

Беляєв В.Ю., ад'юнкт, НУЦЗУ

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАЗЕМНОЇ ЕВАКУАЦІЇ НАСЕЛЕННЯ ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

(представлено д-ром техн. наук Соловйом В.В.)

Формалізовано задачу відшукування оптимальних наземних маршрутів евакуації населення у разі поширення області ураження НС природного та природно-техногенного характеру. Визначено етапи розв'язання вказаної задачі.

Ключові слова: динамічна область надзвичайної ситуації, евакуація населення, маршрути евакуації.

Постановка проблеми. Загальне зростання чисельності населення та щільності його мешкання, підвищення антропогенного тиску на навколишнє середовище, ускладнення самої техногенної сфери і підвищення її потенційної небезпеки, а також вплив глобальних кліматичних змін призводять до зростання ризиків значних людських втрат внаслідок виникнення масштабних природних і техногенних надзвичайних ситуацій (НС) та катастроф.

На території СНД дані фактори поглиблюються падінням рівня технологічної та виробничої дисципліни, зношеністю основних фондів, зменшенням регуляторних функцій інституту держави та фінансовою неспроможністю країн забезпечити прийнятний рівень цивільного захисту населення у разі виникнення загроз.

Одним зі шляхів зменшення людських втрат є евакуація населення із зон можливого впливу вражаючих факторів природних та техногенних надзвичайних ситуацій [1-2].

Нормативні документи [3] встановлюють часові обмеження на проведення повної евакуації населення із зони ураження залежно від типу НС та віддаленості населеного пункту (НП), що евакуюється, від осередку НС. Тому одним з показників ефективності евакуаційних заходів є часовий термін (інтервал) проведення повної евакуації населення. Даний показник є інтегральним, оскільки формується під впливом багатьох чинників, що пов'язані з перебігом розвитку НС, з географічними, демографічними та іншими особливостями НП, транспортною мережею, ресурсними

можливостями (в першу чергу – забезпечення транспортом), організацією управління процесом евакуації, і тому є специфічним для кожного окремого випадку.

В той же час деякі типи НС (масштабні лісові пожежі зі значним задимленням, аварії з викидами небезпечних хімічних або радіоактивних речовин) супроводжуються шкідливими чинниками, що здатні завдати шкоди здоров'ю осіб вже під час проведення евакуації.

Тому зниження часу повної евакуації населення (при виключенні людських втрат) з одночасним зниженням можливої шкоди здоров'ю з боку шкідливих чинників НС є першочерговим завданням при проведенні процесу евакуації.

Успішність виконання цього завдання (ефективність евакуації) залежить від багатьох чинників. Їх врахування можливо за умов побудови відповідних моделей, що описують окремі складові процесу евакуації. Зокрема ефективність евакуації значною мірою визначається обранням маршрутів евакуації (які є складовою частиною плану евакуації).

В той же час для природно-техногенних НС (хімічних, радіаційних, бактеріологічних викидів) заздалегідь визначити шляхи евакуації можливо лише у деяких метеорологічних умовах за додаткових припущень про об'єм викиду [4-5], а у випадку загрози для НП з боку лісової пожежі це зробити взагалі неможливо, оскільки заздалегідь не відома конфігурація осередку і, у зв'язку з цим, – конфігурація і зв'язність транспортної мережі (переміщення по частині доріг може стати неможливим). В таких випадках альтернативою плану евакуації може стати оперативний план евакуації населення, який має розроблятися в режимі реального часу на основі поточної інформації про перебіг розвитку НС. Розробка такого плану можлива лише при створенні відповідного програмного забезпечення, в основі якого повинен лежати прогноз розвитку динамічної НС та математичні моделі знаходження оптимальних маршрутів. Наявність такого плану повинна значно підвищити ефективність процесу евакуації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [6] розглянуто модель зони безпеки населеного пункту у випадку поширення області ураження НС природного характеру. Модель може виявитися корисною для отримання критерію прийняття рішення про початок проведення евакуації.

В роботі [7] розглядається оптимізація процесу евакуації населення із зони ураження після радіаційної аварії. При цьому об'єкти забруднення та мережа автодоріг є незмінними на час проведення евакуації, тобто розрахунок відбувається на основні ретроспективної, а не прогностичної інформації.

