

ПІДГОТОВКА ВІЙСЬКОВИХ ФАХІВЦІВ

УДК: 004.9

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.86-91>

М.В. Чорний, Б.П. Матузко, Я.С. Міщенко, С.М. Загребельний

*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів**Article history: Received 26 September 2022; Revised 27 September 2022; Accepted 25 October 2022*

АЛГОРИТМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО РОЗМІЩЕННЯ ПІДРОЗДІЛІВ РЕЗЕРВУ І ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВОГО ФОРМУВАННЯ НА МІСЦЕВОСТІ ЗА МІНІМАКСНИМ КРИТЕРІЄМ

Розглянуто підхід щодо позиціонування підрозділів резерву і логістичного забезпечення військового формування у визначеному районі ведення бойових дій за мінімально максимальною відстанню до елементів бойового порядку, що забезпечує оптимальне їх розташування на місцевості для реалізації мінімізації максимального часу реагування на зміну обстановки та часу евакуації (підвозу) в умовах збільшення динамічних і просторових показників ведення бойових дій.

Ключові слова: алгоритм, підтримка прийняття рішення, мінімаксий критерій, мажорювання.

Постановка проблеми

Особливістю застосування військових формувань в зоні військових операцій є динамічна побудова бойових порядків підрозділів на широкому фронті вздовж лінії зіткнення з противником за збільшеними оперативно-тактичними нормативами з використанням блокування важливих інфраструктурних і географічних об'єктів.

Такі умови вимагають наявності в бойових порядках різного виду резервів, які спроможні оперативно реагувати на зміну обстановки та своєчасно виходити у визначений район (рубіж) для підтримки підрозділів або прикриття визначеного напрямку (району), а також це ускладнює організацію логістичного забезпечення підрозділів військового формування.

Розміщення підрозділів резерву і логістичного забезпечення для виконання покладених на них завдань вимагає вирішення певної оптимізаційної задачі, яка в математичному контексті відноситься до так званих мінімаксий оптимізаційних задач і передбачає мінімізацію максимальних відстаней від району (місця) розташування резерву (підрозділу забезпечення) до районів (рубежів) розташування підрозділів, в напрямку яких діє зазначений резерв (підрозділ забезпечення), що дозволяє мінімізувати максимальний час реагування на зміну оперативної обстановки або час підвозу (евакуації) до (від) визначеного підрозділу військового формування.

Для забезпечення ефективної практичної діяльності командирів розглядаються завдання щодо створення систем підтримки прийняття рішень, які, зокрема, здатні вирішувати задачі оптимального розміщення підрозділів для формування бойового порядку в заданому районі бойових дій.

Отже, доречно мати в системі підтримки прийняття рішення щодо формування бойового порядку військового формування алгоритми пошуку місць (районів) для розміщення підрозділів резерву і логістичного забезпечення на місцевості за мінімаксий критерієм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Публікації стосовно зазначених вище питань засвідчують актуальність цієї проблематики. Задачі на розміщення складають важливий клас задач оптимізації, який має численні застосунки в різних областях науки і техніки. Зокрема:

У роботах [1, 2, 6] наведені основи розробки та аналізу алгоритмів обчислювальної геометрії, розглянуті конкретні задачі й алгоритми їх рішення. Сформовані напрями побудови ефективних алгоритмів для рішення задач геометричного моделювання, розглянутий підхід дослідження, який ґрунтується на понятті мажоризації, також наведені деякі застосунки обчислювальної геометрії.

У посібнику [3] викладені ефективні підходи та алгоритми розв'язання задач одного з важливих на

практиці класу задач обчислювальної геометрії – оптимізація. Задачі ці пов’язані з оптимальним вписанням та описанням різних фігур (коло, багатокутник, еліпс тощо).

У роботах [4, 5] описані базові ідеї методу Ньютона, історія його створення, основні теоретичні результати збіжності, а також різні його додатки. Представлені нові розробки в цій галузі та найсучасніші версії методу, які є фундаментальним інструментом у чисельному аналізі, дослідженні операцій, оптимізації та управлінні.

