

УДК 004.021
DOI: 10.31891/2219-9365-2019-64-16

БОРОВИК Л. В., ТРАСКОВЕЦЬКА Л.М., БОРОВИК О. В.

Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький, Україна

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ КОЛОНИ ТЕХНІКИ ПО НЕОДНОРІДНІЙ МЕРЕЖІ ДОРІГ, ЙОГО ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ В ЗАДАЧІ РОЗМІЧЕННЯ ВІДПОВІДНОГО ГРАФА

Задача організації руху колони техніки є оптимізаційною, складовими якої є задача визначення оптимального складу колони та задача встановлення доцільного маршруту її руху. Розв'язування другої із вказаних задач може здійснюватись за різними критеріями ефективності. Одним із найбільш важливих критеріїв є критерій мінімізації часу переміщення колони. Він відіграє особливо важливу роль при переміщенні колони військової техніки, до складу якої входить значна кількість сил і засобів. Вказана задача тісно пов'язана з задачею розміщення графа мережі доріг, для якої запропоновано метод і алгоритм вирішення. Однак існуючий метод обмежений у застосуванні в силу відсутності інструментарію визначення швидкості руху колони у довільній точці маршруту. Зважаючи на те, що ця швидкість може бути різною навіть в одній і тій же точці в залежності від моменту часу перебування в цій точці колони, актуальності набуває задача встановлення швидкості руху колони техніки у фіксований момент часу у фіксованій точці в залежності від визначальних характеристик руху.

У роботі розроблено інструментальні основи методу розміщення графа мережі доріг, по якій здійснюється рух колони техніки, які дозволяють повноцінно застосовувати його для вирішення задачі визначення оптимального шляху на заданій мережі доріг між двома заданими точками в залежності від моменту початку руху колони техніки та з урахуванням швидкісних характеристик руху кожного транспортного засобу на окремих ділянках маршруту руху. Їх складають метод визначення швидкості руху колони техніки по неоднорідній мережі доріг, його програмно-алгоритмічне забезпечення та прийом застосування для розміщення відповідного графа.

Метод визначення швидкості руху колони техніки базується на застосуванні сплайн-апроксимації кубічними поліномами Ерміта даних, що характеризують дискретні значення швидкостей транспортних засобів зі складу колони у фіксованих точках, і методів математичного аналізу.

Програмно-алгоритмічне забезпечення запропонованого методу виконане на мові програмування системи комп'ютерної математики MatLab. Програма реалізується script-файлом і двома function-файлами. У script-файлі обробляється вхідна інформація, апроксимуються функції швидкості, будуються графіки і передається управління на процедури-функції. Процедура-функція Spoly визначає коефіцієнти полінома Ерміта. Функція Grafu здійснює розміщення графа у відповідності до підходу, що визначається обґрунтованим методом.

Ключові слова: Програмно-алгоритмічне забезпечення, рух, колона техніки, мінімізація часу.

BOROVYK L., TRASKOVETSKA L., BOROVYK O.

National Academy of State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Khmelnytsky, Ukraine

METHOD OF DETERMINING THE SPEED OF MOVEMENT OF A COLUMN OF TECHNIQUE ON THE UNIFORMOUS NETWORK OF ROADS, ITS SOFTWARE AND ALGORITHMIC SUPPLY

The task of organizing the movement of the column of technique is optimization, which is the task of determining the optimal composition of the column and the task of establishing the appropriate route of its movement. The second of these tasks can be accomplished by different performance criteria. One of the most important criteria is the criterion of minimizing the movement time of a column. It plays a particularly important role in the movement of the column of military equipment, which includes a considerable amount of forces and means. This task is closely related to the task of charting the road network graph, for which the method and algorithm of the solution are proposed. However, the existing method is limited in application due to the lack of tools to determine the speed of the column at any point of the route. Given that this velocity may be different even at the same point depending on the time of stay at this point of the column, the task of establishing the speed of movement of the column of technology at a fixed moment at a fixed point depending on the defining characteristics of the movement becomes relevant.

In this work, the instrumental bases of the method of positioning the road network graph are developed, which is used to move the column of equipment, which allow it to be fully used to solve the problem of determining the optimal path on a given network of roads between two given points, depending on the moment when the column of machinery begins to move and taking into account the speed characteristics. the movement of each vehicle on separate sections of the route. They consist of a method of determining the speed of movement of a column of equipment on an inhomogeneous road network, its software-algorithmic software and methods of application for marking the corresponding graph.

The method of determining the velocity of the column of technology is based on the use of spline approximation by Hermite cubic polynomials of data characterizing the discrete values of velocities of vehicles from the composition of the column at fixed points, and methods of mathematical analysis.

The software of the proposed method is executed in the programming language of MatLab computer mathematics. The program is implemented by a script file and two function files. The script file processes the input information, approximates the speed functions, builds graphs, and transfers control to the function procedures. The Spoly procedure determines the Hermite polynomial coefficients. The Grafu function distributes the graph according to an approach that is determined by a valid method.

Keywords: Software-algorithmic coverage, motion, power column, time minimization.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із важливих завдань, які вирішуються при організації переміщення колони техніки, є визначення оптимального маршруту її руху. Розв'язування цієї задачі може здійснюватись за різними критеріями ефективності. Одним із найбільш важливих критеріїв є критерій мінімізації часу переміщення колони. Він відіграє особливо важливу роль при переміщенні колони військової техніки, до складу якої входить значна кількість сил і засобів. При цьому, їх переміщення в основному здійснюється автомобільною та бронетанковою технікою. Техніка відіграє вирішальну роль у забезпеченні своєчасного прибуття підрозділів у визначений район. Саме цим обумовлюється те, що задачі організації маршруту за критерієм мінімізації часу переміщення колони приділяється увага ряду дослідників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням, що стосується організації маршруту колони техніки, приділена увага, зокрема, в працях [1-5]. У цих роботах аналізу піддавалися різні аспекти організації маршруту. Зокрема, такі як формування оптимального складу колони, вибір оптимального маршруту руху техніки, оцінка ефективності руху колони техніки.

Друга із вказаних задач тісно пов'язана з задачею розміщення графа мережі доріг. Цим пояснюється той факт, що в авторських роботах [6-7] була приділена увага питанням формування методу розміщення графа мережі доріг при розв'язуванні задачі вибору оптимального маршруту руху колони техніки.

Однак, незважаючи на те, що у вказаних працях було запропоновано підхід і алгоритм вирішення задачі розміщення графа мережі доріг, застосування цього алгоритму обмежене в силу відсутності інструментарію визначення швидкості руху колони у довільній точці маршруту. Зважаючи ж на те, що ця швидкість може бути різною навіть в одній і тій же точці в залежності від моменту часу перебування в цій точці колони, актуальності набуває задача встановлення швидкості руху колони техніки у фіксований момент часу у фіксованій точці в залежності від визначальних характеристик руху.

Мета статті полягає в розробці інструментальних основ (математичних і програмно-алгоритмічних) методу розміщення графа мережі доріг, по якій здійснюється рух колони техніки, що передбачає обґрунтування підходу до визначення швидкості руху колони у довільній точці маршруту руху в залежності від її складу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення визначеної мети вбачається за доцільне здійснити змістовний опис задачі, її формалізацію, запропонувати підхід до визначення швидкості руху колони, розмістити граф мережі доріг, а також апробувати запропонований інструментарій на конкретному прикладі.

На змістовному рівні досліджувана задача виглядає так.

Дано: мережу доріг, по якій може рухатись колона техніки; склад колони техніки – типи, види транспортних засобів і їх кількість; швидкість руху кожного транспортного засобу в фіксованих точках ребра $(i; j)$ в залежності від моменту T_0 початку руху колони з точки i в точку j .

Вважатимемо, що в якості моменту T_0 виступає одне із значень $\{0;1;2;\dots;22;23\}$ год.

Знайти закон зміни швидкості руху колони техніки вздовж ребра $(i; j)$ в залежності від моменту T_0 початку руху колони з точки i в точку j .

Розмістити граф мережі доріг з урахуванням різноманітності законів руху колони з точки i в точку j в залежності від моменту T_0 .

