

УДК 623.6:519.852.33

Л.В. Польшина, М.П. Батуринський, З.З. Закіров, А.Л. Ковтунов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОД ПОБУДОВИ ГРАФУ ДОРІГ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ДАНИХ ПРО МОСТОВІ СПОРУДИ ТА ЗАЛІЗНИЧНІ СТАНЦІЇ

*В статті розробляється метод побудови графу доріг з інтеграцією даних про мостові споруди та залізничні станції. Запропонований метод дозволяє інтегрувати лінійні та точкові просторові об'єкти вихідної цифрової карти у граф доріг, де точність подання даних не нижча за точність вихідної цифрової карти та забезпечувати якісне рішення задачі розрахунку маршрутів руху.*

**Ключові слова:** цифрова карта, неорієнтований простий граф, алгоритм пошуку найкоротшого шляху у зв'язаних графах, метод побудови графу доріг.

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз літератури.

Під час проведення командно-штабних навчань (тренувань) (КШН(Т)) у штабі Командування та в штабах об'єднань Повітряних Сил Збройних Сил України використовується комплексна система розіграшу бойових дій «Віраж-РД», яка включає програмне забезпечення серверу повітряної наземної і заводової обстановки та програмне забезпечення робочих місць начальників родів військ Повітряних Сил (РТВ, ЗРВ, авіації), начальника управління (відділу) розвідки, начальника оперативного управління (відділу) та робоче місце начальника матеріально-технічного забезпечення.

Для забезпечення оперативності отримання результатів розрахунку маршрутів та можливості застосування відомих алгоритмів пошуку найкоротших шляхів у зв'язаних графах необхідно розробити метод побудови графу доріг з інтеграцією даних про мостові споруди та залізничні станції, який дозволяє інтегрувати лінійні та точкові просторові об'єкти вихідної цифрової карти у граф доріг, де точність подання даних не нижча за точність вихідної цифрової карти та забезпечувати якісне рішення задачі розрахунку маршрутів руху.

### Основний матеріал

Основною складовою вихідних даних при рішенні задач моделювання дій Повітряних Сил в системі розіграшу бойових дій «Віраж РД» є цифрова карта України у спеціальному обмінному форматі MIF, який реалізує векторну форму подання географічних даних. Формат цієї карти, її поділ на окремі листи та розміщення даних ускладнює її використання у розрахунках оптимального маршруту перевезення матеріальних засобів та ОВТ залізничним транспортом і (або) автомобільними колонами.

Основною вимогою при розрахунку оптимального маршруту перевезення матеріальних засобів, ОВТ є забезпечення вирішення завдання у визначені терміни. На етапі розробки було прийняте рішення

про проведення розрахунків у два етапи. На етапі підготовки даних здійснюється завантаження цифрової карти у обмінному форматі MIF, визначення даних, що необхідні для розрахунків оптимального маршруту, їх аналіз та перетворення у зручну для розрахунків форму, подальше збереження їх у файлах двійкового формату, що дозволить скоротити час завантаження.

На етапі проведення тренувань безпосередні користувачі системи – особи командного складу підрозділів ПС ЗСУ – можуть оперативно задати параметри для розрахунку маршруту та отримати результат у необхідний термін оскільки при обчисленні використовуються дані сформовані на попередньому етапі.

Вихідними даними для розрахунку оптимального маршруту перевезення матеріальних засобів, ОВТ автомобільними колонами є:

- характеристики автошляхів, мостових споруд і проїжджих гребель;
- координати вихідного пункту та пункту призначення;
- швидкості колони у залежності від типу дороги;
- маса найважчого транспортного засобу у колоні;
- критерій пошуку маршруту (мінімізація часу або відстані).

Вихідними даними для розрахунку найкоротшого маршруту перевезення матеріальних засобів, ОВТ залізничним транспортом є:

- характеристики залізниць, залізничних станцій, вокзалів, мостових споруд та проїжджих гребель, по яким проходить залізничне полотно;
- залізничні станції завантаження та розвантаження;
- час необхідний на завантаження та розвантаження.

У відповідності до перелічених вихідних даних з цифрової карти була виділена наступна необхідна для розрахунку інформація.