У роботах [8-10] формалізовано просторово-геометричну конфігурацію системи технічного забезпечення військового формування на основі аналізу ознак (зв’язків) між елементами системи та об’єктами бойового порядку, розробленні моделі процесу розміщення сил і засобів технічного забезпечення на місцевості при організації управління, розглянуті підходи до побудови моделей для пошуку оптимальних місць розташування сил і засобів технічного забезпечення для систем підтримки прийняття рішення щодо формування бойового порядку військового формування на місцевості.

У роботі [7] наведено огляд математичних моделей і задач з планування антитерористичних та спеціальних операцій: задач контролю території, задач захисту критичної інфраструктури (описуваної оптимізаційними моделями), блокування транспортних та інформаційних мереж. Показано, що багато задач контролю території зводяться до відомих оптимізаційних задач теорії графів, пошуку найкоротших шляхів і мінімальних покриттів. Задачі захисту критичної інфраструктури і блокування мереж зводяться до розв’язання ігрових стохастичних мінімакських задач.

Наведені вище роботи не розглядають безпосередньо питання мінімакського оптимізаційного геометричного моделювання стосовно розташування на місцевості відповідних військових підрозділів, але їх теоретичні і практичні результати стали підґрунтям для вирішення визначеної проблематики і досягнення мети статті.

Метою статті є формування алгоритму пошуку місця (району) розташування підрозділу резерву (забезпечення) за мінімакським критерієм для підтримки прийняття рішення щодо формування бойового порядку військового формування.

Виклад основного матеріалу

Для формування алгоритму пошуку місця розташування підрозділів резерву (забезпечення), яка передбачає вирішення мінімакської оптимізаційної задачі, бойовий порядок військового формування представимо сукупністю точок, які розміщені на одній площині (рис. 1). Тоді для вирішення поставленої задачі необхідно знайти на місцевості (районі) точку $P_R(x_R, y_R)$, яка буде розташована на мінімакській

відстані від заданих точок $P_i(x_i, y_i)$. Формалізовано це можна записати як

$$\min_X \max_i R_i, \quad i = 1, 2, \dots, K, n, \quad (1)$$

де X – вектор координат точки P_R ,

R_i – відстань від i -тої точки до точки P_R .

Отже, потрібна точка мінімаксу є рішенням задачі мінімізації функції, яка є сукупністю концертричних кіл, виду

$$f_m(X) = \sum_{i=1}^n |R_i|^m, \quad m \geq 2, \quad i = 1, 2, \dots, K, n, \quad (2)$$

де

$$R_i = \|X - P_i\| = \sqrt{(x_R - x_i)^2 + (y_R - y_i)^2}, \quad (3)$$

при постійно зростаючих значеннях степені m .

Рішення задачі вигляду (2) викликає певні труднощі при застосуванні класичних способів пошуку екстремуму у зв’язку з наявністю в числі складових цільової функції негладких функцій з незадовільними аналітичними властивостями.

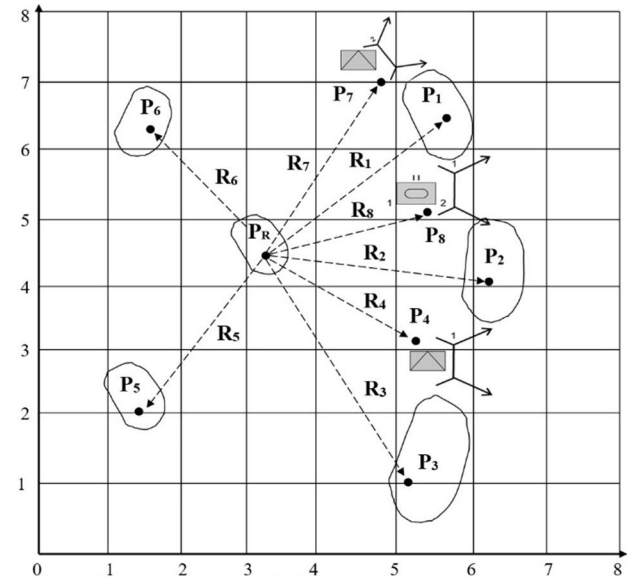


Рис. 1. Геометрична інтерпретація бойового порядку військового формування для опису алгоритму