В роботі [8] побудовано розвинену модель, що забезпечує планування евакуації населення міста, але так само не враховує динаміки НС та можливих змін в мережі доріг.

В літературі відсутні моделі евакуації населення при загрозі з боку динамічної області дії небезпечних чинників НС, тому актуальною є задача відшукування оптимальних маршрутів евакуації населення по мережі доріг з динамічною топологією.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є формалізація задачі знаходження оптимальних наземних маршрутів евакуації населення з динамічної зони ураження НС та визначення передумов її розв'язання.

Евакуація населення може відбуватися двома шляхами – спонтанно (із залученням власного автотранспорту громадян або пішки) та організовано (із залученням громадського автотранспорту або пішими колонами).

Підвищення ефективності процесу організованої евакуації можливо, якщо план евакуації буде містити в собі маршрути, які можуть бути знайдені на підставі розв'язання оптимізаційної задачі

$$w^* = \arg \left(\min_{w \in W(t)} (T(w), U(w)) \right), \quad (1)$$

де w^* - оптимальний маршрут; $T(w) = \max(\{t(w_i)\}_{i=1..I})$ - термін евакуації (визначається по завершенні останнього рейсу або виходу із зони ураження останньої колони); $U(w) = \max(\{u(w_i; t(w_i))\}_{i=1..I})$ - максимальний з рівнів зараження (опромінення) при прямованні i -им маршрутом; $W(t) = \{w_i\}_{i=1..I(t)}$ - множина всіх можливих маршрутів евакуації, що змінюється в часі за рахунок динаміки області НС; $t(w_i)$ - термін прямовання i -им маршрутом; $u(w_i; t(w_i))$ - індивідуальна доза зараження, отримання якої є наслідком евакуації i -им маршрутом; $I(t)$ - кількість маршрутів (залежить від динаміки області НС).

Складання плану евакуації відбувається з урахуванням нормативних обмежень на термін проведення евакуації та на прийнятний рівень ураження (отримання дози радіації, хімічної речовини) кожної особи, що підлягає евакуації та кожною особою особового складу, що проводить евакуацію, тому необхідно врахувати ряд обмежень

$$T(w) \leq T_n; \quad (2)$$

$$u(w_i; t(w_i)) \leq U_n, \quad \forall i = 1..I, \quad (3)$$

де T_n - нормативний час евакуації; U_n - прийнятний рівень зараження (опромінення).

Зрозуміло, що вимога до виконання цих обмежень залежно від динаміки $W(t)$ може зробити розв'язок задачі (1) неможливим. В цьому випадку пріоритетним є обмеження (3).

В разі евакуації НП у випадку загрози з боку лісової пожежі або катастрофічного підтоплення задача спрощується до

$$w^* = \arg \left(\min_{w \in W(t)} (T(w)) \right), \quad (4)$$

при обмеженні (2).

Вхідними даними для конкретизації задачі (1)-(3) та (2), (4) мають бути:

- місцезонашування населених пунктів у зоні НС;
- розподіл населення, що підлягає евакуації, по населених пунктах;
- мережа доріг у зоні НС, по якій прокладаються маршрути евакуації, та її властивості (пропускна спроможність, якість покриття, крутизна, звивистість тощо);
- залежності швидкості руху від властивостей доріг;
- наявні транспортні ресурси для проведення організованої евакуації;
- прогноз динаміки області НС – просторово-часової залежності концентрації $C = f(x; y; t)$ радіоактивних (хімічно небезпечних речовин) у випадку викиду (задача (1)-(3)) або контуру $L(x; y; t) = 0$ області НС у випадку розповсюдження лісової пожежі, катастрофічного підтоплення при руйнуванні гідрологічних споруд тощо (задача (2), (4));

- нормативні значення T_n і U_n .

Більшість вхідних даних містить у собі інформацію про просторове розташування, і тому для її опису зручно застосовувати можливості геоінформаційних систем (ГІС) [9].