Множина точкових і лінійних географічних об'єктів, що представляють мостові споруди і греблі:

$$Q = \{q_m\}, m = \overline{1, M}, \quad (1)$$

де  $q_m$  – ідентифікатор  $m$ -ої мостової споруди (греблі);

$M$  – кількість точкових і лінійних географічних об'єктів, що представляють мостові споруди і греблі на цифровій карті.

Були визначені характеристики мостових споруд та гребель і кожному елементу  $q_m \in Q$  поставили у відповідність кортеж:

$$q_m = \langle c_m, h_m, l_m, w_m, \mu_m, g_m, \chi_m, \Pi_m \rangle, \quad (2)$$

де  $c_m \in C_{\text{міст}}$  – класифікаційний код  $m$ -ої мостової споруди (греблі);

$C_{\text{міст}}$  – множина класифікаційних кодів мостових споруд і гребель, що включає: 3211 – гребля, 62311 – міст на загальній прольотній основі, 62312 – міст на роз'єднаній основі, 62313 – міст двоярусний, 62314 – міст підйомний або розвідний, 62315 – міст наплавний, 62316 – міст цепний або канатний, 62317 – міст простий, 6232 – шляхопровід, 6234 – естакада;

$h_m$  – відносна висота  $m$ -ої мостової споруди (греблі), м;

$l_m$  – довжина  $m$ -ої мостової споруди (греблі), м;

$w_m$  – ширина  $m$ -ої мостової споруди (греблі), м;

$\mu_m$  – код матеріалу  $m$ -ої мостової споруди (греблі): 0 – нема даних, 1 – бетонний, 2 – залізобетонний, 3 – металевий, 4 – камінний, 5 – дерев'яний, 6 – земляна гребля;

$g_m$  – вантажопідйомність  $m$ -ої мостової споруди (греблі), т;

$\chi_m$  – код стану (використовується тільки для гребель): 0 – нема даних; 8 – проїжджа; 9 – непроїжджа;

$\Pi_m$  – впорядкована множина кінцевих та поворотних точок  $m$ -ї мостової споруди (греблі) заданих географічними координатами.

Множина точкових географічних об'єктів, що представляють вокзали і залізничні станції:

$$S = \{s_n\}, n = \overline{1, N}, \quad (3)$$

де  $s_n$  – ідентифікатор  $n$ -го залізничної станції (вокзалу);

$N$  – кількість точкових географічних об'єктів, що представляють вокзали і залізничні станції на цифровій карті.

Були виділені характеристики вокзалів та залізничних станцій і кожному елементу  $s_n \in S$  поставили у відповідність кортеж:

$$s_n = \langle c_n, \eta_n, P_n \rangle, \quad (4)$$

де  $c_n \in C_{\text{стан}}$  – класифікаційний код  $n$ -ї залізничної станції (вокзалу);

$C_{\text{стан}}$  – множина класифікаційних кодів залізничних станцій і вокзалів, що включає: 62131 – залізнична станція, 62120 – вокзал;

$\eta_n$  – особиста назва  $n$ -ї залізничної станції (вокзалу);

$P_n$  – точка  $n$ -ї залізничної станції (вокзалу) задана географічними координатами.

Визначені характеристики вокзалів і залізничних станцій були збережені у двійковій файлі FileStancia.dat.

Множина лінійних географічних об'єктів, що представляють дороги:

$$D = \{d_k\}, k = \overline{1, K}, \quad (5)$$

де  $d_k$  – ідентифікатор  $k$ -ї дороги;

$K$  – кількість лінійних географічних об'єктів, що представляють дороги на цифровій карті.

Були виділені характеристики доріг і кожному елементу  $d_k \in D$  поставили у відповідність кортеж:

$$d_k = \langle c_k, \Pi_k \rangle, \quad (6)$$

де  $c_k \in C_a \cup C_3$  – класифікаційний код  $k$ -ї дороги;

$C_a$  – множина класифікаційних кодів автодоріг, що включає: 612 – автомобільна дорога, 6121 – автострада, 6122 – вдосконалене шосе, 6123 – шосе, 613 – ґрунтова дорога, 6131 – поліпшена ґрунтова дорога, 6132 – ґрунтовий пугівець, 6133 – польова чи лісова дорога;

$C_3$  – множина класифікаційних кодів залізниць, що включає: 6111 – залізниця, 61111 – ширококолійна залізниця, 6112 – станційний шлях, 6113 – тупик;

$\Pi_k$  – впорядкована множина поворотних і кінцевих точок  $k$ -ї дороги заданих географічними координатами.