Здійснимо формалізацію наведеної вище задачі.

Розглянемо ребро $(i; j)$ графа (див. рис. 1).

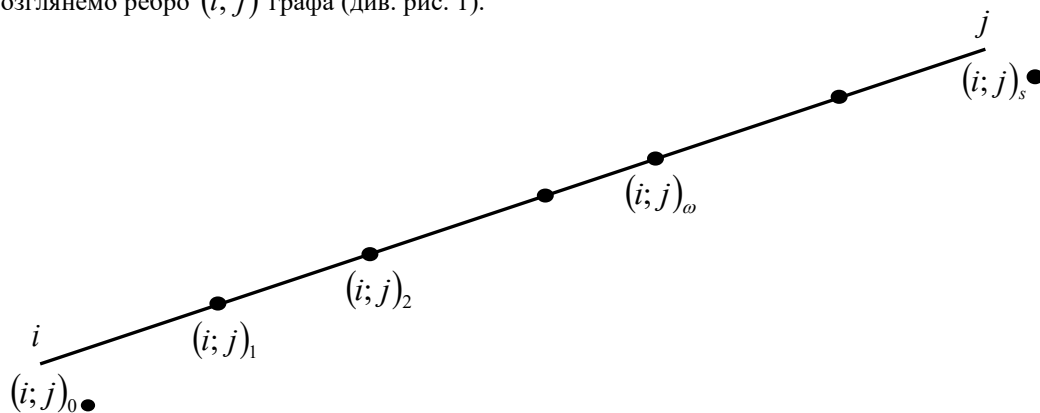


Рис. 1. Ребро $(i; j)$ графа, що представляє одну ланку мережі автомобільних доріг

Розіб'ємо ребро $(i; j)$ точками $(i; j)_\omega$ ($\omega \in \{0; 1; 2; \dots; s\}$), що відповідають моментам часу, в які швидкість колони різна (в які вона дискретно змінює своє значення). При цьому, точка $(i; j)_0$ співпадає з кінцем i , а точка $(i; j)_s$ з кінцем j ребра $(i; j)$.

Введемо позначення:

$v_{(i; j)_\omega}^{T_3_i}(T_0)$ - швидкість руху i -го $\left(i = \overline{1, n}\right)$ транспортного засобу зі складу колони техніки у точці $(i; j)_\omega$ в момент часу T_0 .

Тоді умову досліджуваної задачі можна представити у вигляді наступної таблиці.

Таблиця 1

T_3_i	$T_0, \text{ год}$	$(i; j)_\omega$				
		$\omega = 0$	$\omega = 1$	$\omega = 2$	...	$\omega = s$
$i = 1$	0	$v_{(i; j)_0}^{T_3_1}(0)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_1}(0)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_1}(0)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_1}(0)$
	1	$v_{(i; j)_0}^{T_3_1}(1)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_1}(1)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_1}(1)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_1}(1)$
	2	$v_{(i; j)_0}^{T_3_1}(2)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_1}(2)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_1}(2)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_1}(2)$

	23	$v_{(i; j)_0}^{T_3_1}(23)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_1}(23)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_1}(23)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_1}(23)$
$i = 2$	0	$v_{(i; j)_0}^{T_3_2}(0)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_2}(0)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_2}(0)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_2}(0)$
	1	$v_{(i; j)_0}^{T_3_2}(1)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_2}(1)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_2}(1)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_2}(1)$
	2	$v_{(i; j)_0}^{T_3_2}(2)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_2}(2)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_2}(2)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_2}(2)$

	23	$v_{(i; j)_0}^{T_3_2}(23)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_2}(23)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_2}(23)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_2}(23)$
...
$i = n$	0	$v_{(i; j)_0}^{T_3_n}(0)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_n}(0)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_n}(0)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_n}(0)$
	1	$v_{(i; j)_0}^{T_3_n}(1)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_n}(1)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_n}(1)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_n}(1)$
	2	$v_{(i; j)_0}^{T_3_n}(2)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_n}(2)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_n}(2)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_n}(2)$

	23	$v_{(i; j)_0}^{T_3_n}(23)$	$v_{(i; j)_1}^{T_3_n}(23)$	$v_{(i; j)_2}^{T_3_n}(23)$	...	$v_{(i; j)_s}^{T_3_n}(23)$

На основі даних табл. 1 необхідно:

- знайти закон зміни швидкості руху колони техніки вздовж ребра $(i; j)$ в залежності від моменту T_0 початку руху колони з точки i в точку j ;
- розмітити граф мережі доріг з урахуванням різноманітності законів руху колони з точки i в точку j в залежності від моменту T_0 .

Наведена формалізація досліджуваної задачі дозволяє запропонувати наступний підхід до визначення швидкості руху кожного транспортного засобу зі складу колони та колони, загалом.

Зважаючи на те, що швидкість руху кожного транспортного засобу зі складу колони в загальному випадку у кожній точці $(i; j)_\omega$ залежить від моменту часу T_0 , для відшукування закону зміни швидкості руху конкретного транспортного засобу $v_{(i; j)_\omega}^{T_3_i}(T_0)$ з часом при фіксованому значенні T_0 вздовж ребра $(i; j)$ слід скористатися сплайн-апроксимацією кубічними поліномами Ерміта. При цьому, в якості вузлів інтерполяції слід приймати точки $(i; j)_\omega$ [8].

У такому разі закон зміни швидкості руху можна знайти за формулою

$$v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0)(t) = a_k + b_k(t - t_k) + c_k(t - t_k)^2 + d_k(t - t_k)^3, \quad (1)$$

де коефіцієнти Ерміта рівні

$$a_k = v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0)(t_k), \quad (2)$$

$$b_k = (v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0))'(t_k), \quad (3)$$

$$c_k = \frac{3v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0)[t_k, t_{k+1}] - (v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0))'(t_{k+1}) - 2(v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0))'(t_k)}{t_{k+1} - t_k}, \quad (4)$$

$$d_k = \frac{(v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0))'(t_k) + (v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0))'(t_{k+1}) - 2v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0)[t_k, t_{k+1}]}{(t_{k+1} - t_k)^2}. \quad (5)$$

У формулах (1)-(5) прийнято наступні позначення:

$$v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0)[t_k, t_{k+1}] = \frac{v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0)(t_{k+1}) - v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0)(t_k)}{t_{k+1} - t_k}, \quad t_{k+1} - \text{момент часу, що відповідає перебуванню}$$

транспортного засобу у точці $(i; j)_k$ ребра $(i; j)$ в момент T_0 вибуття колони з точки $(i; j)_0$. При цьому,

$$k = \overline{1, s-1}.$$

Таким чином, застосування наведеного підходу дозволяє встановити закономірності зміни швидкості руху кожного транспортного засобу вздовж ребра $(i; j)$ з часом при фіксованому значенні T_0 початку руху колони з точки i в точку j .

Ці закономірності матимуть вигляд, що можна оцінити з табл. 2.

Таблиця 2

$T3_i$	T_0 , год	Швидкість руху транспортного засобу вздовж ребра $(i; j)$	Закономірність зміни швидкості руху транспортного засобу вздовж ребра $(i; j)$
$i = 1$	0	$v_{(i;j)}^{T3_1}(0)(t)$	Визначається для кожного значення $v_{(i;j)}^{T3_i}(T_0)(t)$ за формулами (1)-(5) при конкретних значеннях i і T_0 .
	1	$v_{(i;j)}^{T3_1}(1)(t)$	
	2	$v_{(i;j)}^{T3_1}(2)(t)$	
	
	23	$v_{(i;j)}^{T3_1}(23)(t)$	
$i = 2$	0	$v_{(i;j)}^{T3_2}(0)(t)$	
	1	$v_{(i;j)}^{T3_2}(1)(t)$	
	2	$v_{(i;j)}^{T3_2}(2)(t)$	
	
	23	$v_{(i;j)}^{T3_2}(23)(t)$	
...	
$i = n$	0	$v_{(i;j)}^{T3_n}(0)(t)$	
	1	$v_{(i;j)}^{T3_n}(1)(t)$	
	2	$v_{(i;j)}^{T3_n}(2)(t)$	
	
	23	$v_{(i;j)}^{T3_n}(23)(t)$	

З урахуванням цього, а також факту про те, що швидкість колони визначається швидкістю руху того транспортного засобу, що має мінімальне значення на певній ділянці маршруту, закон зміни швидкості руху колони техніки з часом вздовж ребра $(i; j)$ в залежності від моменту T_0 початку руху колони з точки i в точку j можна знайти за формулою

$$v_{(i;j)}(T_0)(t) = \min \{v_{(i;j)}^{T_1}(T_0)(t); v_{(i;j)}^{T_2}(T_0)(t); \dots; v_{(i;j)}^{T_n}(T_0)(t)\} \quad (6)$$

При цьому, слід зазначити, що швидкість колони на різних ділянках може визначатися швидкістю різних транспортних засобів, на що може впливати, наприклад, прохідність техніки, стан дорожнього покриття тощо.

