

УДК 355.4

А. А. Побережний, С. А. Горелишев, О. М. Сальников

## **ВИКОРИСТАННЯ ГЕОПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ У ВИЗНАЧЕННІ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ПЕРЕДИСЛОКАЦІЇ ВОРЕзу ВНУТРІШНІХ ВІЙСЬК ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГРОМАДСЬКОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ МАСОВИХ ЗАХОДІВ**

*У статті на підставі аналізу відомих підходів до вибору раціонального маршруту за допомогою алгоритмів пошуку найкоротших шляхів розроблена методика використання геопросторової інформації у розрахунку оптимального плану передислокації ВОРезу внутрішніх військ для забезпечення громадської безпеки під час проведення масових заходів.*

*К л ю ч о в і с л о в а: геопросторова інформація, план передислокації, критерій, орієнтація за вартістю, оптимізація за часом.*

Одним із завдань внутрішніх військ МВС України є участь в охороні громадського порядку, забезпечення громадської безпеки та боротьба зі злочинністю. Складником цього завдання є надання допомоги органам внутрішніх справ ГУМВС України з охорони громадського порядку під час проведення масових заходів. Для цього за відповідним наказом Міністра внутрішніх справ України від внутрішніх військ у розпорядження МВС України може виділятися угруповання сил та засобів у вигляді військового оперативного резерву (ВОРез), зведеного загону або оперативного резерву Міністра внутрішніх справ України.

Виконання поставленого завдання нерозривно пов'язане з переміщенням (передислокацією) певної кількості особового складу військових частин, зброї, матеріальних засобів територією держави з місць їх постійної дислокації до місць проведення масового заходу [1].

**Постановка проблеми.** Розрахунок сил та засобів, що братимуть участь у забезпеченні громадського порядку під час виконання службово-бойового завдання (СБЗ), проводять з урахуванням такого: категорії масового заходу (збори, мітинг, демонстрація, вулична хода, концерт тощо); масштабності заходу, що планується провести (в межах міста, району, області або держави, із залученням відомих політиків, популярних артистів); заявленої (прогнозованої) кількості осіб, що братимуть участь у масовому заході; рівня криміногенної обстановки в місцях проведення заходу; рівня політичного протистояння між політичними організаціями; рівня міжетнічних та сепаратистських настроїв; місця проведення заходу (центральна площа міста, імпровізована тимчасова сцена для естрадних виконавців у місті чи за його межами, центральні вулиці населеного пункту, стадіон тощо).

Від оперативних і злагоджених дій військ на етапі передислокації ВОРезу (зведеного загону) до міста проведення масового заходу значно залежить ефективність (якість) виконання поставленого завдання [2].

Якість передислокації ВОРезу в будь-яких умовах визначається здатністю командирів і штабів на етапі планування маршу враховувати вплив характеристик місцевості, приймати найкращі для даних умов рішення і втілювати їх у життя. Стислі терміни і великий обсяг інформації, яку необхідно обробляти, висувають все більш жорсткі вимоги до роботи штабів.

Показником якості при цьому вважається ефективність здійснення передислокації ВОРезу в умовах, що склалися (з мінімальними втратами, за мінімальний час). Тому для вдосконалення процесу планування передислокації ВОРезу і підвищення ефективності роботи штабів необхідно розробити нові підходи до його організації, з більш широким урахуванням природних факторів і використанням сучасних геоінформаційних технологій.

На жаль, план передислокації ВОРезу внутрішніх військ сьогодні складають способами, які, в основному, орієнтовані на інтуїцію досвідчених офіцерів та проведення допоміжних розрахунків вручну.

Розроблення методики складання оптимального плану передислокації ВОРезу внутрішніх військ з використанням геоінформаційних систем (ГІС) дозволить значно скоротити час на проведення розрахунків та отримати оптимальний план за визначеним критерієм.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз службово-бойової діяльності внутрішніх військ показав, що на вибір головного правила (критерію оптимізації), за яким ведеться

пошук оптимального плану передислокації, впливає низка факторів: *рівень складності оперативної обстановки* в певних регіонах країни, *фактор часу* та *фактор вартості* – загальні витрати, пов'язані з перевезенням необхідної кількості сил та засобів внутрішніх військ до місць проведення масових заходів. Ця задача оптимізації віднесена до задач багатокритеріальної оптимізації [3–5]. Її розв'язування на основі розроблення математичної моделі залучення ВОРезу було розглянуто у роботі [6].

