

УДК 338.24 (075.8) 331:656.13:658.7

Ю.Н. Убайдуллаєв, Д.С. Караєв

МОДЕЛЬ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ПЛОЩИНІ З ЕВКЛІДОВОЮ МЕТРИКОЮ В ЗАДАЧАХ ОРГАНІЗАЦІЇ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МНС

Постановка проблеми. Теоретичним і практичним дослідженням питань автоматизації управління автотранспортним забезпеченням у сфері МНС присвячено значну кількість робіт. Дослідження, проведені в роботах, свідчать про те, що без використання добре розвинутого інформаційного ресурсу у вигляді сукупності документів в інформаційних системах (бібліотеках, архівах, базах (банках) даних тощо), досягнути ефективного управління і проведення рятувальних та інших невідкладних робіт за сучасних умов практично неможливо. Наявність і повнота інформаційного ресурсу стає таким же вирішальним чинником успіху, як і кількість та якість оперативно-рятувальних підрозділів МНС у ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (НС). Основними напрямками робіт, що присвячені питанням удосконалення управління оперативно-рятувальними підрозділами МНС та питанням автоматизації процесів управління, виконаних останнім часом, є розроблення гібридних експертних систем підтримки ухвалення рішення; розробка й обґрунтування рекомендацій з підвищення ефективності систем управління аварійно-рятувальними підрозділами на основі застосування засобів автоматизації

Проте, поряд з успішним рішенням деяких завдань у раніше проведених дослідженнях слабо вирішуються питання розробки нового чи вдосконалення існуючого спеціалізованого інформаційно-аналітичного забезпечення (ІАЗ) автоматизованих систем управління автомобільними перевезеннями з урахуванням планування і розміщення об'єктів на площині.

Аналіз досягнень і публікацій. Висока ефективність, використання методів та моделей для ІАЗ аварійно-рятувального автомобільного перевезення (АП) може бути досягнута, якщо будуть забезпечені такі умови: системний підхід до вирішення задачі, що розглядається; адекватність моделі реальній системі, об'єктивне врахування взаємозв'язку підсистем; гнучка багатоваріантність, тобто узгодженість матеріальних, транспортних, інформаційних та інших потоків; формування та оптимізація моделі реальної системи у взаємозв'язку забезпечення, зберігання, доставки матеріальних засобів; безперервність процесу впровадження моделі планування і розміщення об'єктів на площині; модель розміщення об'єктів на площині з безперервним простором рішень [1, 4-8].

Аналіз існуючих методів роботи органів управління [1-5] доводить, що при формуванні рішень посадові особи органів управління обробляють значні обсяги інформації, вирішують велику кількість розрахункових задач різної складності. Ці обставини вимагають формування кожного завдання планування і розміщення об'єктів і критеріїв оцінки можливих варіантів рішення.

Внаслідок досліджень інформаційних процесів штабів ліквідації наслідків НС при плануванні роботи встановлено [1-8], що подальше підвищення ефективності системи управління аварійно-рятувальними підрозділами може бути досягнуто на основі автоматизації процесів обґрунтування прийняття рішень посадовими особами штабу з урахуванням показників характеристик нових об'єктів і розміщення існуючих, взаємодії нових і існуючих об'єктів органів забезпечення та споживачів. Застосування методів і засобів нових інформаційних технологій при розробці перспективних АСУ

дозволить не тільки значно скоротити час циклу управління, але і підвищить якість рішень, що приймаються.

Ціль статті. Формулювання майже кожного завдання планування й розміщення об'єктів містить ті самі основні показники, які можуть бути використані для класифікації завдань отримання оптимальних варіантів здійснення АП. До таких показників відносяться характеристики нових об'єктів і розміщення існуючих, взаємодія нових і існуючих об'єктів, простір рішень, а також міра відстані між об'єктами (або метрика простору переміщень) і критерії оцінки можливих варіантів рішення.

Основна частина. Розглянемо кожний з перерахованих показників більш докладно.

Основним показником, що характеризує нові об'єкти, буде їх число. Крім того, залежно від розмірів кожний новий об'єкт можна розглядати або як точку, або як якийсь протяжний об'єкт. В останньому випадку керуючою змінною є форма об'єкта (або форма займаної ним площі) і задача розміщення зводиться до задачі планування. Нарешті, розміщення кожного нового об'єкта може залежати або не залежати від розміщення інших нових об'єктів.