Задача розрахунку оптимального маршруту перевезення матеріальних засобів, ОВТ між початковим пунктом і пунктом призначення полягає у визначенні або найкоротшого шляху, або шляху, що забезпечує найкоротший час його проїзду. Для вирішення цієї задачі можуть бути застосовані відомі алгоритми пошуку найкоротших шляхів у зважених графах: алгоритм Беллмана-Форда [1] для графів з ребрами від'ємної ваги; алгоритм Флойда-Уоршелла [2] для пошуку найкоротшої відстані між усіма парами вершин графу; алгоритм Джонсона [2] також націлений на пошук найкоротшої відстані між усіма парами вершин графу, але працює тільки на графі без циклів з від'ємною вагою; алгоритм Дейкстри [1, 2] для графів без петель і без ребер

від'ємної ваги, що дозволяє знаходити найкоротшу відстань від однієї вершини графа до усіх інших.

З метою використання відомих алгоритмів пошуку оптимального шляху розроблена форма подання даних (1 – 6) у вигляді зваженого поміченого плоского неорієнтованого простого графу без ребер від'ємної ваги:

$$G = (V, E), \quad (7)$$

де  $V = \{v_i\}$ ,  $i = \overline{1, I}$  – множина вершин, де  $I$  – кількість вершин графу  $G$ ;

$E = \{e_{ij}\}$ ,  $i, j = \overline{1, I}$  – множина ребер.

Вершини графу  $G$  представляють особливі пункти на дорогах: кінцеву точку, точку зміни типу дороги, перехрестя, мостове спорудження, греблю, залізничну станцію, вокзал. Кожній вершині  $v_i \in V$  поставлений у відповідність кортеж характеристик:

$$v_i = \langle P_i, a_i, q_i, s_i \rangle, \quad (8)$$

де  $P_i$  – точка дороги задана географічними координатами  $(x_i, y_i)$ , яку представляє  $i$ -а вершина;

$(x_i, y_i)$  – координати  $i$ -ї вершини;

$a_i$  – мітка  $i$ -ої вершини. Отримує своє значення під час виконання алгоритму пошуку найкоротшого шляху;

$q_i \in Q \cup \{0\}$  – ідентифікатор мостової споруди (греблі), яку представляє  $i$ -а вершина. Якщо вершина не представляє ні мостову споруду, ні греблю, то  $q_i = 0$ ;

$s_i \in S \cup \{0\}$  – ідентифікатор залізничної станції (вокзалу), яку представляє  $i$ -а вершина. Якщо вершина не представляє ні залізничну станцію, ні вокзал, то  $s_i = 0$ .

Ребра графу  $G$  представляють ділянки доріг між особливими пунктами, що представлені вершинами. Кожному ребру  $e_{ij} \in E$  поставлений у відповідність кортеж характеристик:

$$e_{ij} = \langle (v_i, v_j), \ell_{ij}, d_{ij}, c_{ij}, q_{ij}, \Pi_{ij} \rangle, \quad (9)$$

де  $(v_i, v_j)$  – пара вершин  $v_i, v_j \in V$  інцидентних ребру  $e_{ij}$ ;

$\ell_{ij}$  – вага ребра  $e_{ij}$ . У залежності від обраного критерію оптимізації це або довжина ділянки дороги, яку представляє ребро  $e_{ij}$ , або час необхідний на її подолання;

$d_{ij} \in D$  – ідентифікатор дороги, ділянку якої представляє ребро  $e_{ij}$ ;

$c_{ij} \in C_a$ , або  $c_{ij} \in C_3$  – класифікаційний код дороги, ділянку якої представляє ребро  $e_{ij}$ ;

$q_{ij} \in Q \cup \{0\}$  – ідентифікатор мостової споруди (греблі), яку представляє ребро  $e_{ij}$ . Якщо ребро не представляє ні мостову споруду, ні проїжджу греблю, то  $q_{ij} = 0$ .

$\Pi_{ij}$  – впорядкована множина поворотних точок ділянки дороги, яку представляє ребро  $e_{ij}$ , заданих географічними координатами. Якщо ділянка пряма, то  $\Pi_{ij} = \emptyset$ . Якщо ділянка зигзагувата, то  $\Pi_{ij} \neq \emptyset$ .