На вибір оптимального плану передислокації також впливають характеристики рельєфу та звивистості доріг, умови прохідності, спостереження, маскування, кліматичні та погодні умови, тактико-технічні характеристики техніки. Врахування цих характеристик дозволить підвищити точність прогнозування часових і вартісних показників та визначити раціональні маршрути передислокації, відповідно до заданого критерію оптимізації. Методики використання геопросторової інформації (інформації, яка визначає просторове місцезоположення і характеристики природних і штучних об'єктів на місцевості [7]) для визначення раціональних маршрутів пересування частин та підрозділів сухопутних військ наведені у роботах [8] та [9].

**Метою статті** є розроблення методики розрахунку оптимального плану передислокації ВОРезу з урахуванням геопросторової інформації.

**Виклад основного матеріалу.** Складання оптимального плану передислокації ВОРезу ВВ МВС України можливо виконувати за одним з двох критеріїв оптимізації [6]:

- 1) критерієм оптимізації за вартістю;
- 2) критерієм оптимізації за часом.

Перший критерій пропонується застосовувати, коли дата проведення заходу заздалегідь відома і фактично немає обмежень на час доставлення особового складу до місця (місць) призначення. В цьому випадку природною є мінімізація сумарних коштів, що будуть витрачені на виконання поставленого СБЗ.

Другий критерій варто застосовувати у випадку, коли підготовка до виконання СБЗ проводиться в обмежений час, і головним фактором є найменший час доставлення всіх необхідних сил та засобів ВОРезу з областей (регіонів) держави у місце (місця) проведення масового заходу (масових заходів).

Такі задачі відносяться до розподільних задач транспортного типу. Припустимо, що у складанні оптимального плану передислокації військ можуть брати участь  $m$  військових частин  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , кожна з яких може виділити до складу ВОРезу військ  $a_1, a_2, \dots, a_m$  військовослужбовців відповідно.

Масові заходи проводяться у  $n$  містах  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , на забезпечення проведення яких потрібно виділити  $b_1, b_2, \dots, b_n$  військовослужбовців відповідно. Нехай  $C_{ij}$  ( $i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$ ) – вартість доставлення одного військовослужбовця з пункту дислокації військової частини  $A_i$  до пункту проведення масового заходу  $B_j$ ;  $X_{ij}$  ( $i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$ ) – кількість військовослужбовців військової частини  $A_i$ , які можуть взяти участь у забезпеченні проведення масового заходу в місті  $B_j$ .

Зрозуміло, що мінімізації підлягає величина  $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij}$ , яка дорівнює сумарним витратам на

доставлення всіх військовослужбовців з усіх військових частин до місця (місць) проведення масових заходів за певного плану передислокації військ.

Кожному плану передислокації військ відповідає матриця  $\|X_{ij}\|_{m \times n}$ .

Задача є прикладом відкритої моделі транспортної задачі, тому що  $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$ . Сумарна

чисельність за списком військовослужбовців усіх військових частин, які беруть участь у забезпеченні проведення масових заходів, перевищує сумарну загальну кількість військовослужбовців, потрібних для забезпечення їх проведення. Відомі методи розв'язування транспортної задачі застосовуються для замкненої (або збалансованої) моделі транспортної задачі, тобто для моделі, в якій виконується

$$\text{умова } \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j.$$

Незбалансовану модель транспортної задачі можна звести до збалансованої моделі шляхом введення фіктивного місця проведення масового заходу  $B_{n+1}$ , для проведення якого потрібно

$$b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \text{ військовослужбовців. У цьому випадку величини } X_{i,n+1} \text{ означають кількість}$$

військовослужбовців військової частини  $A_i$ , які не будуть задіяні у проведенні масових заходів.

Збалансована математична модель задачі оптимізації плану передислокації військ за критерієм найменшої вартості має такий вигляд [6]:

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n+1} C_{ij} \cdot X_{ij} \longrightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} X_{ij} = a_i, (i = 1, \dots, m); \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j, (j = 1, \dots, n+1); \quad (3)$$

$$X_{ij} \geq 0, (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n+1); \quad (4)$$

$$C_{i,n+1} = 0, (i = 1, \dots, m). \quad (5)$$

Відомі методи розв'язування транспортної задачі застосовуються для її замкненої моделі. Тому в подальшому при розв'язуванні задачі оптимізації ми будемо говорити тільки про місця проведення масових заходів, не звертаючи уваги на те, є вони реальними місцями проведення масових заходів чи фіктивними.