У таких випадках ефективно використовується метод мажорювання [4-6] – побудова спеціальним чином параболоїда, який мажорює функцію $f_m(X)$ в колі $|X - P| \leq R^h$, виду

$$j(X) = A^k + (X - C^k)^2 \times \frac{B^k}{2}, \quad (4)$$

де A, B, C – коефіцієнти, належним підбором яких досягається дотримання умов мажорювання і які залежать від поточного наближення X^k та відповідно до вимог визначаються за виразами

$$A^k = f(X^k) - \frac{[f(X^k)]^2}{2B^k}, \quad (5)$$

$$C^k = X^k - \frac{f(X^k)}{B^k}, \quad (6)$$

$$B^k = \max_i \left\{ \frac{f(X^k)}{f(X^k + e)} \right\} \quad (7) \quad \text{де}$$

Відповідно до умов поставленої задачі і деяких математичних перетворень та припущень, такий параболоїд буде мати вигляд

$$j(X) = A + \left[(x_R - d_x)^2 + (y_R - d_y)^2 \right] \times \frac{B}{2}, \quad (8)$$

де $d_x = a \times x_i + x_R^k \times (1 - a)$, $d_y = a \times y_i + y_R^k \times (1 - a)$ – координати точки мінімуму параболі, що мажоруює функцію (2) у визначеній площині мажорювання,

$$a = \min_i \left\{ \frac{\frac{R_i^k}{R_i^{hk}}}{\frac{R_i^k}{R_i^{hk}}} \right\} \times (m-1)^{-1},$$

$$B = \max_i \left\{ \frac{f(R_i^k)}{f(R_i^{hk})} \right\} = [m \times (m-1)] \times \max_i \left\{ \frac{(R_i^k)^{m-2}}{(R_i^{hk})^{m-2}} \right\},$$

де: $R^k = \|X^k - P\|$ – відстань від поточної точки до кожної з заданих точок на k -тому кроці ітераційного процесу;

$R^{hk} = \|X^{hk} - P\|$ – відстань від довільної (ньютонівської) точки до кожної з заданих точок на k -тому кроці ітераційного процесу;

X^k – вектор координат поточної точки на k -тому кроці ітераційного процесу;

X^{hk} – вектор координат довільної (ньютонівської) точки на k -тому кроці ітераційного процесу;

P – вектор координат заданих точок.

Довільну (ньютонівську) точку на k -тому кроці ітераційного процесу за умов даної задачі знаходять за виразом

$$X^{hk} = X^k - \frac{\dot{a}_i (R_i)^{m-2} \times (X^k - P_i)}{(m-1) \dot{a}_i (R_i)^{m-2}}, \quad (9)$$

на основі якої будують для кожної складової функції (2) мажоруючий параболоїд виду (8)

$$j_i = A_i + \|X - D_i\|^2 \times \frac{B_i}{2}, \quad (10)$$

де

$$B_i = [m \times (m-1)] \times \max_i \left\{ \frac{(R_i^k)^{m-2}}{(R_i^{hk})^{m-2}} \right\}, \quad (11)$$

$$D_i = P_i \times a_i - X \times (1 - a_i), \quad (12)$$

$$a_i = \frac{1}{m-1} \times \min_i \left\{ \frac{\frac{R_i^k}{R_i^{hk}}}{\frac{R_i^k}{R_i^{hk}}} \right\} \times (m-1)^{-1}. \quad (13)$$