Розроблений метод дозволяє із множини доріг  $D(5, 6)$  побудувати графі автодоріг  $G_a$  та залізниць  $G_3$ , які мають вид (7 – 9), з наступною інтеграцією у обидва графи даних із множини мостових споруд і гребель  $Q(1, 2)$ , а у  $G_3$  ще і даних із множини вокзалів і залізничних станцій  $S(3, 4)$ .

На першому етапі виконуємо зчитування з текстових файлів формату MIF характеристик географічних об'єктів, що представляють дороги (5, 6), виділення підмножини об'єктів з потрібним класифікаційним кодом, та побудова графу  $G_1$ :

$$G_1 = (V_1, E_1), \quad V_1 = \{v_i\}, \quad E_1 = \{e_{ij}\}, \quad i, j = \overline{1, I_1}; \quad (10)$$

$$v_i = \langle P_i, a_i = 0, q_i = 0, s_i = 0 \rangle; \quad (11)$$

$$e_{ij} = \langle (v_i, v_j), \ell_{ij} = 0, d_{ij}, c_{ij}, q_{ij} = 0, \Pi_{ij} = \emptyset \rangle, \quad (12)$$

де  $I_1$  – кількість вершин (порядок) графу  $G_1$ ;  $c_{ij} \in C_a$ , якщо будуємо  $G_a$ ;  $c_{ij} \in C_3$ , якщо будуємо  $G_3$ .

Граф  $G_1$  будуємо наступним чином. У кожній точці  $P_k \in \Pi_k$  кожного лінійного об'єкту  $d_k = \langle c_k, \Pi_k \rangle \in D$ , який пройшов фільтрацію за класифікаційним кодом  $c_k$ , утворюємо нову вершину, визначаємо їй кортеж (11) та додаємо її до графу  $G_1$ . Ці вершини з'єднуємо відповідно  $\Pi_k$  у простій ланцюг ребрами. Кожному ребру визначаємо кортеж (12), у якому класифікаційний код типу дороги приймає значення  $c_k$ , а ідентифікатор дороги – значення  $d_k$ .

Кількість компонент простого графу  $G_1$  дорівнює кількості географічних об'єктів, що представляють або автодороги, якщо будуємо  $G_a$ , або залізницю, якщо будуємо  $G_3$ .  $G_1$  – є неплоский, оскільки має ребра, що перетинаються [3].

З метою зменшення компонент зв'язності графу  $G_1$  на другому етапі проведемо злиття пар його вершин  $v_i, v_j \in V_1$  для яких виконується:

$$|x_i - x_j| \leq \Delta_1; \quad |y_i - y_j| \leq \Delta_1, \quad (13)$$

де  $(x_i, y_i)$ ;  $(x_j, y_j)$  – координати вершин  $v_i$  і  $v_j$  відповідно;

$\Delta_1$  – відхилення, що враховує неточність склеювання аркушів вихідної топографічної карти. Емпірично було отримано:  $\Delta_1 = 0.0003^\circ$ . По широті це приблизно 33 м, по довготі – 22 м, що узгоджується з граничною точністю масштабу вихідної карти.

У результаті отримуємо неплоский простий граф  $G_2 = (V_2, E_2)$ ,  $V_2 = \{v_i\}$ ,  $E_2 = \{e_{ij}\}$ ,  $i, j = \overline{1, I_2}$ , де  $I_2 \leq I_1$  – порядок  $G_2$ .

З метою додавання у граф  $G_2$  даних про перехрестя на третьому етапі виконується розрахунок координат точок перетину прямих ділянок доріг представлених ребрами графу з додаванням у граф нових вершин утворених у цих точках та підрозбиттям ребер.

У результаті отримуємо плоский простий граф  $G_3 = (V_3, E_3)$ ;  $V_3 = \{v_i\}$ ;  $V_3 \supset V_2$ ;  $E_3 = \{e_{ij}\}$ ;  $i, j = \overline{1, I_3}$ , де  $I_3 \geq I_2$  – порядок  $G_3$ .