Застосування формули (6) дозволяє отримати дані, що можуть бути оцінені з табл. 3.

Таблиця 3

T_0 , год	$v_{(i;j)}(T_0)(t)$	Закон зміни швидкості руху колони техніки з часом вздовж ребра $(i; j)$ в залежності від моменту T_0 початку руху колони з точки i в точку j
0	$v_{(i;j)}(0)(t)$	Визначається для кожного значення $v_{(i;j)}(T_0)(t)$ за формулою (6) при конкретних значеннях T_0 .
1	$v_{(i;j)}(1)(t)$	
2	$v_{(i;j)}(2)(t)$	
...	...	
23	$v_{(i;j)}(23)(t)$	

Наведені дані і визначають результат вирішення першої частини досліджуваної задачі.

Розглянемо другу частину задачі, тобто розмітимо граф мережі доріг з урахуванням різноманітності законів руху колони з точки i в точку j в залежності від моменту T_0 .

Для вирішення цієї задачі застосуємо інтегральний підхід, що описаний у роботі [4].

Вага ребра $(i; j)$ може бути різною в залежності від моменту T_0 початку руху колони з точки i в точку j . Тому позначимо вагу ребра $(i; j)$ через $a_{(i;j)}(T_0)$.

Тоді

$$\int_{T_0}^{T_0 + a_{(i;j)}(T_0)} v_{(i;j)}(T_0)(t) dt = L_{(i;j)}, \quad (7)$$

де $L_{(i;j)}$ - відстань шляху, що характеризується ребром $(i; j)$.

Знання величини $L_{(i;j)}$ і застосування формули Ньютона-Лейбніца до виразу (7) дозволяє знайти значення ваги ребра $(i; j)$ $a_{(i;j)}(T_0)$.

Результатом такого відшукування будуть дані, що можуть бути оцінені з табл. 4.

Таблиця 4

T_0 , год	$a_{(i;j)}(T_0)$	Значення ваги ребра $(i; j)$
0	$a_{(i;j)}(0)$	Визначається в залежності від T_0 за допомогою формули (7) з урахуванням формули (6)
1	$a_{(i;j)}(1)$	
2	$a_{(i;j)}(2)$	
...	...	
23	$a_{(i;j)}(23)$	

Зважаючи на те, що вага $a_{(i,j)}(T_0)$ у загальному випадку є змінною величиною, для відшукування функціональної залежності зміни величини $a_{(i,j)}(T_0)$ з плином часу також можна скористатися сплайн-апроксимацією кубічними поліномами Ерміта. При цьому, в якості вузлів інтерполяції слід приймати точки $a_{(i,j)}(T_0)$.

Застосування такого прийому дозволяє встановити закономірність $a_{(i,j)}(t)$ зміни ваги ребра (i,j) з часом при початкових умовах досліджуваної задачі, що визначаються даними табл. 1.

Це і вирішує досліджувану задачу в повній постановці.

Слід зауважити, що якщо колона техніки прибуває у певну вершину графа i не точно в певний момент $T_0 \in \{0;1;2;\dots;22;23\}$ год, то слід застосовувати заокруглення до одного з найближчих значень множини $\{0;1;2;\dots;22;23\}$ год. Тобто, якщо колона техніки прибула у вершину i в деякий момент $\bar{T} \in [T_0^{(i)}; T_0^{(i+1)}] = [i; i+1]$ год, де $i = 0;1;2;\dots;23$, то слід прийняти, що колона розпочинає рух з вершини графа i у момент $T_0^{(i)}$, якщо $|\bar{T} - T_0^{(i)}| < |\bar{T} - T_0^{(i+1)}|$, або у момент $T_0^{(i+1)}$, якщо $|\bar{T} - T_0^{(i)}| > |\bar{T} - T_0^{(i+1)}|$. Інший підхід, що забезпечує точність вирішення досліджуваної задачі полягає у збільшенні потужності множини $\{0;1;2;\dots;22;23\}$ год.

Здійснимо апробацію запропонованого інструментарію на конкретному прикладі, обмежившись аналізом лише на одному ребрі, зважаючи на велику розмірність початкових даних.

Нехай мережа доріг, що з'єднує точки відправлення та призначення, має вигляд, який наведений на рис. 2.

Граф, що відповідає мережі доріг, наведений на рис. 2, представлено на рис. 3.

Тактико-технічні характеристики та первісна балансова вартість техніки, з якої сформовано склад колони, можуть бути оцінені з табл. 5.

Здійснимо апробацію інструментарію на прикладі ребра $(1;2)$.

Швидкість руху транспортних засобів зі складу колони техніки у точках $(i,j)_o$ ребра $(1;2)$ графа в моменти часу T_0 наведено у табл. 6.

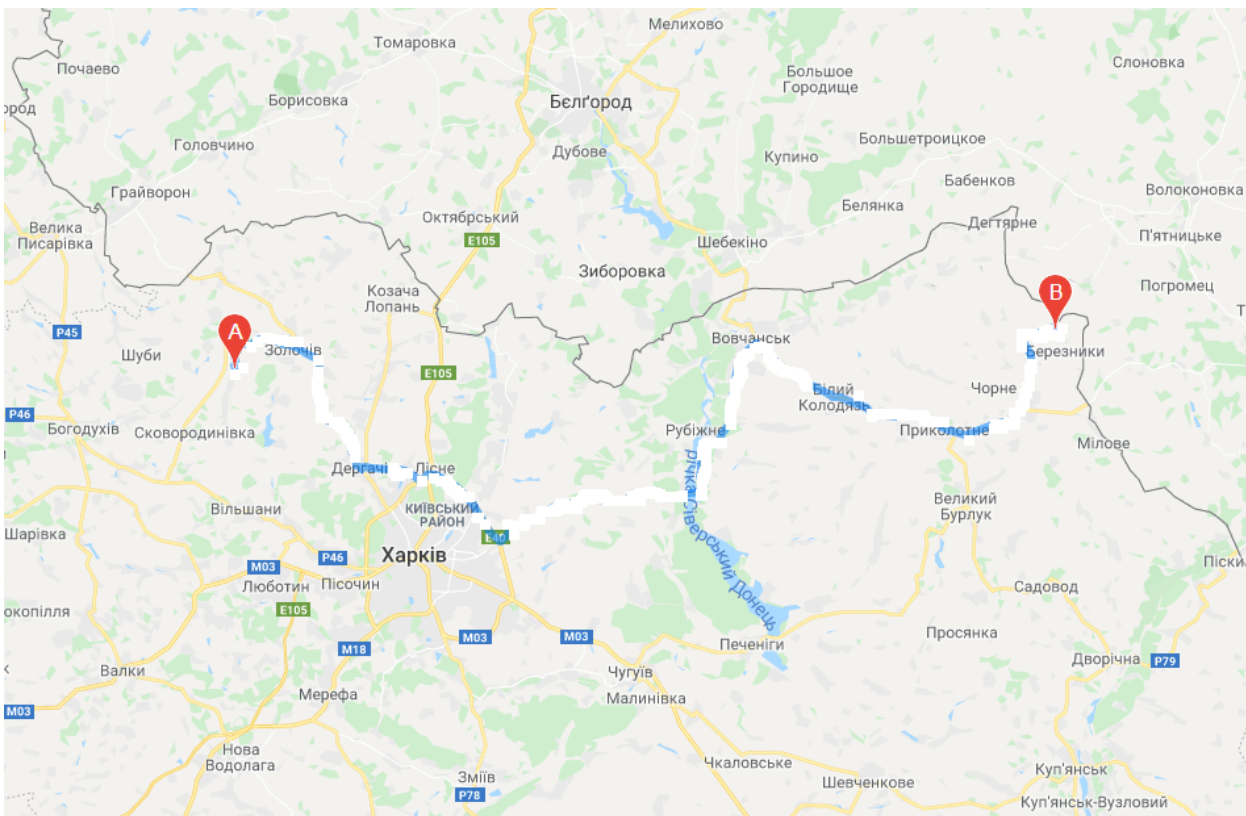


Рис. 2. Карта мережі автомобільних доріг між пунктами відправлення та призначення