Друга задача належить до моделі транспортної задачі з критерієм оптимізації за часом. Дана модель не є моделлю задачі лінійного програмування тому, що цільова функція не є лінійною.

Час передислокації визначається матрицею перевезень  $\|t_{ij}\|_{m \times n}$ , де  $t_{ij}$  – час доставлення одного військовослужбовця з пункту дислокації військової частини  $A_i$  до пункту проведення масового заходу  $B_j$ . У цій задачі оптимальним є такий план передислокації військ  $\|X_{ij}\|_{m \times n}$ , якому відповідає мінімальний час перевезення усієї необхідної кількості військовослужбовців. Математичний вираз критерію вибору оптимального розв'язку має вигляд:

$$T = \max_{\substack{i=1, \dots, m \\ j=1, \dots, n \\ X_{ij} > 0}} (t_{ij}) \longrightarrow \min. \quad (6)$$

Одним з шляхів удосконалення процесу побудови оптимального плану передислокації військ є розроблення методики визначення раціональних маршрутів пересування сил і засобів на місцевості за відповідним критерієм на основі використання геопросторової інформації.

Розв'язання цієї задачі має два складники: перший – підготовка даних та побудова мережі доріг, другий – вибір раціонального маршруту на даному тактичному фоні [10].

Дороги в геоінформаційних системах, у тому числі у ГІС “Інструмент”, яка розроблена в Академії внутрішніх військ відповідно до українського класифікатора, представлені окремим шаром карти. Кожна ділянка дороги є лінійним об'єктом. Кінці цих об'єктів відповідають перехрестям, поворотам доріг, місцям зміни дорожнього покриття, кількості смуг тощо, тобто будь-яким змінам інформації в класифікаторі. Крім того, карта представлена набором номенклатурних листів, і на краях кожного листа карти з'являються додаткові розриви відрізків доріг.

Таке подання інформації, за якого всі ділянки дороги є окремими відрізками, не придатне для пошуку раціонального маршруту переміщення об'єктів, тому що ці відрізки не з'єднані між собою. Необхідно побудувати мережу доріг, яка може бути представлена у вигляді ненаправленого графа.

Основна відмінність мережі доріг полягає в тому, що вона має впорядковане й однозначне розташування вершин графа. У мережі доріг вершинами графа є вузли, що виникають у таких місцях:

- початок і кінець окремої дороги;
- зміна покриття дороги, кількості смуг або інших параметрів, що впливають на швидкість пересування на даній ділянці дороги;
- перехрестя доріг.

У процесі побудови мережі доріг необхідно алгоритмічно виконувати два основних завдання: приймати рішення про з'єднання дотичних відрізків і відшукувати невідмічені перетини доріг. Побудову мережі доріг доцільно провести один раз для всієї території України, а урахування обмежень на пересування обраними типами доріг: блокування проїзду (обвалений міст, завал на дорозі), несприятливі ділянки для проїзду (радіаційне зараження, складна криміногенна обстановка тощо) виконувати за допомогою фільтрації.

На побудованій мережі доріг відшукують раціональний маршрут для конкретної тактичної обстановки. Теоретичною основою розроблення алгоритмів та програм пошуку раціональних маршрутів пересування сил і засобів є відомі алгоритми пошуку найкоротших шляхів у графах [11].

*Математичне формулювання задачі пошуку оптимального маршруту за критерієм вартості.* Введемо такі параметри:  $m$  – кількість вершин графа пересувань;  $M = \{1, 2, \dots, m\}$  – множина вершин графа пересувань;  $S \in M$  – номер початкової вершини маршруту;  $r \in M$  – номер кінцевої вершини маршруту;

$C_{kq}$  – умовна вартість пересування  $((k, q) \in M \times M = M^2)$ ;  
 $C = \{C_{kq}\}, (k, q) \in M^2$  – матриця пересувань;  $C(Y) = \sum_{k=1}^m \sum_{q=1}^m C_{kq} y_{kq}$  – вартість доставлення одного

військовослужбовця за маршрутом  $Y$ .

$$C_{kq} = \begin{cases} C_{kq}, & \text{якщо пересування елементарним шляхом } (k, q) \text{ можливе,} \\ \infty, & \text{якщо пересування елементарним шляхом } (k, q) \text{ не можливе;} \end{cases}$$

$$Y = \{y_{kq}\}, \text{ де } y_{kq}^{(1)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо дуга } (k, q) \text{ належить маршруту,} \\ 0 & \text{у протилежному випадку;} \end{cases} \quad (k, q) \in M^2.$$

