і цезій-137. Справжніми екологічними катастрофами були аварія ліберійського нафтового танкера «Рена» біля берегів Нової Зеландії в 2011 р., вибух і пожежа в квітні 2010 на буровій платформі Deerpwater Horizon в Мексиканській затоці біля узбережжя штату Луїзіана, США. Витік нафти вдалося зупинити лише через 4 місяці. Можна згадати також вибух на найбільшому у Венесуелі нафтозаводі Paraguana Refining Center (2012 р.), вибух в цеху з виробництва нітрогуанідіна на хімічному підприємстві компанії «Хебей Кеер» в м Шицзячжуан, провінція Хебей, Китай (2011 р.), аварію на хімічному комбінаті AZF в м Тулуза, Франція (2001 р.), коли в результаті вибуху 300 тонн нітрату амонію загинули 30 осіб, понад 300 отримали поранення, зруйновані або пошкоджені тисячі житлових будинків і будівель, без даху над головою залишилися 40000 осіб, більше 130 підприємств припинили свою діяльність. Загальна сума збитку склала 3 млрд євро.

Ситуація ускладнюється у разі, якщо великі потенційно небезпечні промислові об'єкти є можливими об'єктами терористичних актів, або знаходяться в зоні збройних конфліктів, де ведуться бойові дії, які супроводжуються неконтрольованим скупченням боєприпасів, що зберіга-

ються не належним чином, а також руйнуванням інфраструктури, додатковими людськими жертвами серед мирного населення.

Порівняльний аналіз типів організаційних структур, ресурсного забезпечення, прав та обов'язків служб цивільного захисту (цивільної оборони) в країнах світу за основними параметрами, організаційною та функціональною структурою показує їх відмінність від ДСНС України. Але є очевидним, що рівень втрат і збитків у кожному випадку ТНС в значній мірі залежить від готовності сил швидкого реагування, що обумовлюється достатнім рівнем ресурсного забезпечення, налагодженими горизонтальними та вертикальними інформаційними потоками між підрозділами ДСНС і структурами державного управління та, можливо, із підрозділами ЗСУ України, гуманітарними та волонтерськими організаціями тощо. При цьому необхідно враховувати випадковий характер виникнення ТНС та динамічне зовнішнє оточення, що генерує додаткові дестабілізуючі фактори впливу. Таким чином, проблема оптимального розподілу ресурсного забезпечення ТСТБ є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання прогнозування необхідних обсягів ресурсного забезпечення служб цивільного захисту як стратегічної задачі та визначення ефективної тактики застосування наявних інструментальних засобів гуманітарної допомоги постраждалим територіям є об'єктом зростаючого інтересу світової наукової спільноти. Так, в статті [2] авторами розглядається система критеріїв ефективності територіальної системи техногенної безпеки (ТСТБ) щодо виконання своїх функцій як у повсякденному режимі функціонування, так і в режимі ТНС.

З іншої точки зору сукупність операцій з локалізації та ліквідації наслідків ТНС є особливий вид проекту, що володіє властивостями унікальності та визначеними часовими рамками, при цьому мінливість зовнішнього середовища реалізації такого проекту задає певну невизначеність параметрів операцій. Питання моделювання та розв'язання багатовимірної задачі ресурсного забезпечення проектів розглядалися в роботах [3, 4].

Окремо розвивається новий науковий напрям – «гуманітарна логістика» [5,6], в якому розглядаються різні аспекти своєчасного матеріального забезпечення зони надзвичайної ситуації природного характеру.

В роботах [7, 8] розглядається проблема побудови прогнозної моделі наслідків можливої ТНС, розв'язання якої уможлиблює прийняття превентивних засобів з техногенної безпеки на етапі проектування підприємства, а також визначення оцінки ресурсів, необхідних для локалізації та ліквідації ТНС в разі її реалізації.

Постановка завдання та його вирішення. Метою статті є побудова узагальненої детермінованої математичної моделі оптимізації ресурсів ТСТБ як логістичної системи.

Логістична система як така – це взаємодія множини макроагентів: виробників, дистриб'ютерів, ритейлерів, які прагнуть до максимізації свого прибутку (децентралізований ланцюг поставок) або прибутку системи в цілому (централізований ланцюг поставок) за умови задоволення попиту кінцевих споживачів [9].