Мінімум суми таких параболоїдів визначається за рекурентним виразом

$$X^{k+1} = X^k - \frac{\dot{a}_i (R_i)^{m-2} \times (X^k - P_i)}{(m-1) \dot{a}_i (R_i)^{m-2}}, \quad (14)$$

$$R_i^* = \max_i \left\{ \frac{(R_i^k)}{(R_i^{hk})} \right\} = \max_i \left\{ \frac{\|X^k - P_i\|}{\|X^{hk} - P_i\|} \right\}, \quad (15)$$

Кращої якості мажорювання можна досягти, якщо під час ітераційного процесу пошуку мінімуму функції буде здійснюватися не тільки зменшення довжини кроку, а і використовуватися більш раціональний шлях для даного випадку, який полягає у розширенні області мажорювання, що досягається корегуванням коефіцієнта B параболоїда (10) [5, 6]. Це також забезпечує знаходження величини поправки для наступного наближення до точки мінімуму. Вираз для корегування значення коефіцієнта B_i під час ітераційного процесу в кінцевому вигляді

$$B_i = \max_i \left\{ \frac{m \times (m-1) \times (R_i^k)^{m-2}}{m \times \frac{(R_i^{hk})^{m-1} - (R_i^k)^{m-1}}{R_i^{hk} - R_i^k}} \right\}, \quad (16)$$

що забезпечує зменшення ймовірності завчасного подрібнення приросту поправки в ході ітераційного процесу.

Загальна ідея рішення задачі (2) ґрунтується на комплексі операцій, коли починаючи з малих m , знаходячи точку

$$\hat{X} = \arg \min_X \dot{a}_i |R_i|^m, \quad (17)$$

яку використовують як початкову для організації ітераційного процесу при наступному (більшому) значенні m , виконуючи аналогічні дії і в подальшому, у кінцевому випадку знаходять потрібну точку мінімуму, коли два значення максимальних відстаней зрівнялися за величиною з встановленою точністю [5].

Надані математичні залежності (1)-(17) досить повно характеризують геометричну інтерпретацію поставленої задачі, але для забезпечення практичної реалізації процесу пошуку доречно уточнити порядок визначення відстані від точки мінімуму до підрозділів, зокрема, для умов використання для розрахунків електронної топографічної карти ввести у розрахунок відстаней коефіцієнт маршруту K_M за загальноприйнятими даними табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнт збільшення довжини маршруту

Характер місцевості	Коефіцієнт збільшення довжини маршруту на карті масштабу:		
	1:50000	1:100000	1:200000
Гірський (сильнопереїсечена)	1,15	1,20	1,25
Горбистий (середньопереїсечена)	1,05	1,10	1,15
Рівнинний (слабкопереїсечена)	1,0	1,0	1,05

Також доречно здійснювати прокладку шляхів та уточнення їх протяжності від точки мінімуму до елементів бойового порядку шляхом використання

хвильового алгоритму [12], для чого карта місцевості району дії військового формування задається у вигляді матриці

$$Z = z(x, y),$$

де кожний елемент визначає максимальні витрати на подолання ділянки з координатами (x, y) , які є матричними індексами номеру рядка та стовпця відповідно. Маршрути задаються координатами елементарних ділянок електронної карти. Це забезпечує формування шляху евакуації з урахуванням мережі доріг та прохідності пересіченої місцевості та забезпечує уточнення відстані від точки мінімаксу до підрозділів бойового порядку, що в подальшому підвищить реалістичність її визначення для заданої місцевості.

На основі наведених вище математичних викладок розроблений алгоритм пошуку мінімаксної точки для району розташування військового формування на місцевості, основним змістом його реалізації є вирішення задачі (2) при $m > 2$. Програмна реалізація розробленого алгоритму для його апробації була створена в середовищі MathCad.

Вирішимо поставлену задачу щодо розташування підрозділу резерву (забезпечення) для підтримки прийняття рішення щодо формування бойового порядку військового формування (для прикладу за вихідними даними рис. 1) за наступним алгоритмом:

Крок 1. Встановити підрозділи (рубежі), відносно яких здійснюється пошук мінімаксної точки (передбачуваного місця розташування підрозділу резерву (забезпечення), визначити координати ключових точок районів розташування підрозділів (рубежів) $P_i(x_i, y_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ і сформувати матрицю їх значень виду $P = \|x_i, y_i\|$ (табл. 2).