Математична постановка задачі про шлях найменшої вартості має вигляд: знайти вектор  $Y^{(0)} = \{y_{kq}^{(0)}\}$  такий, що

$$C(Y^{(0)}) = \min_{Y \in \Omega} \{C(Y)\} = \sum_{k=1}^m \sum_{q=1}^m C_{kq} y_{kq}^{(0)}, \quad (7)$$

де 
$$\Omega = \left\{ Y = \{y_{kq}\} : y_{kq} \geq 0, (k, q) \in M^2; \sum_{q=1}^m y_{kq} - \sum_{q=1}^m y_{qk} = \begin{cases} 1, & k = s \\ 0, & k \in M \setminus \{s, r\} \\ -1, & k = r \end{cases} \right\}, \quad (8)$$

$$y_{kq}^{(0)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо дуга } (k, q) \text{ належить маршруту найменшої вартості;} \\ 0 & \text{у протилежному випадку;} \end{cases} \quad (k, q) \in M^2.$$

Вважаємо, що мережа має декілька маршрутів із вузла  $s$ , що є початковим пунктом, у вузол  $r$ , який розглядається як кінцевий пункт. Потрібно відшукати найкоротший маршрут.

Для визначення оптимального плану передислокації ВОРезу внутрішніх військ за критерієм часу необхідно знайти час пересування елементарним шляхом. Швидкість руху ВОРезу залежить від багатьох факторів: енергетичного потенціалу рухомого об'єкта (РО), тобто від його енергетичної забезпеченості, від характеристик ґрунту, по якому пересується РО (асфальт, ґрунтова дорога, бетонне покриття, бездоріжжя, болотиста, гірська, лісиста, щільна чагарникова місцевість тощо), від

пори року та кліматичних умов, від перепадів висоти, від ваги та габаритів техніки, що використовується.

Для кожної точки елементарного шляху  $(k, q)$  відома її висота над рівнем моря  $H(l')$ ,  $l' \in [0; l_{kq}]$ , значення якої зберігається у ГІС. Крім того, необхідно знати тактико-технічні характеристики транспортного засобу: середню швидкість руху по горизонтальній поверхні на місцевості із заданим типом ґрунту (дорожнього покриття)  $V_0$ , максимальний кут підйому  $\beta_{\max}$ , мінімальний кут спуску  $\beta_{\min}$ .

Швидкість транспортного засобу  $V(l')$  залежить від виду дорожнього покриття та крутизни місцевості, тобто від кута схилу (підйому)  $\beta(l')$ . Всі ці дані також є в геоінформаційній системі, і їх урахування дозволяє отримати більш точний результат.

Кут підйому (схилу) дорожнього полотна визначається функцією:

$$\beta(l) = \arctg\left(\frac{H(l + dl) - H(l)}{dl}\right) = \arctg\left(\frac{d}{dl} H(l)\right). \quad (9)$$

Обмежимося квадратичною апроксимацією функції  $V(\beta)$ . До неї висувають такі вимоги:

$$V(\beta_{\max}) = 0; \quad V(0) = V_0; \quad \frac{dV(0)}{d\beta} = 0; \quad V(\beta_{\min}) = V_{\max}; \quad \beta_{\max} > 0; \quad \beta_{\min} < 0. \quad (10)$$

Їх задовольняє функція:

$$V(\beta) = \begin{cases} V_1(\beta), & 0 \leq \beta \leq \beta_{\max}, \\ V_2(\beta), & \beta_{\min} \leq \beta < 0, \\ 0, & \beta \notin [\beta_{\min}, \beta_{\max}], \end{cases} \quad (11)$$

де

$$V_1(\beta) = V_0 \cdot \left(\frac{\beta_{\max}^2 - \beta^2}{\beta_{\max}^2}\right), \quad V_2(\beta) = \frac{V_0 \beta_{\min}^2 + (V_{\max} - V_0) \beta^2}{\beta_{\min}^2}. \quad (12)$$

Таким чином, час пересування РО по шляху, довжина якого  $L$ , у визначених умовах дорівнює:

$$T_{kq} = \int_0^{L_{kq}} \frac{dl}{V(\beta(l))} = \begin{cases} \frac{\beta_{\max}^2}{V_0} \int_0^{L_{kq}} \frac{dl}{\beta_{\max}^2 - \left(\arctg\left(\frac{d}{dl} H(l)\right)\right)^2}, & 0 \leq \beta \leq \beta_{\max}, \\ \beta_{\min}^2 \int_0^{L_{kq}} \frac{dl}{V_0 \beta_{\min}^2 + (V_{\max} - V_0) \left(\arctg\left(\frac{d}{dl} H(l)\right)\right)^2}, & \beta_{\min} \leq \beta < 0, \end{cases} \quad (13)$$

де  $T_{kq}$  – час пересування по елементарному шляху  $(k, q)$ .