ТСТБ є суто централізованою територіально розподіленою трирівневою системою. Територіальна розподіленість ТСТБ у даному контексті означає розподіленість наявних ресурсів системи за районами їх дислокації (u_1, u_2, \dots, u_k) на місцевому рівні. Таким чином, структура ТСТБ може бути поданою як граф $G(V, E)$, а саме – дерево, в якості вершин графа вступають сховища (джерела ресурсів), а дугами графа є шляхи переміщення ресурсів.

Позначимо через $\bar{R} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \dots, \bar{r}_M)$ верхню межу наявних ресурсів, що є у розпорядженні ТСТБ на момент виникнення ТНС, де M – кількість всіляких ресурсів, при цьому можливо, деякі $\bar{r}_i = 0, i \in \{1, \dots, M\}$. Відмітимо, що при розв'язанні задачі оптимізації вектор $\bar{R} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \dots, \bar{r}_M)$ розгортається у матрицю $\overline{RM} = (\bar{r}_{mk})_{M \times K}$, де $\bar{r}_m = \sum_{k \in K} \bar{r}_{mk}$.

При цьому необхідно зважати на такі характеристики ТНС:

$\mathfrak{S} = \{\mathfrak{S}_1 | \text{«Географічна локація: розподілена, зосереджена»}; \quad (1)$

$\mathfrak{S}_2 | \text{«Тип: хімічна, радіаційна, біологічна, змішана»};$

$\mathfrak{S}_3 | \text{«Рівень ТНС за тяжкістю втрат: низький, середній, високий»}\}.$

Вищезазначені характеристики ТНС є екзогенними параметрами задачі оптимізації ресурсів ТСТБ, що моделюється.

Таким чином, узагальнена математична модель оптимізації ресурсів ТСТБ у режимі техногенної надзвичайної ситуації являє собою систему (декомпозицію) таких підзадач.

1. Визначення необхідних обсягів ресурсів щодо локалізації та ліквідації ТНС. Іншими словами, визначення попиту на ресурси в загальному випадку скінченій множині $\wp = \{\wp_i\}_{i \in I}$ пунктів доставки.

1.1. Задача визначення необхідних обсягів різних видів ресурсів Ω в кількостях $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M)$, $\theta_i = \sum_{m \in I} \theta_{mi}$, життєзабезпечення району, постраждалого від ТНС. Ресурси Ω включають, зокрема, продукти харчування, що не потребують спеціальних умов зберігання (наприклад, консерви), питну воду, теплий одяг, медикаменти і засоби особистої гігієни.

1.2. Задача визначення обсягів ресурсів $R = (r_1, r_2, \dots, r_M)$, необхідних для локалізації та ліквідації ТНС, тобто відновлення нормального функціонування території.

До ресурсів R належать спецтехніка та засоби ліквідації техногенної ТНС визначеного типу. В рамках даної задачі виходячи з параметрів аварії, віддаленості джерел води та других умів визначається загальна кількість та типи потрібної пожежно-рятувальної та допоміжної техніки.

1.3. Задача адаптації структури $G(V,E)$ ТСТБ до умов ТНС, яка реалізована: мобільні шпиталі, розгортання польових штабів, таборів для біженців тощо, тобто додавання нових (тимчасових) вершин до Π , які не є ізольованими.

Зауваження 1. В залежності від виду ТНС задача 1.3. може бути переформульована як задача доставки постраждалих до стаціонарних пунктів гуманітарної допомоги.

При цьому ще одним критичним ресурсом є час t , оцінка якого складається з часу t_1 доставки ресурсів множини Ω до кінцевого споживача, часу t_2 доставки засобів локалізації ТНС та часу ліквідації наслідків t_3

$$t = \max(t_1, t_2) + t_3.$$

Зауваження 2. Ресурси r_1, r_2, \dots, r_M є нелінійними функціями часу t . Одним з можливих видів апроксимації може слугувати опукла вгору квадратична функція.

2. Визначення оптимальних шляхів транспортування ресурсів.

Позначимо $(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{mik}, \dots, v_{MIK})$ – вектор кількостей ресурсів, що передаються від m -го джерела i -му пункту доставки.

Розглянемо множину критеріїв ефективності функціонування ТСТБ за умов задач 1 та 2, що розглядаються.