Деякі з вхідних даних, у свою чергу, вимагають побудови допоміжних моделей, тому розв'язання задачі відшукування оптимальних маршрутів евакуації передбачає декілька етапів:

- розробку критерію прийняття рішення про початок проведення евакуації;
- розробку моделі динаміки доступної мережі доріг з урахуванням існуючих моделей динаміки області НС;
- розробку моделей маршрутів евакуації по доступній мережі доріг;
- розробку моделей швидкості руху по маршрутах;
- розробку моделі отримання радіаційної або хімічної дози при русі вздовж маршруту.

Математичний апарат, за допомогою якого планується розв'язання задачі, - дослідження операцій [10] та оптимізація на мережевих графах [11].

Ефективність евакуації по оптимальних маршрутах може бути оцінена в випадку розв'язку задачі (1)-(3) як

$$K_T = T(w^*)/T(w_p); \quad (5)$$

$$K_U = U(w^*)/U(w_p), \quad (6)$$

де w_p - маршрути евакуації, що містяться в існуючих планах евакуації.

Відповідно при розв'язку задачі (4), (2) ефективність може бути оцінена лише за допомогою (5).

Висновки. Питання підвищення ефективності евакуації населення в надзвичайних ситуаціях потребує подальшого вдосконалення і розвитку. Підвищення ефективності евакуації можливо за рахунок розробки науково – обґрунтованих планів евакуації, а саме – відшукування оптимальних маршрутів евакуації. Огляд літератури продемонстрував відсутність моделей, що дозволяють знайти оптимальні наземні маршрути евакуації у разі поширення області НС; у зв'язку з цим проблема є актуальною та потребує вирішення. Формалізовано задачу отримання оптимальних назем-

них маршрутів евакуації за критерієм мінімуму часу та мінімуму отриманого ураження з боку небезпечних чинників НС й намічено етапи розв'язання цієї задачі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про єдину державну систему запобігання і реагування на НС техногенного та природного характеру. Постанова КМУ № 1198, 1998 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1198-98-%EF>
2. Концепція захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій. Указ Президента України, 1999 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/txt/?doc=laws/laws/law284_99.
3. Про затвердження Положення про порядок проведення евакуації населення у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Постанова КМ України N 1432, 2001 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KP011432.html
4. Рудаков А.П. Гражданская оборона области./ А.П. Рудаков// - М.: Воениздат, 1986. – 167 с.
5. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Учебное пособие / Под ред. Фалеева М.И. - Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. – 259 с.
6. Абрамов Ю.А. Математическая модель зоны уязвимости объекта «заботы» поражающими факторами чрезвычайной ситуации. / Ю.А. Абрамов, О.А. Тарасенко // Пожежна безпека. Вип. 14. – Львів: АБЖ, 2009. – С. 67-73.
7. Глушкова В.В. Оптимизация процесса эвакуации населения в случае радиационной аварии / В.В. Глушкова, А.А. Седлецкий, Д.А. Седлецкий // Математические машины и системы. – 1998. - №1.– С. 89-94.
8. Косоруков О.А. Управляющая система проведения эвакуации из крупных городов на основе комплекса оптимизационных математических моделей / О.А. Косоруков, А.И. Овсяник, О.В. Виноградов // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: КГТУ. – 2006. - №6. – С. 163-169.
9. Кошкарев А.В. Геоинформатика / А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов. - М.: Картгеоцентр-Геоиздат, 1993. - 213 с.

10. Таха Х. Введение в исследование операций. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. - 912 с.
11. Алексеев В.Е. Графы. Модели вычислений. Структуры данных / В.Е. Алексеев, В.А. Таланов – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. - 307 с.

Беляев В.Ю.

Пути повышения эффективности эвакуации населения при чрезвычайных ситуациях

Формализована задача нахождения оптимальных наземных маршрутов эвакуации населения в случае расширения области поражения ЧС природного та природно-техногенного характера. Обозначены этапы решения указанной задачи.

Ключевые слова: динамическая область чрезвычайной ситуации, эвакуация населения, маршруты эвакуации

Belyaev V.U.

The ways to increasing the efficiency evacuation people in emergencies

Formalized the problem of finding optimal land routes of evacuation people in cases of extension the area of lesion natural and natural-technological emergencies. The stages of posed problem identified.

Key words: dynamic area of emergencies, evacuation people, evacuation routes