Що стосується існуючих об'єктів, то вони також залежно від розмірів можуть розглядатися або як точка, або як протяжний об'єкт. Крім того, розміщення існуючих об'єктів може бути статичним або динамічним, детермінованим або стохастичним. Якщо розміщення існуючих об'єктів з керуючою змінною, то виникає задача перерозподілу, а якщо, крім того, керуючою змінною є форма займаної ними площі, то задача перепланування.

Взаємодія нових і існуючих об'єктів може виконувати функцію головного параметра задачі або керуючої змінної. У ряді випадків ступінь цієї взаємодії залежить від розміщення нових об'єктів, причому характер взаємодії може бути статичним або динамічним, детермінованим або стохастичним.

Простір рішень може бути одномірним, дво- або тривимірним (найчастіше виникають два останні випадки). Крім того, він може бути дискретним або безперервним. У першому випадку для розміщення нових об'єктів є кінцеве число місць, у той час як у другому випадку, тобто коли простір передбачається безперервним, існує нескінченне число місць для розміщення нових об'єктів.

Міра відстані (або метрика простору переміщення) також ураховується при формулюванні завдань розміщення. Іноді, як наближена оцінка фактичних відстаней обчислюються евклідові відстані, в інших випадках доводиться вимірювати й зберігати фактичні відстані для проведення наступних обчислень.

Вибір критерію оцінки можливих рішень істотно залежить від того, по якому показнику проводити оптимізацію: оптимальним можна вважати рішення, що приводить до мінімізації загальних витрат; у іншому випадку - визначальним критерієм є максимізація державної вигоди. За винятком задач покриття, задачі планування й розміщення, як правило, зводяться до мінімізації зваженої суми відстаней або мінімізації максимальної зваженої відстані між об'єктами [4-8].

Складемо задачу розміщення. Нехай m існуючих об'єктів розміщені в різних точках P_1, \dots, P_m площини, а n нових об'єктів - у точках X_1, \dots, X_n . Відстань між точками розташування j -го нового й i -го існуючих об'єктів позначимо як $d(X_j, P_i)$, відстань між точками розташування j -го і k -го нових об'єктів - як $d(X_j, X_k)$.

Позначимо питомі витрати (тобто витрати на одиницю відстані) на перевезення між j -м новим і i -м існуючими об'єктами через W_{ji} , а аналогічні витрати на перевезення між j -м і k -м новими об'єктами - через v_{jk} . Тоді загальні транспортні витрати, пов'язані з розміщенням нових об'єктів у точках X_1, \dots, X_n будуть визначатися формулою

$$f(X_1, \dots, X_n) = \sum_{1 \leq j < k \leq n} v_{jk} d(X_j, X_k) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_{ji} d(X_j, P_i) \quad (1)$$

Багатоелементна задача розміщення може бути сформульована як задача вибору такого розташування нових об'єктів у точках X_1^*, \dots, X_n^* , при якому мінімізуються загальні транспортні витрати.

При такому підході задача розміщення декількох об'єктів на площині з евклідовою метрикою складається в мінімізації цільової функції

$$f(X_1, \dots, X_n) = \sum_{1 \leq j < k \leq n} v_{jk} \sqrt{[(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2]} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_{ji} \sqrt{[(x_j - a_i)^2 + (y_j - b_i)^2]} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $X_j = (x_j, y_j)$ і $P_i = (a_i, b_i)$.

Необхідною умовою оптимальності розміщення нових об'єктів є рівність нулю (або зміна знака) часткових похідних функції $f(X_1, \dots, X_n)$ по X_1, \dots, X_n .

Часткові похідні $f(X_1, \dots, X_n)$ по X_1, \dots, X_n дорівнюють відповідно

$$\frac{\partial f}{\partial x_j} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n \frac{v_{jk}(x_j - x_k)}{D_{jk}} + \sum_{i=1}^m \frac{w_{ji}(x_j - a_i)}{E_{ji}}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (3)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y_j} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n \frac{v_{jk}(y_j - y_k)}{D_{jk}} + \sum_{i=1}^m \frac{w_{ji}(y_j - b_i)}{E_{ji}}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (4)$$

де $D_{jk} = \sqrt{[(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2]}$, $E_{ji} = \sqrt{[(x_j - a_i)^2 + (y_j - b_i)^2]}$.