Таблиця 2

Координати точок районів розташування підрозділів і рубежів

	x	y
P_1	5,6	6,5
P_2	6,2	4,1
P_3	5,2	1
P_4	5,3	3,1
P_5	1,4	2
P_6	1,6	6,3
P_7	4,8	7
P_8	5,4	5,1

Крок 2. Встановити константу зупинки ітераційного процесу пошуку $EPS = 0,001$; максимальну кількість ітерацій для процесу пошуку $IT = 100$; показник степені допоміжної функції $m = 2, 6, \dots, 122$; коефіцієнт збільшення довжини маршруту K_M .

Крок 3. Встановити значення координат початкової довільної точки $X(x_0, y_0)$.

Крок 4. Розрахувати відстань R_i від поточної точки X^k до кожної із заданих P_i (3).

Крок 5. Провести порівняння зі значенням константи зупинки ітераційного процесу $R_i^k - R_i^{k-1} \leq EPS$ і кількості проведених ітерацій k з максимально встановленою IT . Якщо умови виконані, то переходимо до кроку 10.

Крок 6. Розрахувати значення координат довільної (ньютонівської) точки X^{hk} (9).

Крок 7. Розрахувати відстань R_i від довільної (ньютонівської) точки X^{hk} до кожної із заданих P_i .

Крок 8. Здійснити корегування значення коефіцієнта B_i (16) для уточнення зони мажорювання.

Крок 9. Розрахувати значення координат поточної точки наступної ітерації X^{k+1} (14). Повертаємося до кроку 4.

Крок 10. Збільшити значення показника степені допоміжної функції m . Повертаємося до кроку 4. Якщо встановлені значення показника вичерпані переходимо до кроку 11.

Крок 11. Одержати значення координат мінімаксної точки $P_R(x_R, y_R)$.

Крок 12. Одержати значення відстані R_i від мінімаксної точки P_R до кожної із заданих P_i .

Крок 13. Прийняти рішення щодо розміщення підрозділу резерву (забезпечення).

Результати реалізації алгоритму пошуку (фрагмент протоколу результатів розрахунків і графічна інтерпретація розміщення підрозділу резерву (забезпечення) за одержаними координатами мінімаксної точки) наведені на рис. 2.

Результати розрахунків показують, що ітераційний процес пошуку завершився при досягненні степені допоміжної функції $m = 122$, що підтверджує досвід практичного використання методу мажорювання функцій виду (2) [5, 6].

Для верифікації запропонованого алгоритму порівняємо результати вирішення поставленої задачі за алгоритмом [9, 10] пошуку точки, яка мінімізує сумарну відстань від місця розташування підрозділу резерву (забезпечення) до визначених районів і рубежів бойового порядку військового формування. Результати розрахунків (фрагмент протоколу результатів розрахунків і графічна інтерпретація розміщення підрозділу резерву (забезпечення) за одержаними координатами) наведені на рис. 3.

Порівняння одержаних результатів підтверджує працездатність розробленого алгоритму пошуку місця розташування підрозділу резерву (забезпечення) за мінімаксимним критерієм щодо відстані до підрозділів і рубежів бойового порядку військового формування.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	4.438	4.389	2.41	1.786	3.473	1.542	3.864	3.421	2.636	1.197	3	20.331
2	6	3.876	4.111	2.946	2.324	3.381	1.74	3.254	3.158	3.034	1.817	6	21.654
3	10	3.827	4.042	3.031	2.374	3.337	1.743	3.171	3.172	3.114	1.896	4	21.838
4	14	3.821	4.012	3.059	2.381	3.313	1.732	3.147	3.189	3.145	1.918	3	21.884
5	18	3.821	3.993	3.074	2.381	3.296	1.722	3.136	3.202	3.162	1.928	3	21.901
27	106	3.824	3.942	3.114	2.381	3.248	1.694	3.106	3.242	3.21	1.955	2	21.95
28	110	3.824	3.941	3.115	2.382	3.247	1.694	3.105	3.242	3.211	1.956	2	21.952
29	114	3.823	3.941	3.116	2.382	3.247	1.695	3.104	3.242	3.212	1.957	2	21.955
30	118	3.822	3.94	3.117	2.384	3.247	1.695	3.103	3.241	3.213	1.959	3	21.959
31	122	3.821	3.939	3.118	2.384	3.247	1.696	3.102	3.241	3.214	1.96	2	21.961