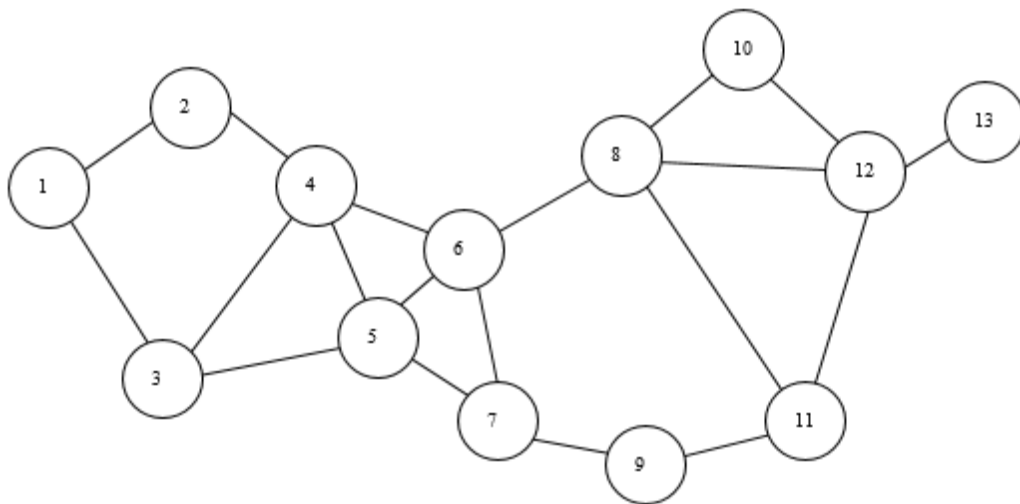


Рис. 3. Граф, що відповідає мережі автомобільних доріг між пунктами відправлення та призначення, наведений на рис. 2

Таблиця 5

Тактико-технічні характеристики та первісна балансова вартість техніки,
 з якої сформовано склад колонії

Умовне позначення	Марка техніки	Середня швидкість руху $v_{ij}^{сер}$, км/год	Вантажопідйомність m_{ij} , ц	Пасажиромісткість a_{ij} , чол	Об'єм кузовів V_{ij} , m^3	Середня витрата пального u_{ij} , л/100км	Тип палива	Запас ходу по моторесурсу $3X_{ijk}^m$, км	Час знаходження в працездатному стані t_{ijk}^{np} , доба	Час експлуатації t_{ijk}^e , доба	Коефіцієнт готовності K_z	Строк експлуатації техніки D_{fijk} , рік	Напряцювання техніки P_{ijk} , тис.км	Первісна балансова вартість техніки $C_{автоijk}$, тис.грн.
1	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3700	280	20	0,93	4	14,234	929,166
2	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3300	293	7	0,98	4	12,877	929,166
3	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3700	290	10	0,97	3	17,158	879,236
4	КРАЗ-6322	50	0	25	25	40	ДП	6600	288	12	0,96	4	15,432	921,567

Таблиця 6

Швидкість руху транспортних засобів зі складу колонії техніки у точках $(i; j)_o$ ребра $(1;2)$ графа в
 моменти часу T_0

Момент T_0 початку руху колонії з точки 1 ребра $(1;2)$, год	Швидкість руху транспортних засобів зі складу колонії техніки у вузлах Ерміта (у точках $(i; j)_o$) ребра $(1;2)$ графа в моменти часу T_0 , км/год							
	$(i; j)_0$ або k = 1	$(i; j)_1$ або k = 2	$(i; j)_2$ або k = 3	$(i; j)_3$ або k = 4	$(i; j)_4$ або k = 5	$(i; j)_5$ або k = 6	$(i; j)_6$ або k = 7	$(i; j)_7$ або k = 8
01.00	V1=40,90 V2=32,90 V3=28,90 V4=29,90	V1=40,57 V2=32,23 V3=28,90 V4=29,23	V1=40,23 V2=31,57 V3=28,90 V4=28,57	V1=39,90 V2=30,90 V3=28,90 V4=27,90	-	-	-	-
02.00	V1=39,90 V2=30,90 V3=28,90 V4=27,90	V1=39,90 V2=30,57 V3=27,90 V4=27,23	V1=39,90 V2=30,23 V3=26,90 V4=26,57	V1=39,90 V2=29,90 V3=25,90 V4=25,90	-	-	-	-
03.00	V1=39,90 V2=29,90 V3=25,90 V4=25,90	V1=39,90 V2=29,90 V3=25,57 V4=25,90	V1=39,90 V2=29,90 V3=25,23 V4=25,90	V1=39,90 V2=29,90 V3=24,90 V4=25,90	-	-	-	-