Помітимо, що якщо j -й і k -й нові об'єкти розташовані в одній точці ($D_{jk}=0$) і j -й новий і i -й існуючий об'єкти розташовані в одній точці ($E_{ji}=0$), то часткові похідні $\frac{\partial f}{\partial x_j}$

та $\frac{\partial f}{\partial y_j}$ - не визначені.

Геометрично кожна складова цільової функції являє собою рівняння прямого кругового конуса. Отже, рівняння являє собою суму конусів, вершини яких є точками розриву похідних, що утворюють усічену поверхню. Так як конус з граничною формою гіперболоїда, то, замінюючи конуси гіперболоїдами, одержимо гладку апроксимуючу функцію \hat{f} . Більше того, оскільки функції, що описують гіперболоїди, є строго опуклими, то функція \hat{f} також строго опукла за умови, що принаймні один ваговий множник (коефіцієнт) W_{ji} більше нуля для кожного j -го об'єкта.

Рівняння гіперболоїда із центром у точці (a_i, b_i) на площині $E_n = \{x, y\}$ може бути записане у вигляді

$$\hat{f} = w_{ji} \sqrt{[(x_j - a_i)^2 + (y_j - b_i)^2]} + \varepsilon.$$

Можна побачити, що додавання константи є відповідає заміні вершини конуса на гладку гіперболоїчну поверхню, і отже, часткові похідні існують повсюди. Крім того, чим менше величина ε , тим точніше гіперболоїд апроксимує конус.

Приймаючи, що

$$D_{jk} = \sqrt{[(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2]} + \varepsilon; \quad E_{ji} = \sqrt{[(x_j - a_i)^2 + (y_j - b_i)^2]} + \varepsilon,$$

можна сформулювати нову задачу оптимізації як задачу мінімізації цільової функції вигляду

$$f(X_1, \dots, X_n) = \sum_{1 \leq j < k \leq n} v_{jk} \widehat{D}_{jk} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_{ji} \widehat{E}_{ji} \rightarrow \min, \quad (5)$$

де $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \widehat{f}(X_1, \dots, X_n) = f(X_1, \dots, X_n)$.

При дуже малих значеннях константи ε рішення рівняння (5) майже аналогічно рішенню рівняння (1).

Беручи часткові похідні \widehat{f} по x_j , і y_j прирівнюючи їх до нуля та вирішуючи відносно x_j , і y_j , отримуємо наступні ітераційні формули:

$$x_j^{(h+1)} = \frac{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n \frac{v_{jk} x_k^{(h)}}{\widehat{D}_{jk}^{(h)}} + \sum_{i=1}^m \frac{w_{ji} a_i}{\widehat{E}_{ji}^{(h)}}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n \frac{v_{jk}}{\widehat{D}_{jk}^{(h)}} + \sum_{i=1}^m \frac{w_{ji}}{\widehat{E}_{ji}^{(h)}}}, \quad (6)$$

$$y_j^{(h+1)} = \frac{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n \frac{v_{jk} y_k^{(h)}}{\widehat{D}_{jk}^{(h)}} + \sum_{i=1}^m \frac{w_{ji} b_i}{\widehat{E}_{ji}^{(h)}}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n \frac{v_{jk}}{\widehat{D}_{jk}^{(h)}} + \sum_{i=1}^m \frac{w_{ji}}{\widehat{E}_{ji}^{(h)}}}, \quad (7)$$

де верхні індекси позначають номер ітерації.

Відомо, що якщо рішення сходиться, то це рішення оптимальне. Хоча не доведено, що вирази (6) і (7) завжди дають збіжне рішення, однак при великій кількості експериментальних рішень, отриманих методом гіперболічної апроксимації, не спостерігалось жодного випадку, коли рішення не сходилося. Вирази (6) і (7) можна звести до ітераційних виразів, які використовуються у градієнтних методах пошуку, однак величина кроку при гіперболічній апроксимації не оптимальна.