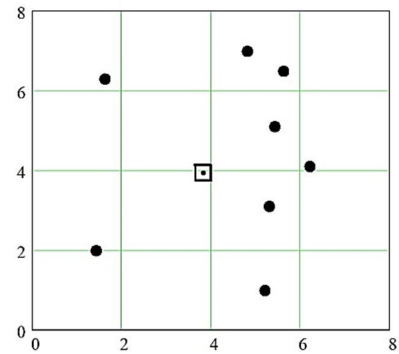


Рис. 2. Результат роботи алгоритму пошуку місця розташування підрозділу резерву (забезпечення) за мінімаксним критерієм:

позначення колонок протоколу: 1 – величина степені m допоміжної функції; 2, 3 – координати точки мінімуму на кожному кроці ітераційного процесу пошуку (відповідно x , y); 4-11 – відстань від точки мінімуму до кожної із заданих точок; 12 – число ітерацій для мінімізації допоміжної функції при кожному значенні степені m ; 13 – сумарна відстань від точки мінімуму до кожної із заданих

	1	2	3	4
1	1	0	0	52.31
2	2	3.837	3.739	22.185
3	3	4.634	4.223	20.162
4	4	4.93	4.417	19.802
5	5	5.033	4.532	19.72
6	6	5.073	4.609	19.692
7	7	5.092	4.66	19.679
8	8	5.103	4.695	19.674
9	9	5.11	4.718	19.671
10	10	5.116	4.735	19.67
11	11	5.119	4.746	19.669

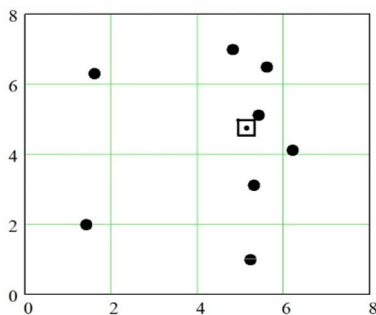


Рис. 3. Результат роботи алгоритму пошуку місця розташування підрозділу резерву (забезпечення) за критерієм мінімуму сумарної відстані:

позначення колонок протоколу: 1 – номер ітерації пошуку; 2, 3 – координати точки мінімуму; 4 – сумарна відстань від точки до кожної із заданих

Висновок

Запропонований алгоритм пошуку місця розташування підрозділу резерву (забезпечення) за мінімаксним критерієм щодо відстані до підрозділів і рубежів бойового порядку військового формування дозволяє визначити координати точки на карті місцевості, яка забезпечить мінімізацію максимального часу оперативного реагування на зміну бойової обстановки.

Реалізація алгоритму в системі підтримки прийняття рішення забезпечить підвищення оперативності та обґрунтованості прийняття рішення щодо позиціонування підрозділів резерву (забезпечення) у загальній побудові бойового порядку військового формування [11].

У задачах оптимального розміщення підрозділів необхідно також враховувати обмеження на розміщення у вигляді бар'єрних або заборонених зон. Частково це реалізовано під час використання хвильового алгоритму для корегування відстані від мінімаксної точки до підрозділів і рубежів бойового порядку. Але більш детальна реалізація таких обмежень є можливою перспективою для подальших розвідок у даному напрямі.