04.00	V1=39,90 V2=29,90 V3=25,90 V4=25,90	V1=40,90 V2=30,90 V3=25,57 V4=26,57	V1=41,90 V2=31,90 V3=26,23 V4=27,23	V1=42,90 V2=32,90 V3=26,90 V4=27,90	—	—	—	—
05.00	V1=42,90 V2=32,90 V3=26,90 V4=27,90	V1=43,57 V2=33,57 V3=28,23 V4=28,23	V1=44,23 V2=34,23 V3=29,57 V4=28,57	V1=44,90 V2=34,90 V3=30,90 V4=28,90	—	—	—	—
06.00	V1=44,90 V2=34,90 V3=30,90 V4=28,90	V1=46,57 V2=36,57 V3=32,90 V4=30,57	V1=48,23 V2=38,23 V3=34,90 V4=32,23	V1=49,90 V2=39,90 V3=36,90 V4=33,90	—	—	—	—
07.00	V1=49,90 V2=39,90 V3=36,90 V4=33,90	V1=53,23 V2=43,23 V3=39,90 V4=37,23	V1=56,57 V2=46,57 V3=42,90 V4=40,57	V1=59,90 V2=49,90 V3=45,90 V4=43,90	—	—	—	—
08.00	V1=59,90 V2=49,90 V3=45,90 V4=43,90	V1=63,23 V2=53,23 V3=49,57 V4=47,23	V1=66,57 V2=56,57 V3=53,23 V4=50,57	V1=69,90 V2=59,90 V3=56,90 V4=53,90	—	—	—	—
09.00	V1=69,90 V2=59,90 V3=56,90 V4=53,90	V1=71,57 V2=61,57 V3=57,57 V4=56,23	V1=73,23 V2=63,23 V3=58,23 V4=58,57	V1=74,90 V2=64,90 V3=58,90 V4=60,90	—	—	—	—
10.00	V1=74,90 V2=64,90 V3=58,90 V4=60,90	V1=76,57 V2=66,57 V3=63,90 V4=61,90	V1=78,23 V2=68,23 V3=68,90 V4=62,90	V1=79,90 V2=69,90 V3=73,90 V4=63,90	—	—	—	—
11.00	V1=79,90 V2=69,90 V3=73,90 V4=63,90	V1=81,57 V2=71,57 V3=73,90 V4=67,23	V1=83,23 V2=73,23 V3=73,90 V4=70,57	V1=84,90 V2=84,90 V3=73,90 V4=73,90	—	—	—	—
12.00	V1=84,90 V2=74,90 V3=73,90 V4=73,90	V1=84,90 V2=74,90 V3=73,90 V4=73,90	V1=84,90 V2=74,90 V3=73,90 V4=73,90	V1=84,90 V2=74,90 V3=73,90 V4=73,90	—	—	—	—
13.00	V1=84,90 V2=74,90 V3=73,90 V4=73,90	V1=84,90 V2=75,57 V3=73,57 V4=73,90	V1=84,90 V2=76,23 V3=73,23 V4=73,90	V1=84,90 V2=76,90 V3=72,90 V4=73,90	—	—	—	—
14.00	V1=84,90 V2=76,90 V3=72,90 V4=73,90	V1=83,23 V2=76,90 V3=72,57 V4=73,90	V1=81,57 V2=76,90 V3=72,23 V4=73,90	V1=79,90 V2=76,90 V3=71,90 V4=73,90	—	—	—	—
15.00	V1=79,90 V2=76,90 V3=71,90 V4=73,90	V1=78,23 V2=73,57 V3=70,90 V4=71,90	V1=76,57 V2=70,23 V3=69,90 V4=69,90	V1=74,90 V2=66,90 V3=68,90 V4=67,90	—	—	—	—
16.00	V1=74,90 V2=66,90 V3=68,90 V4=67,90	V1=73,23 V2=65,23 V3=67,23 V4=65,23	V1=71,57 V2=63,57 V3=65,57 V4=62,57	V1=69,90 V2=61,90 V3=63,90 V4=59,90	—	—	—	—
17.00	V1=69,90 V2=61,90 V3=63,90 V4=59,90	V1=66,57 V2=60,23 V3=60,23 V4=57,23	V1=63,23 V2=58,57 V3=56,57 V4=54,57	V1=59,90 V2=56,90 V3=52,90 V4=51,90	—	—	—	—
18.00	V1=59,90 V2=56,90 V3=52,90 V4=51,90	V1=56,57 V2=53,23 V3=49,90 V4=49,23	V1=53,23 V2=49,57 V3=46,90 V4=46,57	V1=49,90 V2=45,90 V3=43,90 V4=43,90	—	—	—	—
19.00	V1=49,90 V2=45,90 V3=43,90 V4=43,90	V1=48,23 V2=44,23 V3=42,23 V4=43,90	V1=46,57 V2=42,57 V3=40,57 V4=43,90	V1=44,90 V2=40,90 V3=38,90 V4=43,90	—	—	—	—
20.00	V1=44,90 V2=40,90 V3=38,90 V4=43,90	V1=44,90 V2=40,90 V3=38,90 V4=43,90	V1=44,90 V2=40,90 V3=38,90 V4=43,90	V1=44,90 V2=40,90 V3=38,90 V4=43,90	—	—	—	—
21.00	V1=49,90 V2=45,90 V3=43,90 V4=43,90	V1=44,23 V2=40,23 V3=37,57 V4=41,23	V1=43,57 V2=39,57 V3=36,23 V4=38,57	V1=42,90 V2=38,90 V3=34,90 V4=35,90	—	—	—	—
22.00	V1=42,90 V2=38,90 V3=34,90 V4=35,90	V1=42,57 V2=38,57 V3=34,57 V4=35,23	V1=42,23 V2=38,23 V3=34,23 V4=34,57	V1=41,90 V2=37,90 V3=33,90 V4=33,90	—	—	—	—
23.00	V1=41,90 V2=37,90 V3=33,90 V4=33,90	V1=41,57 V2=36,90 V3=32,90 V4=33,23	V1=41,23 V2=35,90 V3=31,90 V4=32,57	V1=40,90 V2=34,90 V3=30,90 V4=31,90	—	—	—	—
24.00	V1=40,90 V2=34,90 V3=30,90 V4=31,90	V1=40,90 V2=34,23 V3=30,23 V4=31,23	V1=40,90 V2=33,57 V3=29,57 V4=30,57	V1=40,90 V2=32,90 V3=28,90 V4=29,90	—	—	—	—

Застосування підходу, запропонованого вище і описаного за допомогою формул (1)-(5), дозволяє встановити закономірності зміни швидкості руху кожного транспортного засобу зі складу колони вздовж ребра (1;2) з часом при фіксованому значенні T_0 початку руху колони з точки 1.

Ці закономірності для випадку $T_0=10$ год можна оцінити з рис. 4.

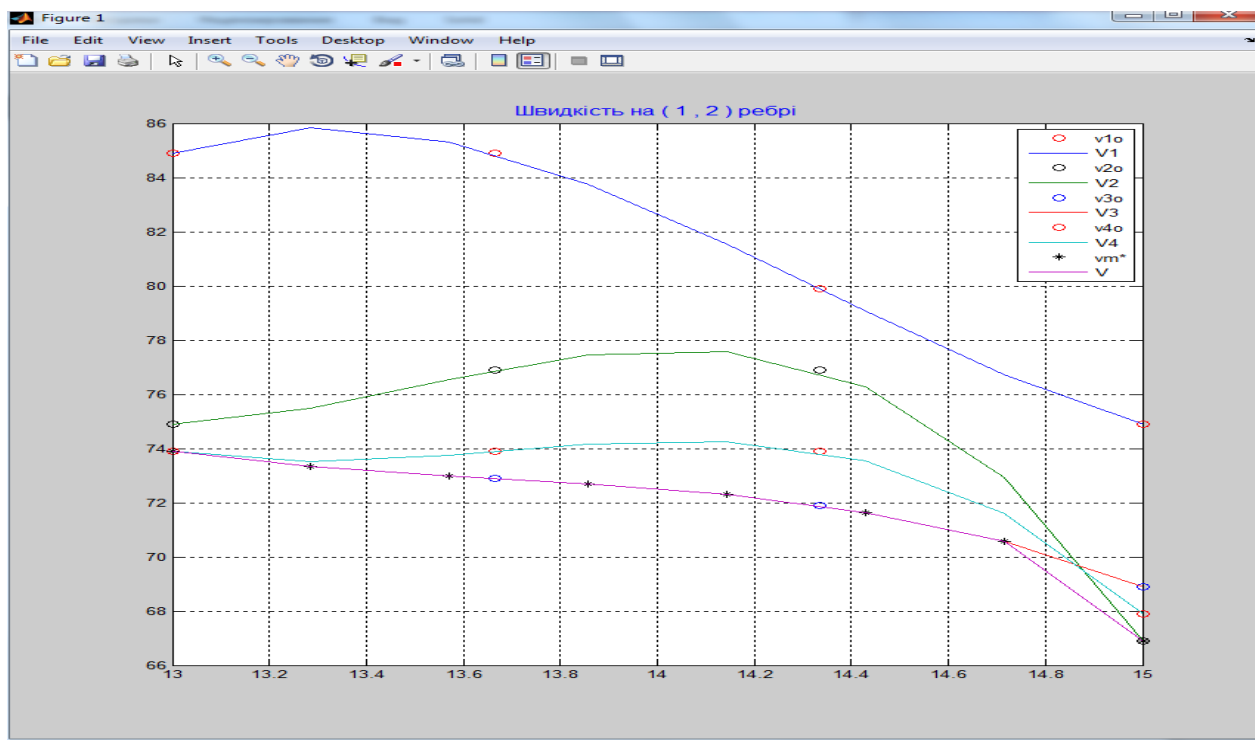


Рис. 4. Закономірності зміни швидкості усіх транспортних засобів зі складу колони при русі вздовж ребра (1;2) з часом при $T_0=10$ год

Тоді швидкість руху колони вздовж ребра (1;2) при $T_0=10$ год у відповідності до (6) буде такою, що може бути оцінена з рис. 5-6.