З метою інтегрування у граф  $G_3$  даних про залізничні станції (вокзали) представлені точковими географічними об'єктами (3) – (4) а також мостові споруди (проїжджі греблі) представлені точковими і лінійними географічними об'єктами (1) – (2) на наступних четвертому та п'ятому етапах проводимо просторовий аналіз тополого-геометричних характеристик цих об'єктів і елементів графу  $G_3$  і встановлюємо зв'язок між ними шляхом визначення елементів графу  $G_3$  відповідних ідентифікаторів [4]. За потребою додаємо у граф  $G_3$  нові вершини і підрозбиваємо ребра.

Вважаємо що до об'єкту, тополого-геометрична характеристика якого – точка  $P$ , з усіх вершин найближчою є така  $v_t$ , що відстань між нею і точкою  $P$  найменша і не перевищує наперед задану величину  $\Delta_2$ :

$$v_t = \arg \min_{v_i \in V_3} f_1(P, v_i); \quad f_1(P, v_t) \leq \Delta_2, \quad (14)$$

де  $P$  – точка, задана географічними координатами;

$f_1$  – функція розрахунку відстані у метрах між заданою географічними координатами точкою і будь-якою вершиною;

$\Delta_2$  – максимально допустима відстань від лінійного об'єкту, що представляє ділянку дороги, до точкового об'єкту, що пов'язаний з цією дорогою.

Вважаємо що до об'єкту, тополого-геометрична характеристика якого – точка  $P$ , з усіх ребер множини  $E_3$  найближчим є таке  $e_{tu}$ , що відстань між ним і точкою  $P$  є найменшою і не перевищує наперед задану величину  $\Delta_2$ :

$$e_{tu} = \arg \min_{e_{ij} \in E_3} f_2(P, e_{ij}); \quad f_2(P, e_{tu}) \leq \Delta_2. \quad (15)$$

де  $f_2$  – функція розрахунку відстані у метрах між заданою географічними координатами точкою і ребром.

Четвертий етап. Виконуємо тільки при побудові графу залізниць  $G_3$ . При побудові графу автодоріг  $G_a$  визначимо  $G_4 = G_3$  і переходимо до п'ятого етапу.

Реальні будівлі станцій та вокзалів як правило розміщені на деякій відстані від залізничного полотна і тому на цифровій карті точкові об'єкти, що їх представляють, теж знаходяться на деякій відстані від лінійних об'єктів, що представляють залізниці. Проаналізувавши вихідний картографічний матеріал приймаємо припущення, що будівля залізничної станції (вокзалу) не може бути розташована далі ніж  $\Delta_2 = 400$  м від залізничного полотна  $\Delta_2$  також враховує середню похибку положення об'єктів місцевості на вихідній цифровій карті, що складає 100 – 200 м.

Для кожного точкового об'єкту  $s_n \in S$  згідно (14), (15) шукаємо найближчий елемент графу  $G_3$ . Якщо не знаходимо, то переходимо до іншого об'єкту множини  $S$ . Якщо найближчою є вершина  $v_t \in V_3$ , то їй визначаємо ідентифікатор залізничної станції (вокзалу)  $s_n$ . Якщо найближчим є ребро  $e_{tu} \in E_3$ , то у основі перпендикуляру опущеному з точки  $P_n \in s_n$  на відрізок  $[P_t P_u]$ , що задає пряму ділянку дороги представлену ребром  $e_{tu}$ , утворюємо нову вершину, а ребро  $e_{tu}$  підрозбиваємо на два ребра інцидентних їй. Новій вершині визначаємо ідентифікатор залізничної станції (вокзалу)  $s_n$ .

При побудові графу залізниць  $G_3$  результатом четвертого етапу є плоский простий граф  $G_4 = (V_4, E_4)$ ;  $V_4 = \{v_i\}$ ;  $V_4 \supset V_3$ ;  $E_4 = \{e_{ij}\}$ ;  $i, j = \overline{1, I_4}$ , де  $I_4 \geq I_3$  – порядок  $G_4$ . Кортежі елементів графу містили значення ідентифікаторів залізничних станцій (вокзалів) з множини  $S$  (3).

П'ятий етап. Об'єкти множини  $Q$  можуть бути як точковими так і лінійними. Реальні мостові споруди і ділянки доріг, що проходять по ним, обов'язково співпадають, але на вихідній цифровій карті тополого-геометричні характеристики цих об'єктів часто не співпадають внаслідок похибки цифрової карти.