Для випадку одного об'єкта й при $\varepsilon = 0$ вирази (6) і (7) зводяться відповідно до вигляду

$$x_j^{(h+1)} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{w_i a_i}{E_i^{(h)}}}{\sum_{i=1}^m \frac{w_{ji}}{E_i^{(h)}}}, \quad x_j^{(h+1)} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{w_i b_i}{E_i^{(h)}}}{\sum_{i=1}^m \frac{w_i}{E_i^{(h)}}}. \quad (8), (9)$$

У наданому вигляді математична модель легко реалізується на ПЕОМ.

Висновки. Таким чином, основними вимогами, які висуваються до планування і розміщення об'єктів на площині з евклідовою метрикою в задачах організації матеріально-технічного забезпечення МНС слід вважати:

- інваріантність інформації, що використовується для визначених рівнів управління;
- відповідність структури інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління АП вимогам управління;
- охоплення усієї території для внесення в бази даних;
- безперервність ведення баз даних та їх системна єдність з моніторингом;
- наочність баз даних, яка досягається чіткою системою ведення документації та сучасними системами геоінформаційного картографування;
- оперативність, стійкість, безперервність, прихованість, надійність, гнучкість, дублювання важливих ланок, захищеність, які дають можливість оцінити модель

оцінки розміщення об'єктів на площині з евклідовою метрикою в задачах організації матеріально-технічного забезпечення МНС.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Болотських М.В. Склад, завдання та організація взаємодії сил цивільного захисту, координація дій під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру/ М.В. Болотських // Матеріали 10-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції "Організація управління в надзвичайних ситуаціях". – 2008. – С. 5–9.
2. Грешимов А.А. Математические методы принятия решений/ А.А. Грешимов.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 584 с.
3. Убайдуллаев Ю.Н. Модель графопобудови маршрутів руху транспорту та сил при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій/ Ю.Н. Убайдуллаев, В.В. Демченко, Д.С. Караєв//Прикладна геометрія та інженерна графіка.– Київ, 2008. – Вип.80. – С. 520–525.
4. Убайдуллаев Ю.Н. Етапи процесу формування рішення автомобільних перевезень для забезпечення та захисту населення і об'єктів при надзвичайних ситуаціях. / Ю.Н. Убайдуллаев, В.В. Демченко, Д.С. Караєв// Матеріали НТК "Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності МНС України"/ УЦЗУ. – Харків, 2008. – С.171–172.
5. Убайдуллаев Ю.Н. Основні методи аналізу та прогнозування ризиків в проблемах забезпечення безпеки та захисту населення та об'єктів економіки/ Ю.Н. Убайдуллаев, В. В. Барбашин, Д.С. Караєв// Матеріали НТК "Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності МНС України"/ УЦЗУ. – Харків, 2008. – С.176–177.
6. Убайдуллаев Ю.Н. Обоснование выбора критериев оценки эффективности процесса управления автомобильными перевозками в условиях ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций/Ю.Н.Убайдуллаев, Д.С. Караєв // Материалы XV Международной НТК "Информационная среда ВУЗа"/ Иван. гос. архит.-строит. акад. – Иваново (РФ), 2008. – С.704–707.
7. Убайдуллаев Ю.Н. Модель оцінки впливу вдосконалення системи інформаційно-аналітичного забезпечення управління автомобільними перевезеннями на процес організації матеріально-технічного забезпечення МНС / Ю.Н. Убайдуллаев, Д.С. Караєв // Вестник ХНТУ.– Херсон: ХНТУ, 2010.– Вып. 3(39).– С.472-476.
8. Убайдуллаев Ю.Н. Модель оцінки ефективності вирішення завдань автомобільних перевезень за часом, трудовитратами та вартістю / Ю.Н. Убайдуллаев, Д.С. Караєв // "Прикладна геометрія та інженерна графіка". – Київ: 2010. – С. 166–171.

УБАЙДУЛЛАЄВ Юсуфжон Нуруллаєвич – кандидат технічних наук, професор Національного університету оборони України.

Наукові інтереси:

– математичне та експериментальне моделювання технологічних та фізичних процесів та явищ, застосування математичних методів в технічних системах.

КАРАЄВ Денис Серверович – аспірант кафедри прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури.

Наукові інтереси:

– математичне та комп'ютерне моделювання явищ і процесів, математичні методи в технічних задачах і системах керування.