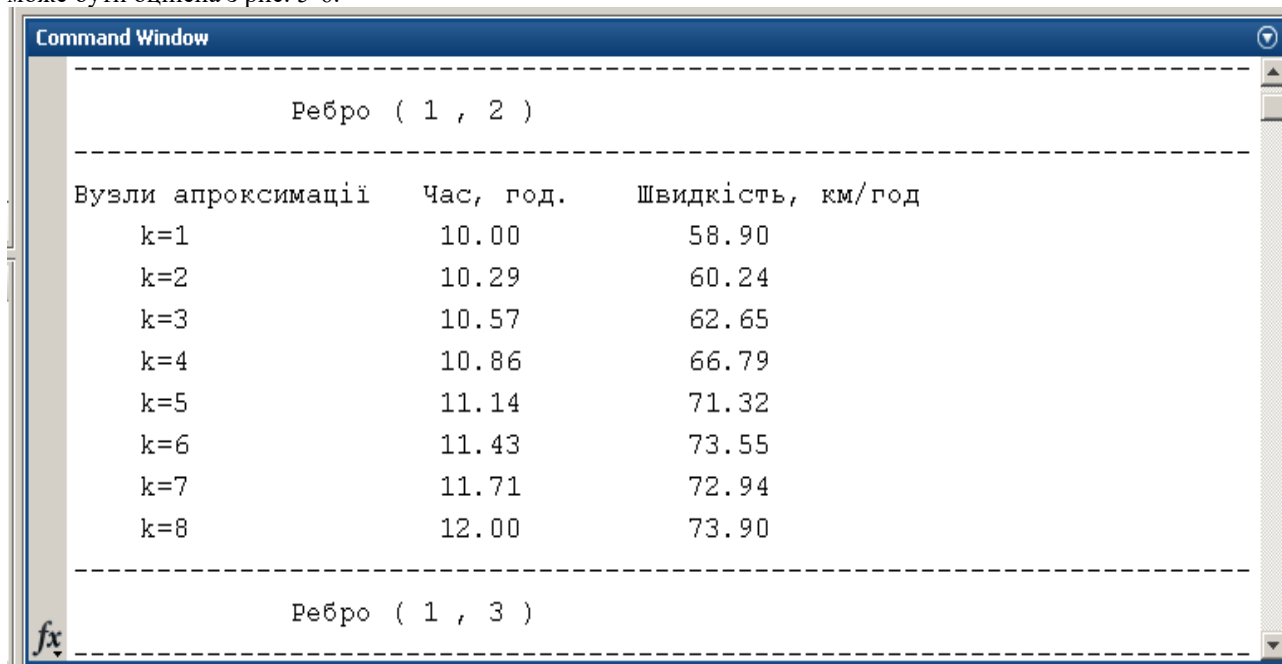


Рис. 5. Швидкість руху колони вздовж ребра (1;2) при $T_0=10$ год

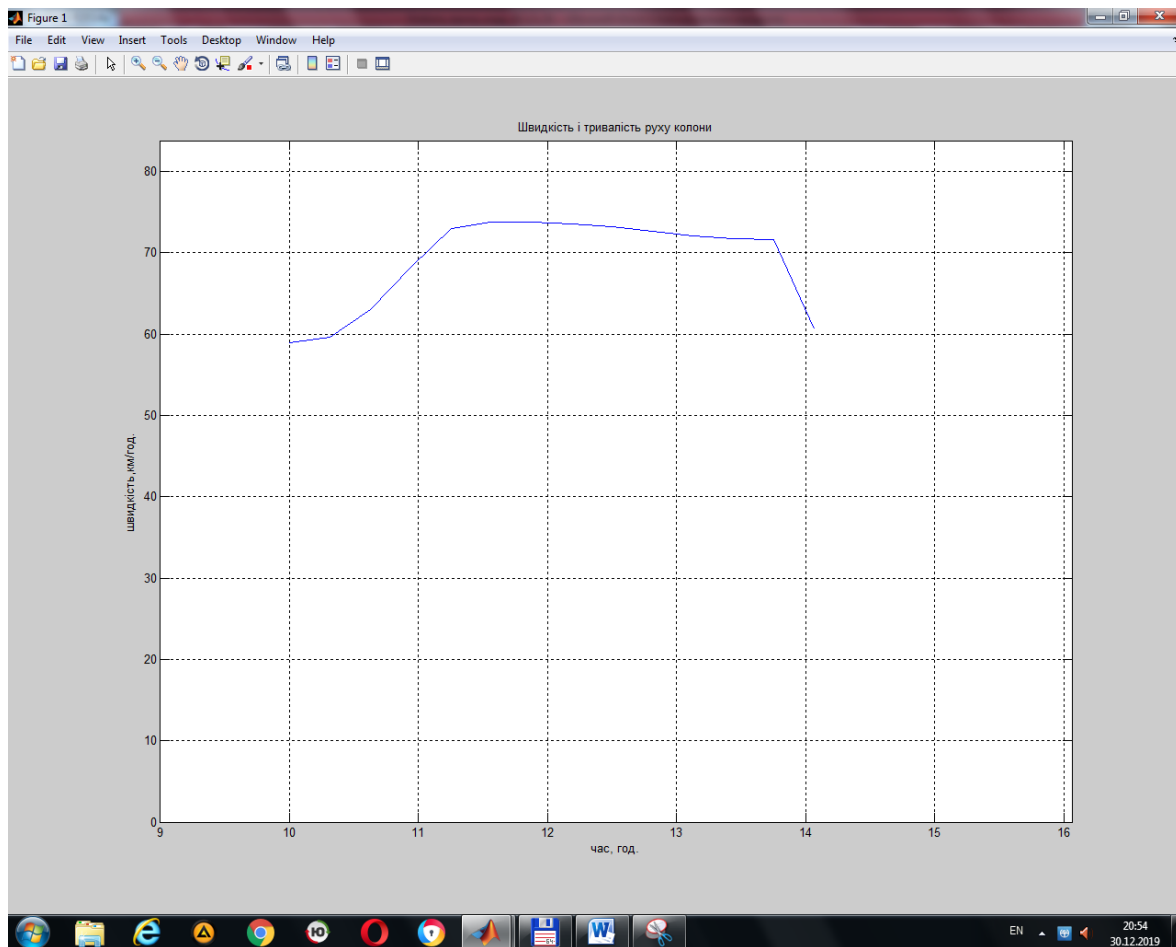


Рис. 6. Швидкість руху колонії вздовж ребра (1;2) при $T_0 = 10$ год

Значення коефіцієнтів Ерміта для наведеного випадку наведені на рис. 7.