Список літератури

1. Марк Де Берг, Отфрид Чеонг, Марк Ван Кревельд, Марк Овермарс. Вычислительная геометрия. Алгоритмы и приложения. 3-е изд. / Пер. с англ. Слинкин А. А. Москва: ДМК Пресс, 2017. 438 с.
2. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение. Москва: Мир, 1989. 478 с.
3. Терещенко В.М. Аналіз методів розв'язання оптимізаційних задач обчислювальної геометрії: навчальний посібник. Київ: КНУ, 2020, 77 с.
4. Поляк Б.Т. Метод Ньютона и его роль в оптимизации и вычислительной математике. Труды ИСА РАН. Москва, 2006. Т. 28. С. 48–65.
5. Мудров В.И., Ивлев А.А. Мажоранты Ньютона в прикладных задачах. Теория, алгоритмы, программы. Москва: Радио и связь, 1987. 144 с.
6. Маршалл А., Олкин И. Неравенства: теория мажоризации и ее приложения: Пер. с англ. Москва: Мир, 1983. 576 с.
7. Норкін В.І. Оптимізаційні моделі антитерористичного захисту. Кібернетика і системний аналіз. Київ, 2018. Т. 54, № 6. С. 75–88.
8. Долгов Р.В. Модель процесу розміщення сил і засобів технічного забезпечення окремої механізованої бригади

на місцевості при організації управління відновленням озброєння, військової техніки в операції армійського корпусу об'єднаних сил швидкого реагування. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2012. № 7. С. 117–120.

9. Чорний М.В., Долгов Р.В. Позиціонування евакуаційних (ремонтно-евакуаційних) органів військового формування на місцевості. *Системи озброєння і військова техніка*. Харків, 2014. № 1(37). С. 88–92.

10. Чорний М.В., Долгов Р.В. Система підтримки прийняття рішення щодо позиціонування органів технічного забезпечення військового формування на місцевості. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2015. № 13. С. 96–101.

11. Тарасов В.А., Герасимов Б.М., Левин И.А., Корнейчук В.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: теория, синтез, эффективность. Київ: МАКС, 2007. 336 с.

12. Дорогов А. Ю., Лесных В. Ю., Раков И. В., Титов Г. С. Алгоритмы оптимального движения мобильных объектов по пересеченной местности и транспортной сети. *ААЭКС*. Херсон, 2009. № 1(23). С. 138–146.

Reference

1. Mark De Berg, Otfried Cheong, Mark Van Creveld and Mark Overmars. (2017) "Computational geometry. Algorithms and applications" 3rd ed. / Per. from English. Slinkin A. A. DMK Press, Moscow, 438 p. [in Russian].

2. Preparata F. and Sheimos M. (1989), "Computational Geometry: An Introduction", Mir, Moscow, 478 p. [in Russian].

3. Tereshchenko V.M. (2020), "Analiz metodiv rozv'yazannya optymizatsiynykh zadach obchyslyval'noyi heometriyi" [Analysis of methods for developing optimization problems of computational geometry]: Tutorial, Kiev, KNU, 77 p. [in Ukrainian].

4. Polyak B.T. (2006), "Metod N'yutona i yego rol' v optimizatsii i vychislitel'noy matematike" [Newton's method and its role in optimization and computational mathematics]. *Proceedings of the ISA RAS*. Moscow, 2006. Vol. 28, pp. 48–65. [in Russian].

5. Mudrov V.I. and Ivlev A.A. (1987), "Mazhoranty N'yutona v prikladnykh zadachakh. Teoriya, algoritmy, programmy" [Majorants Newton in applied problems. Theory, algorithms, programs], Radio and communication, Moscow, 144 p. [in Russian].

6. Marshall A. and Olkin I. (1983), "Inequalities: majorization theory and its applications", Per. from English. Mir, Moscow, 576 p. [in Russian].

7. Norkin V.I. (2018), "Optymizatsiyni modeli antyterrorystychnoho zakhystu" [Optimization models of anti-terrorist attack]. *Cybernetics and system analysis*. Kiev, 2018. Vol. 54, No. 6. pp. 75–88. [in Ukrainian].