Проаналізувавши вихідний картографічний матеріал прийняте припущення, щодо максимально допустимих відстаней між об'єктом, що представляє ділянку дороги, яка проходить по мостовій споруди (проїжджій греблі) і об'єктом, що представляє цю споруду:

а) якщо об'єкт точковий, то  $\Delta_2 = 80$  м, що не перевищує 100 м – середню похибку положення на

вихідній цифровій карті чітко виражених на місцевості об'єктів;

б) якщо об'єкт лінійний, то кінці прямої ділянки мостової споруди не повинні бути далі ніж  $\Delta_3 = 20$  м від відрізка дороги, що проходить по цій мостовій споруді. 20 м є граничною точністю масштабу вихідної карти.

Точкові об'єкти, що представляють мостові споруди (проїжджі греблі) прив'язували до елементів графу  $G_4$  подібно тому, як на попередньому етапі прив'язували точкові об'єкти, що представляють залізничні станції (вокзали).

Розглянемо лінійний об'єкт  $q_m \in Q$ , тополого-геометрична характеристика якого – впорядкована множина  $\Pi_m = \{P_1, \dots, P_{T_m}\}$ . Вважаємо що будь-яка пряма ділянка мостової споруди (греблі) представлена парою сусідніх точок  $P_t, P_{t+1} \in \Pi_m$  відповідає прямій ділянці дороги між точками  $P_i, P_j$ , що представлена ребром  $e_{ij} \in G_4$ , якщо відстані від точок  $P_t, P_{t+1}$  до прямої  $(P_i P_j)$  не перевищують наперед задану величину  $\Delta_3$  і якщо хоча б одна проекція цих точок на пряму  $(P_i P_j)$  належить відрізку  $[P_i P_j]$ :

$$\begin{aligned} |P_t A_t| \leq \Delta_3, \quad |P_{t+1} A_{t+1}| \leq \Delta_3, \quad A_t \in [P_i P_j], \\ \text{або } A_{t+1} \in [P_i P_j], \quad \text{або } A_t \in [P_i P_j] \text{ і } A_{t+1} \in [P_i P_j], \end{aligned} \quad (16)$$

де  $P_i, P_j$  – кінці прямої ділянки дороги представлені ребром  $e_{ij}$ ;  $A_t; A_{t+1}$  – проекції точок  $P_t, P_{t+1}$  на пряму  $(P_i P_j)$  відповідно.

Результатом п'ятого етапу є плоский простий граф  $G_5 = (V_5, E_5)$ ;  $V_5 = \{v_i\}$ ;  $V_5 \supset V_4$ ;  $E_5 = \{e_{ij}\}$ ;  $i, j = \overline{1, I_5}$ , де  $I_5 \geq I_4$  – порядок  $G_5$ . Кортежі елементів графу містили значення ідентифікаторів мостових споруд і проїжджих гребель з множини  $Q$  (1).

Граф  $G_5$  має вершини, що представляють перехрестя (вершини ступеня два і більше) і шляхопроводи водночас (не нульовий ідентифікатор мостової споруди). Це суперечить реальності оскільки призначенням шляхопроводу зокрема є пропускання однієї дороги над іншою. З метою усунення цієї неточності на шостому етапі проводимо розщеплення таких вершин.

При цьому виникають складнощі у прийнятті рішення яка дорога іде по шляхопроводу, а яка під ним. Були зроблені наступні припущення:

а) якщо вершина має ступінь три, вважаємо що основна дорога іде по шляхопроводу, на який є виїзд з другорядної дороги і він співпадає з кінцем шляхопроводу. До вершини операцію розщеплення не застосовуємо;

б) якщо вершина має ступінь чотири і більше, вважаємо що по шляхопроводу йде дорога вища за типом, наприклад: автострада над шосе, шосе над ґрунтовою і т. ін. До вершини застосовуємо операцію розщеплення.

При розщепленні оточення вершини розбиваємо на дві підмножини, перша з яких містить дві вершини, що з'єднані з нею ребрами або з не нульовим значенням ідентифікатору мостової споруди, якщо такі є, або з однаковими значеннями ідентифікатору дороги, а друга – усі інші.