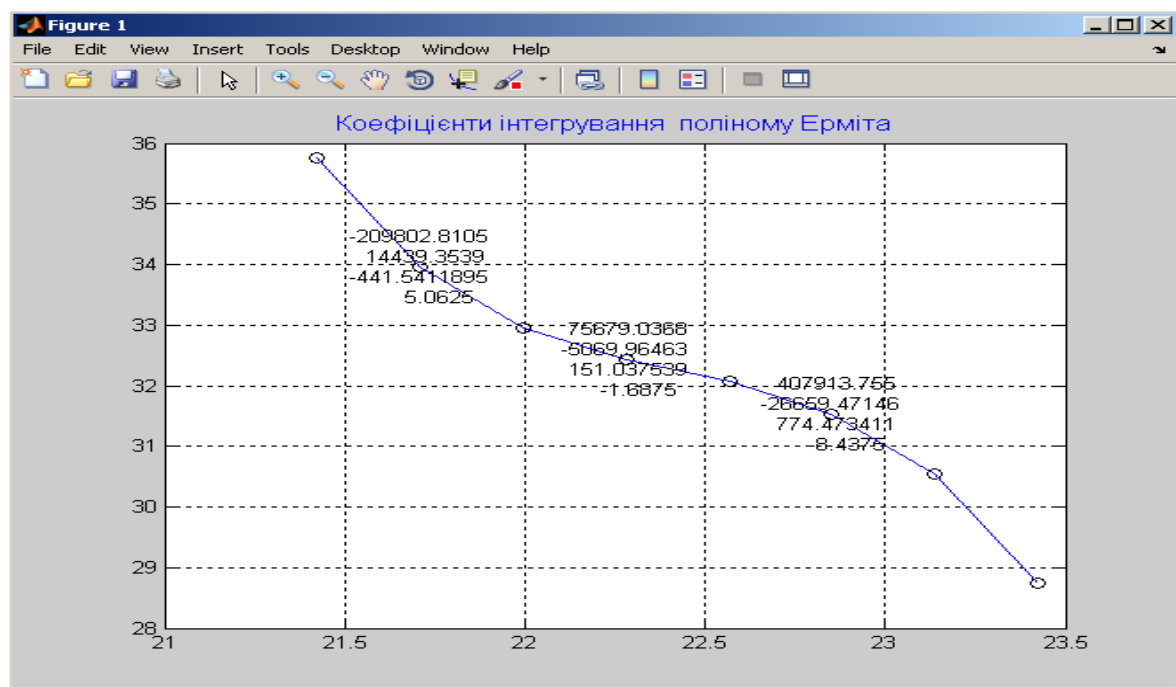
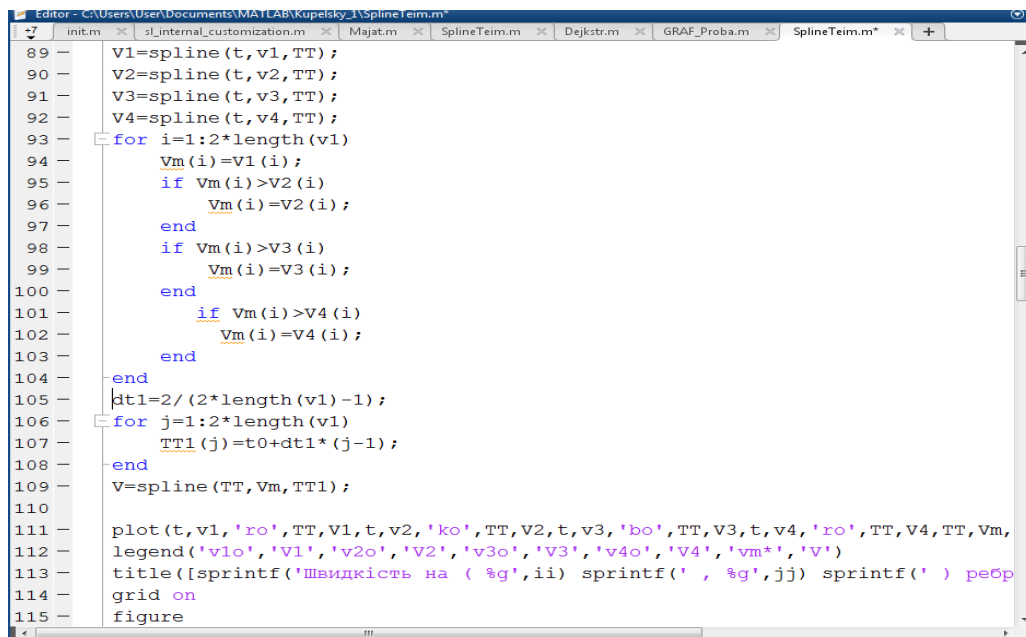


Рис. 7. Значення коефіцієнтів Ерміта на ребрі (1;2) при $T_0 = 10$ год

Програмне забезпечення, що використане для вирішення досліджуваної задачі, виконане авторами на мові програмування системи комп'ютерної математики MatLab. Програма реалізується script-файлом і двома function-файлами.

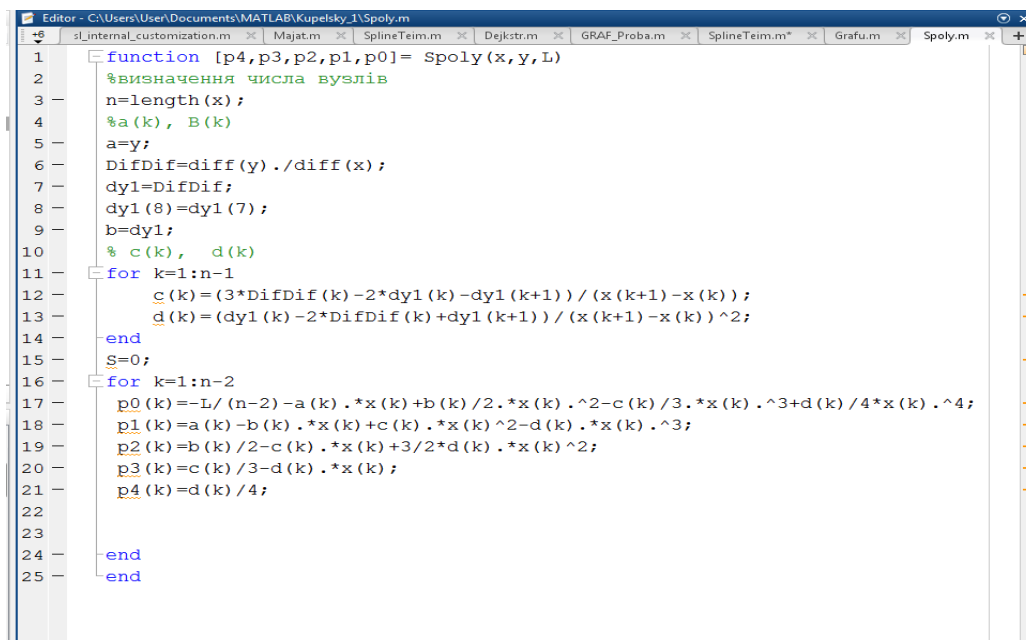
У script-файлі обробляється вхідна інформація, апроксимуються функції швидкості, будуються графіки і передається управління на процедури-функції (рис. 8).



```
89 - V1=spline(t,v1,TT);
90 - V2=spline(t,v2,TT);
91 - V3=spline(t,v3,TT);
92 - V4=spline(t,v4,TT);
93 - for i=1:2*length(v1)
94 -     Vm(i)=V1(i);
95 -     if Vm(i)>V2(i)
96 -         Vm(i)=V2(i);
97 -     end
98 -     if Vm(i)>V3(i)
99 -         Vm(i)=V3(i);
100 -    end
101 -    if Vm(i)>V4(i)
102 -        Vm(i)=V4(i);
103 -    end
104 - end
105 - dt1=2/(2*length(v1)-1);
106 - for j=1:2*length(v1)
107 -     TT1(j)=t0+dt1*(j-1);
108 - end
109 - V=spline(TT,Vm,TT1);
110 -
111 - plot(t,v1,'ro',TT,V1,t,v2,'ko',TT,V2,t,v3,'bo',TT,V3,t,v4,'ro',TT,V4,TT,Vm,
112 - legend('v1o','V1','v2o','V2','v3o','V3','v4o','V4','vm*','V')
113 - title(sprintf('Швидкість на ( %g',ii) sprintf(' ', %g',jj) sprintf(' ) ребр
114 - grid on
115 - figure
```

Рис. 8. Фрагмент Script-файла

Процедура-функція Spoly визначає коефіцієнти полінома Ерміта. Її фрагмент можна оцінити з рис. 9.



```
1 - function [p4,p3,p2,p1,p0]= Spoly(x,y,L)
2 - %визначення числа вузлів
3 - n=length(x);
4 - %a(k), B(k)
5 - a=y;
6 - DifDif=diff(y)./diff(x);
7 - dyl=DifDif;
8 - dyl(8)=dyl(7);
9 - b=dyl;
10 - % c(k), d(k)
11 - for k=1:n-1
12 -     c(k)=(3*DifDif(k)-2*dyl(k)-dyl(k+1))/(x(k+1)-x(k));
13 -     d(k)=(dyl(k)-2*DifDif(k)+dyl(k+1))/(x(k+1)-x(k))^2;
14 - end
15 - s=0;
16 - for k=1:n-2
17 -     p0(k)=-L/(n-2)-a(k).*x(k)+b(k)/2.*x(k).^2-c(k)/3.*x(k).^3+d(k)/4.*x(k).^4;
18 -     p1(k)=a(k)-b(k).*x(k)+c(k).*x(k).^2-d(k).*x(k).^3;
19 -     p2(k)=b(k)/2-c(k).*x(k)+3/2*d(k).*x(k).^2;
20 -     p3(k)=c(k)/3-d(k).*x(k);
21 -     p4(k)=d(k)/4;
22 -
23 -
24 - end
25 - end
```

Рис. 9. Фрагмент процедури-функції Spoly

Функція Grafu здійснює розміщення графа у відповідності до підходу, що наведений у даній роботі вище, та даних, що наведені в табл. 7. Фрагмент процедури-функції наведено на рис. 10.