Отримані дані про шлях найменшої вартості або мінімальний час перевезення військовослужбовців від місця дислокації до місця проведення масових заходів зводяться в матрицю перевезень. Потім елементи цієї матриці використовуються як вихідні дані для розрахунків передислокації ВОРезу військ за одним із двох наведених вище критеріїв оптимізації.

## Висновок

Використання геопросторової інформації у сукупності з математичними методами розрахунку передислокації ВОРезу внутрішніх військ дозволяє оцінити вплив місцевості на планування маршруту підрозділів, що значно покращує точність прогнозування часових показників маршруту, та визначити оптимальний маршрут за обраним критерієм. Це дозволяє підвищити оперативність та ефективність рішень, які приймають.

## Список використаних джерел

1. Довбня, В. В. Особливості інформаційного забезпечення у внутрішніх військах МВС України [Текст] / В. В. Довбня // Честь і закон. – 2009. – № 4. – С. 4–12.
2. Про питання щодо перетворення внутрішніх військ МВС України у невійськове формування з правоохоронними функціями [Електронний ресурс] : указ Президента України від 18 серпня 2003 р № 863. – Режим доступу : [www/URL:http://ua-info.biz/legabaseye/ua-cmwhce.htm](http://www/URL:http://ua-info.biz/legabaseye/ua-cmwhce.htm) (дата звернення : 15.06.12). – Назва з екрана.
3. Демидов, Б. А. Методы военно-научных исследований [Текст] / Б. А. Демидов. – Х. : ВИРТА, 1987. – Ч. 2. – 486 с.
4. Бабков, Ю. П. Математична модель визначення оптимального плану передислокації військового оперативного резерву з урахуванням складності оперативної обстановки в зонах відповідальності частин [Текст] / Ю. П. Бабков, В. М. Бацамут, М. М. Медвідь // Честь і закон. – 2004. – № 3. – С. 14–17.
5. Бацамут, В. М. Автоматизація процесу прийняття рішення на застосування сил військ при ускладненні оперативної обстановки [Текст] / В. М. Бацамут, С. А. Бабак, О. П. Добраниця // Честь і закон. – 2005. – № 3. – С. 11–17.
6. Розробка математичної моделі залучення сил військ для забезпечення громадської безпеки під час проведення масових заходів [Текст] : звіт про науково-дослідну роботу (шифр – “Підтримка-Р”) / Академія ВВ МВС України; кер. Ю. П. Бабков, вик. В. М. Бацамут. – Інв. 3. – Х., 2005. – 35 с.
7. Про затвердження Державної науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 16.01.2003 р. № 37. – Режим доступу: [www/URL: http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1413-2009-п](http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1413-2009-п) (дата звернення: 20.06.2012). – Назва з екрана.
8. Литвиненко, Н. І. Задачі аналізу місцевості для нейтралізації впливу фізико-географічних факторів на ефективність пересування рухомих об’єктів [Текст] / Н. І. Литвиненко, А. А. Побережний // Честь і закон. – 2009. – № 2. – С. 40–44.
9. Литвиненко, Н. І. Застосування ГІС для організації переміщень підрозділів військ (сил) [Текст] / Н. І. Литвиненко // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології : матеріали XII Міжнар. наук.-техн. симпозіуму, 10–15 верес. 2007 р. – Алушта, 2007. – С. 103–107.
10. Побережний, А. А. Методика пошуку раціонального маршруту за допомогою геоінформаційної системи [Текст] / А. А. Побережний, С. А. Горелишев, О. М. Сальников // Наукове забезпечення службово-бойової діяльності ВВ МВС України : зб. тез доп. IV наук.-практ. конф., Харків, 22 лют. 2012 р. – Х. : Акад. ВВ МВС України. – С. 80–81.
11. Оре, О. Теория графов [Текст] / О. Оре. – М. : Наука, 1980. – 336 с.

*Стаття надійшла до редакції 26.07.2012 р.*