8. Dolgov R.V. (2012), "Model' protsesu rozmishchennya syl i zasobiv tekhnichnoho zabezpechennya okremoyi mekhanizovanoi bryhady na mistsevasty pry orhanizatsiyi upravlinnya vidnovlenniam ozbroynennya, viys'kovoyi tekhniki v operatsiyi armiys'koho korpusu ob'yednanykh syl shvydkoho reahuvannya" [Model of the process of placing forces and means of technical support of a separate mechanized brigade in the area during the organization of management of the recovery of weapons, military equipment in the operation of the army corps of the joint rapid response forces]. *Vijskovo-technical collection*. Lviv, 2012. Issue No. 7. pp. 117–120. [in Ukrainian].

9. Chorniy M.V. and Dolgov R.V. (2014), "Pozytsionuvannya evakuatsiynykh (remontno-evakuatsiynykh) orhaniv viys'kovoho formuvannya na mistsevasty" [Positioning of evacuation (repair-evacuation) bodies of military formations in the area]. *Systems of construction and modern technology*. Kharkiv, 2014. Issue No. 1(37). pp. 88–92. [in Ukrainian].

10. Chorniy M.V. and Dolgov R.V. (2015), "Systema pidtrymky pryynattya rishennya shchodo pozytsionuvannya orhaniv tekhnichnoho zabezpechennya viys'kovoho formuvannya na mistsevasty" [A decision-making support system regarding the positioning of the technical support bodies of the military formation in the area]. *Vijskovo-technical collection*. Lviv, 2015. Issue No. 13. pp. 96–101. [in Ukrainian].

11. Tarasov V.A., Gerasimov B.M., Levin I.A. and Korneichuk V.A. (2007), "Intellektual'nyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy: teoriya, sintez, effektivnost'" [Intelligent decision support systems: theory, synthesis, efficiency], MAKS, Kiev, 336 p. [in Russian].

12. Dorogov A. Yu., Lesnykh V. Yu., Rakov I. V. and Titov G. S. (2009), "Algoritmy optimal'nogo dvizheniya mobil'nykh ob'yektov po peresechennoy mestnosti i transportnoy seti" [Algorithms for the optimal movement of mobile objects over rough terrain and a transport network]. *AAEX*. Kherson, 2009. Issue No. 1(23). pp. 138–146. [in Russian].

ALGORITHM TO SUPPORT DECISION-MAKING REGARDING THE PLACEMENT OF RESERVE UNITS AND LOGISTICAL SUPPORT OF MILITARY FORMATIONS IN THE AREA ACCORDING TO THE MINIMAX CRITERION.

Chorniy M., Matuzko B., Mishchenko Ya., Zagrebelnyi S.

The scientific issues of the article are aimed at the development of an algorithm for solving one of the important in practice of the class of problems of computational geometry - optimization. This task is related to the optimal placement of reserve units and logistical support of the military formation in the area according to the minimax criterion, which will be the basis for making a decision on the formation of a battle order and will ensure the minimization of the maximum response time to a change in the situation and the time of evacuation (carriage) in the conditions of increasing dynamic and spatial indicators of hostilities.

The essence of the study is to choose a method of optimizing the function of the set of concentric circles based on its majorization by a paraboloid to solve the problem of placing a reserve unit and logistical support according to the minimax criterion and developing, based on it, an algorithm to support decision-making regarding the formation of the order of battle of a military formation in the area.

Methods of optimization, computational geometry and algorithmization were used to solve the problem.

The result of the work is a developed algorithm for finding the minimax point on the terrain in the area of hostilities relative to the units of the military formation and the defined boundaries.

The implementation of the algorithm in the decision-making support system will ensure an increase in the efficiency and reasonableness of decision-making regarding the positioning of reserve units and logistical support in the overall construction of the order of battle of the military formation.

Keywords: algorithm, decision support, minimax criterion, majorization.