

ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТУ ЕКСТРЕНОЇ ЕВАКУАЦІЇ НАСЕЛЕННЯ У ВИПАДКУ НЕДОСЯЖНОСТІ АБО РУЙНУВАННЯ МЕРЕЖІ ДОРІГ

Для природно-техногенних надзвичайних ситуацій (НС) (хімічних, радіаційних, бактеріологічних викидів) заздалегідь визначити шляхи евакуації можливо лише у деяких метеорологічних умовах за додаткових припущень про об'єм викиду, а у випадку загрози для населеного пункту з боку лісової пожежі це зробити взагалі неможливо, оскільки заздалегідь невідома 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 [1].

Оптимізація маршруту по мережі доріг є вирішеною задачею, що використовується в сучасних навігаційних системах сумісно з ГІС [2-3]. В той же час, ця задача істотно відрізняється від задачі прокладки оптимального маршруту в умовах бездоріжжя, коли мережа доріг виявляється недосяжною в наслідок поширення вражаючих факторів НС. Така задача вимагає введення ряду обмежень, що не мають місця в першому випадку.

Задачі такого роду можна формулювати у континуальній та дискретній постановках. В першому випадку математичним апаратом є варіаційне числення, у другому – дослідження операцій та оптимізація на мережевих графах або застосування деяких специфічних алгоритмів, подібних до алгоритму «зустрічної хвилі» [4-5].

Застосування методів варіаційного числення при рішенні поставленої проблеми зв'язано із значними математичними труднощами, що обумовлюють вибір дискретних методів в якості альтернативи континуальним.

При розв'язанні реальної задачі виникає необхідність врахування топографічної основи місцевості. В цьому випадку найбільш прийнятною є модель [6-7].

На прямокутній області Ω , що картографується, введемо квадратні грати $S \times Q$. В цьому випадку масиви $\{x_s\}_{s=0..S}$ і $\{y_q\}_{q=0..Q}$ визначають абсциси і ординати ліній – меж комірок, що позначаються як Ω_{sq} . На кожній з елементарних областей Ω_{sq} введемо бікубічні сплайни

$$Z_{sq}(x, y) = \sum_{u=1}^4 \sum_{v=1}^4 a_{uv}^{sq} (x - x_s)^{v-1} (y - y_q)^{u-1}, \quad (1)$$

що описують поверхню рельєфу [8], коефіцієнти a_{uv}^{sq} яких отримано з умов гладкого зшивання $Z_{sq}(x, y)$ з сусідніми сплайнами.

Поєднуючи дані сплайни у вигляді

$$Z(x, y) = \sum_{s=0}^{S-1} \sum_{q=0}^{Q-1} Z_{sq}(x, y) (\eta(x - x_s) - \eta(x - x_{s+1})) (\eta(y - y_q) - \eta(y - y_{q+1})), \quad (2)$$

де $\eta(x), \eta(y)$ - функції Хевісайда, отримаємо всюди аналітичну модель поверхні рельєфу.

Введемо на Ω області заборони для руху $\Omega_i, i=1..I$ такі, що $\Omega_i \subset \Omega$ та які можуть бути заданими за допомогою векторно-функційної моделі місцевості [9]. У якості області заборони можуть виступати природні ділянки, що є непрохідними для конкретного виду автотранспорту, – заболочені або лісисті ділянки, водоймища і т.д. Крім того, це можуть бути ділянки розрахункових областей розповсюдження вражаючих факторів ЧС.

Можливість прокладки маршруту лімітується характером рельєфу місцевості – його крутизною

$$\alpha(x; y; \varphi) = \arctg(Z'_x(x; y) \cos \varphi + Z'_y(x; y) \sin \varphi; 1) \quad (3)$$

Вочевидь, що автотранспорт здатен рухатися лише в тих азимутальних напрямках, крутизна уздовж яких не перевищує певний рівень.

Введемо на даній області ортогональні квадратні ґрати з кроком Δ (ґрати також можуть бути три- і шестикутні). Вузли ґрат утворюють вершини мережевого графа, а ребра є його дугами з приписуванням ним вагами, фізичний зміст і значення яких визначаються видом функціонала, що мінімізується. Так, наприклад, одним з варіантів інтерпретації ваги W_k k -ого ребра може бути час руху уздовж нього транспортного засобу, функціональне залежний від кута схилу у напрямі руху φ

$$W_k = f(\alpha(x_k; y_k; \varphi_k)) \quad (4)$$

де $(x_k; y_k)$ - голова k -ого ребра.