По-перше, це критерій максимального задоволення потреб

$$F_1(v_{111}, \dots, v_{MIK}) = \left[\sum_{m \in M} (\theta_{mi} - \sum_{k \in K} v_{mik})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

$$F_1(v_{111}, \dots, v_{MIK}) \rightarrow \min. \quad (3)$$

По-друге, це критерій $F_1(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{MIK})$ мінімізації вартості доставки (мінімізація ресурсів ТСТБ по обслуговуванню побудованої логістичної мережі)

$$F_1(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{MIK}) = \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} c_{mik} v_{mik}, \quad (4)$$

$$F_1(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{MIK}) \rightarrow \min, \quad (5)$$

де c_{mik} – питомі витрати транспортування на одиницю ресурсів.

По-третє, це час t_{trevel} доставки ресурсів з урахуванням упорядкування операцій гуманітарної спрямованості та з ліквідації наслідків ТНС

$$t_{trevel} = \max_{ijk} t_{mik}, \quad (6)$$

$$t_{trevel} \rightarrow \min, \quad (7)$$

де $t_{mik} = t + \text{час і місце}$.

Підсумовуючи наведене вище, задача, що розглядається, є багатокритеріальною задачею умовної нелінійної оптимізації, що припускає декомпозицію на сукупність підзадач більш простої структури.

Зауваження 3. На час доставки ресурсів життєзабезпечення певних видів ресурсів можуть накладатися додаткові умови, наприклад, якщо це дози крові у спеціальному обладнанні, певні види ін'єкцій, радіаційні препарати тощо.

Висновки. У статті наведено побудову та аналіз узагальненої детермінованої математичної моделі оптимізації ресурсів територіальної системи техногенної безпеки як логістичної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vademecum – Civil Protection [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Європейської комісії. – Режим доступу: http://ec.europa.eu/echo/files/civil_protection/vademecum.

2. Попов В.М. Показатели эффективности региональной системы техногенной безопасности / В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2014. – № 2 (20). – С. 32-41.

3. Чуб И.А. Решение задачи распределения ресурсов проекта как оптимизационной задачи размещения геометрических объектов с изменяемыми метрическими характеристиками / И.А. Чуб, А.С. Иванилов, М.В. Новожилова // Проблемы машиностроения. – 2010. – Т. 3. – № 5-6. – С. 79-90.

4. Chub I.A. Optimization problem of allocating limited project resources with separable constraints / I.A. Chub, M.V. Novozhylova, M.N. Murin // Cybernetics and Systems Analysis. – 2013. – Vol. 49. – P. 632-642.

5. Jiuh-Biing Sheu An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters / Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review // Sheu Jiuh-Biing Volume 43, Issue 6, November 2007, P. 687-709.

6. Yi-Chang Chiu, Hong Zheng Real-time mobilization decisions for multi-priority emergency response resources and evacuation groups: Model formulation and solution Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Volume 43. – Issue 6, November 2007. – P. 710-736.

7. Чуб І.А. Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші / І.А. Чуб, В.В. Матухно // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2016. – Вип. 23. – С.186-191. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Chub.pdf>.

8. Чуб И.А. Модель оценки риска возникновения экологической катастрофы в результате пожара / И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Системи

обробки інформації. – 2004. – Вип. 9. – С. 210-215.

9. Новожилова М.В. Решение детерминированной задачи оптимизации трехуровневой сети поставок одного товара / М.В. Новожилова, И.В. Штань // АСУ и приборы автоматики. – 2014. – № 176. – С. 44-51.

Отримано редколегією 09.03.2017

И.А. Чуб, Ю.В. Михайловская, М.В. Новожилова

Формализация задачи ресурсного обеспечения ликвидации техногенной чрезвычайной ситуации

Приведена математическая модель задачи оптимизации распределения ресурсов территориальной системы техногенной безопасности при ликвидации чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: математическая модель, оптимизация распределения ресурсов, ликвидация чрезвычайной ситуации.

I.A. Chub, Yu.V. Mihaylovskaya, M.V. Novozhilova

Formalization of the problem of resource ensure the elimination of technogenic emergency situation

The mathematical model of the problem of optimizing the distribution of resources of the territorial system of technogenic safety in the liquidation of an emergency situation is given.

Keywords: mathematical model, optimization of resource allocation, elimination of emergency situation.