Результатом цього (шостого) етапу є плоский простий граф  $G_6 = (V_6, E_6)$ ;  $V_6 = \{v_i\}$ ;  $V_6 \supset V_5$ ;  $E_6 = \{e_{ij}\}$ ;  $i, j = \overline{1, I_6}$ , де  $I_6 \geq I_5$  – порядок  $G_6$ .  $I_6$  може бути досить великим. Наприклад, при побудові графу  $G_a$ :  $I_6 \approx 1,3 \cdot 10^6$ , а при побудові графу  $G_3$ :  $I_6 \approx 0,09 \cdot 10^6$ . Тому реалізація алгоритму пошуку найкоротшого шляху на такому графі потребуватиме великих апаратних затрат, а час пошуку може не задовольнити режим реального часу.

З метою зменшення порядку графа  $G_6$  при збереженні необхідної інформації на сьомому заключному етапі здійснюємо пошук вершин ступеня два та злиття двох інцидентних їм ребер.

Якщо знаходимо вершину ступеня два інцидентні ребра якої представляли ділянки дороги одного типу (однакові значення класифікатору типу дороги), крім того ця вершина і ребра представляли ту саму мостову споруду (греблю) або не представляли жодного (однакові значення ідентифікатору мостової споруди), то до цих ребер застосовуємо операцію злиття.

У результаті отриманий плоский простий граф виду (7), (9), порядок якого дозволяє застосовувати його при пошуку найкоротшого шляху в режимі реального часу. Наприклад, при побудові графу  $G_a$ :  $I \approx I_6 / 4$ , а при побудові графу  $G_3$ :  $I \approx I_6 / 8,5$ .

За допомогою викладеного методу були побудовані граф автодоріг  $G_a$  та граф залізниць  $G_3$ .

## Висновки

Для забезпечення оперативності отримання результатів розрахунку маршрутів та можливості застосування відомих алгоритмів пошуку найкоротших шляхів у зважених графах розроблено метод побудови графу доріг з інтеграцією даних про мостові споруди та станції, який дозволяє інтегрувати лінійні та точкові просторові об'єкти вихідної цифрової карти у граф доріг, де точність подання даних не нижча за точність вихідної цифрової карти та забезпечувати якісне рішення задачі розрахунку маршрутів руху начальником матеріально-технічного забезпечення.

**Список літератури**

1. Касьянов В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 1104 с.

2. Алгоритмы: построение и анализ – 2-е изд. / Х. Томас Кормен и др. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – С. 1296.

3. Харари Ф. Теория графов / пер. с англ. и предисл. В.П. Козырева; под ред. Г.П. Гаврилова. Изд. 2-е. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 296 с.

4. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Ю.Б. Баранов, А.М. Берлянт, Е.Г. Капранов, А.В. Кошкарев, Б.Б. Серапинас, Ю.А. Филиппов. – М.: ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.

Надійшла до редколегії 4.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.П. Лещенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ГРАФА ДОРОГ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ДАННЫХ  
О МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ**

Л.В. Польшина, М.П. Батурицкий, З.З. Закиров, А.Л. Ковтунов

*В статье разрабатывается метод построения графа дорог с интеграцией данных о мостовых сооружениях и железнодорожных станциях. Предложенный метод позволяет интегрировать линейные и точечные пространственные объекты исходной цифровой карты в граф дорог, где точность представления данных не ниже точности исходной цифровой карты и обеспечивать качественное решение задачи расчета маршрутов движения.*

**Ключевые слова:** цифровая карта, неориентированный простой граф, алгоритм поиска кратчайшего пути во взвешенных графах, метод построения графа дорог.

**A METHOD FOR CONSTRUCTING A GRAPH OF ROADS WITH THE INTEGRATION  
OF DATA ON THE BRIDGE AND RAILWAY STATIONS**

L.V. Pol'schina, M.P. Baturinskiy, Z.Z. Zakirov, A.L. Kovtunov

*The article is developed a method to construct the graph of roads with the integration of data on the bridge with-  
оружениях and railway stations. The proposed method enables the integration of linear and point spatial objects of digital maps  
in the graph of roads, where the accuracy of the conception of the data is not below the accuracy of the original digital maps and  
provide high-quality solution of the problem of calculating routes.*

**Keywords:** digital card, simple undirected graph, algorithm for finding the shortest path in the weighted graphs, a method  
for constructing the graph of roads.