В такій постановці мінімізація функціонала

$$\sum_k W_k \rightarrow \min \quad (5)$$

є рішенням задачі найскорішого прибуття автотранспорту з точки старту S в точку фінішу F .

Необхідно знайти маршрут руху $L = \{L_m\}$, де $m=1..M$ - множина номерів вершин (або дуг) мережевого графа, що входять в маршрут, який забезпечував би виконання умови (5).

Формалізація системи обмежень в цьому випадку виглядає таким чином:

1. $L_m \subset \Omega \forall m$ - знаходження маршруту області, що картографується;
2. $L_m \not\subset \Omega_i \forall m, i$ - непроходження маршруту через області заборони;
3. $\alpha_m \leq \alpha_{up} \forall m$ - заборона на рух автотранспорту вгору по схилу, кут якого

перевищує гранично допустимий α_{up} ;

4. $\alpha_m \geq \alpha_{down} \forall m$ - заборона на рух автотранспорту вниз по схилу, кут якого менше за гранично допустимий α_{down} ($\alpha_{down} < 0$);

5. $\alpha_m \leq |\alpha_{side}| \forall m$ - заборона на рух автотранспорту перпендикулярно схилу, якщо кут схилу перевищує гранично допустимий α_{side} .

Останні три обмеження пов'язано з безпекою автотранспорту (його стійкістю на поверхні рельєфу), при цьому значення гранично допустимих кутів визначаються ТТХ транспортного засобу (потужністю, місцеположенням центру мас, загальним технічним станом) і властивостями ґрунту уздовж маршруту.

Невиконання хоча б одного обмеження 3-5 для m -ого ребра рівнозначно привласненню його вазі W_m значення нескінченності.

Відзначимо, що в загальному випадку $\alpha_{up} \neq \alpha_{down}$ і, як правило $|\alpha_{side}| < \min(\alpha_{up}; -\alpha_{down})$, що приводить до нерівності значень ваги від вузла до сусіднього і навпаки. Таким чином, мережевий граф, що вводиться, є направленим.

Обмеження 2 означає, що вузли мережевого графа, що потрапили в будь-яку з областей Ω_i ізолюються, тобто вазі ребер, що сполучають даний вузол зі всіма сусідніми і навпаки, привласнюється значення ∞ . Ребра з нескінченною вагою з графа виключаються.

Знаходження оптимального маршруту із заданої точки старту в точку фінішу здійснимо, використовуючи алгоритм Дейкстри [4].

Здійснена програмна реалізація запропонованої моделі дозволяє, додаючи вазі W_k бажаний сенс, мінімізувати інші цільові функції. Так при виникненні небезпеки радіоактивного чи хімічного забруднення актуальною є мінімізація отриманої токсодози [10].

В наведеній постановці можливо знаходження оптимального маршруту руху автоколонни по бездоріжжю в умовах складної топографії місцевості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Беляєв В.Ю. Шляхи підвищення ефективності наземної евакуації населення при надзвичайних ситуаціях.....
2. Коба К.М. Моделі і методи розв'язання задач маршрутизації при ліквідації наслідків техногенних аварій. Автореф.....
3. Беляєв В. Ю., Тарасенко А.А. Нахождение оптимального маршрута эвакуации населения по существующей сети автодорог.....
4. Таха Х. Введение в исследование операций. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. - 912 с.
5. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. - 1296 с.

6. Абрамов Ю.А. Модель оптимальной маршрутизации при достижении очагов природных и природно-техногенных ЧС / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Науковий вісник будівництва. - 2009. - Вип. 51. – С. 262-265.
7. Абрамов Ю.А. Оптимизация маршрута движения в условиях пересеченной местности / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Науковий вісник будівництва. - 2009. - Вип. 52. – С. 401-407.
8. Абрамов Ю.А. Формирование априорной информации для системы ликвидации последствий чрезвычайной ситуации / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2007. - Вип. 6.– С. 11-22.
9. Тарасенко О.А. Математичне моделювання вихідних параметрів областей надзвичайних ситуацій / О.А. Тарасенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2008. - Вип. 8. - С. 185-193.
10. Светличная С.Д. Оценка полученной токсодозы при распространении первичного облака токсического вещества.....