Таблиця 7

Значення величини $L_{(i;j)}$ для всіх ребер досліджуваного графа, км

Редра графа	(1-2)	(1-3)	(2-4)	(3-4)	(3-5)	(4-5)	(4-6)	(5-6)	(5-7)	(6-7)	(6-8)	(7-9)	(8-10)	(8-11)	(8-12)	(9-11)	(10-12)	(11-12)	(12-13)
$L_{(i;j)}$, км	13	23	34	24	28	23	16	12	22	24	45	22	31	30	53	23	35	32	30

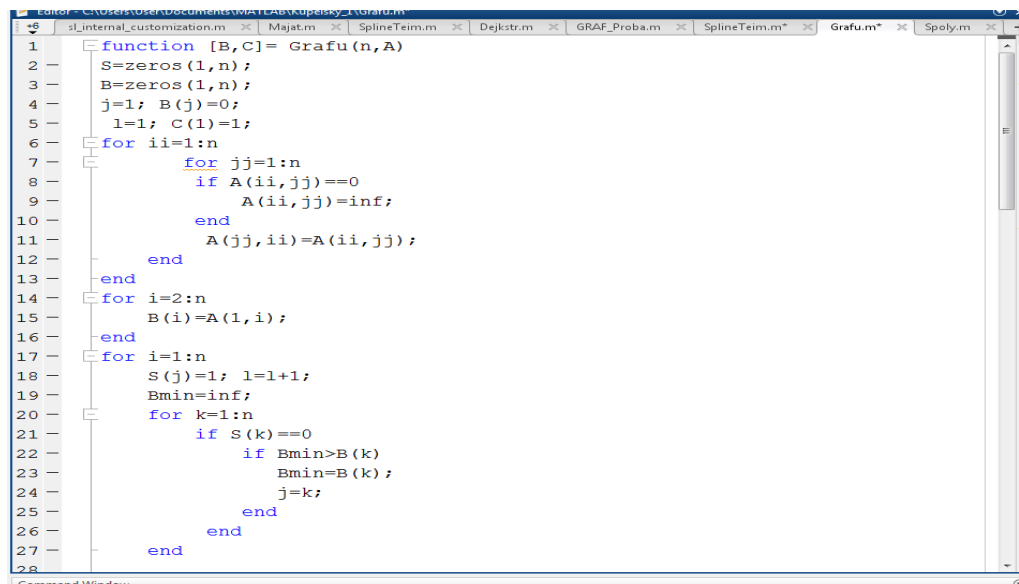


Рис. 10. Фрагмент процедури-функції Grafu

Слід зауважити, що швидкості, які можна оцінити з рис. 5-6, стосуються лише одного ребра (1;2) і значення $T_0=10$ год. Поступаючи аналогічно наведеному вище випадку, можна відшукати закономірності зміни швидкості руху колони з часом і для інших ребер досліджуваного графа, а отже, і ваги ребер для цих випадків.

Висновок. Таким чином, у результаті проведеного дослідження розроблено інструментальні основи методу розміщення графа мережі доріг, по якій здійснюється рух колони техніки, які дозволяють повноцінно застосовувати його для вирішення задачі визначення оптимального шляху на заданій мережі доріг між двома заданими точками в залежності від початку руху колони техніки та з урахуванням швидкісних характеристик руху кожного транспортного засобу на окремих ділянках маршруту руху.

Напрямами подальших досліджень вбачається оцінка ефективності запропонованого інструментарію на основі порівняння результатів натурного експерименту та результатів моделювання.

Література

1. Майборода М.Е. Грузовые автомобильные перевозки: учебное пособие / М.Е.Майборода. – Ростов на Дону: Феникс, 2008. – 442 с.
2. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие. / А.Э. Горев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.
3. Математична модель задачі формування складу транспортної колони прикордонної комендатури швидкого реагування та її програмно-алгоритмічна реалізація / О. В. Боровик, Л. В. Рачок, Л. В. Боровик, В. В. Купельський. // Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету. – 2017. – №55. – С. 17-30.
4. Боровик О. В., Купельський В. В. Алгоритмічне забезпечення вибору оптимального маршруту руху колони техніки прикордонної комендатури швидкого реагування // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вип. № 64. – К: ВІКНУ, 2019. – С. 25-35.
5. Боровик О. В., Купельський В. В. Методика оцінки ефективності військових перевезень колоною техніки // Системи озброєння і військова техніка. Вип. № 3(59). – Харків: НУВПС, 2019. – С. 25-35.
6. Боровик О. В., Купельський В. В. Розміщення графа мережі доріг при розв'язуванні задачі вибору оптимального маршруту руху колони техніки прикордонної комендатури швидкого реагування // Збірник наукових праць № 2 (76). Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2018. – С. 244-255.
7. Боровик О. В., Купельський В. В. Метод розміщення графа мережі доріг при розв'язуванні задачі вибору оптимального маршруту руху колони техніки прикордонної комендатури швидкого реагування та алгоритм його реалізації // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вип. № 62. – К: ВІКНУ, 2018. – С. 17-27.
8. Довгий Б.П., Ловейкин А.В., Вакал Ю.Е., Вакал Ю.Е. Сплайн-функции и их использование. Учебное пособие Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. – К: КНУ, 2016.

References

1. Majboroda M.E. Gruzovye avtomobyl'nye perevozky: uchebnoe posobyе / M.E.Majboroda. – Rostov na Donu: Fenyks, 2008. – 442 s.
2. Gorev A.E. Gruzovye avtomobyl'nye perevozky: ucheb. posobyе. / A.E. Gorev. – M.: Yzdatel'skyj centr «Akademyja», 2008. – 288 s.

3. Matematychna model' zadachi formuvannja skladu transportnoi' kolony prykordonnoi' komendatury shvydkogo reaguvannja ta i'i' programno-algorytmichna realizacija / O. V. Borovyk, L. V. Rachok, L. V. Borovyk, V. V. Kupel's'kyj. // Zbirnyk naukovykh prac' vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu. – 2017. – №55. – S. 17-30.
4. Borovyk O. V., Kupel's'kyj V. V. Algorytmichne zabezpechennja vyboru optymal'nogo marshrutu ruhu kolony tehniky prykordonnoi' komendatury shvydkogo reaguvannja // Zbirnyk naukovykh prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Vyp. № 64. – K: VIKNU, 2019. – S. 25-35.
5. Borovyk O. V., Kupel's'kyj V. V. Metodyka ocinky efektyvnosti vijs'kovykh perevezen' kolonoju tehniky // Systemy ozbrojennja i vijs'kova tehnika. Vyp. № 3(59). – Harkiv: NUVPS, 2019. – S. 25-35.
6. Borovyk O. V., Kupel's'kyj V. V. Rozmichennja grafa merezhi dorig pry rozv'jazuvanni zadachi vyboru optymal'nogo marshrutu ruhu kolony tehniky prykordonnoi' komendatury shvydkogo reaguvannja // Zbirnyk naukovykh prac' № 2 (76). Serija: Vijs'kovi ta tehniczni nauky. – Hmel'nye'kyj: Vyd. NADPSU, 2018. – S. 244-255.
7. Borovyk O. V., Kupel's'kyj V. V. Metod rozmichennja grafa merezhi dorig pry rozv'jazuvanni zadachi vyboru optymal'nogo marshrutu ruhu kolony tehniky prykordonnoi' komendatury shvydkogo reaguvannja ta algorytm jogo realizacii' // Zbirnyk naukovykh prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Vyp. № 62. – K: VIKNU, 2018. – S. 17-27.
8. Dovgyj B.P., Lovejkyn A.V., Vakal E.S., Vakal Ju.E. Splajn-funkcyj y yh yspol'zovanye. Uchebnoe posobyje Kyevskogo nacyonal'nogo unyversyteta ymeny Tarasa Shevchenko. – K: KNU, 2016.

Рецензія/Peer review : 14.10.2019

Надрукована/Printed : 03.01.2020