

В.В. Литвин¹, Д.І. Угрин², С.Ф. Шевчук², О.Д. Іл'юк²

¹ Національний університет «Львівська політехніка», Львів

² Чернівецький факультет Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Чернівці

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ БЕЗПЕЧНОГО ШЛЯХУ ІЗ ВОГНЕВИМ ТА ОБОРОННИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ВІЙСЬКОВИХ ГРУП НА ОСНОВІ ПОБУДОВИ ШТУЧНОЇ ІМУННОЇ СИСТЕМИ ТА АЛГОРИТМУ БАКТЕРІАЛЬНОГО ПОШУКУ

Запропоновано метод пошуку безпечного маршруту військових одиниць під час ведення бойових дій шляхом використання оптимізаційного алгоритму бактеріального пошуку. Розроблено математичну модель методу пошуку безпечного маршруту. Виконано SWOT-аналіз запропонованого методу. Визначені області потенційного застосування методу.

Ключові слова: алгоритм бактеріального пошуку, безпечний шлях, прогнозування рішень, покрив кластерів.

Вступ

Постановка проблеми. В останні роки інтенсивно розробляється науковий напрямок з назвою «Природні обчислення», які об'єднують математичні методи, в яких закладені принципи природних механізмів прийняття рішень. Ці механізми забезпечують ефективну адаптацію флори і фауни до навколишнього середовища протягом декількох мільйонів років.

Серед таких методів, які дозволяють вирішувати задачі транспортного типу, є використання ройових алгоритмів.

Проте застосування до задач транспортного типу лише класичних алгоритмів не дозволить вирішувати задачі, які мають значний об'єм змінних параметрів процесу побудови транспортних зв'язків.

В даному дослідженні пропонується використати алгоритм бактеріального пошуку із накладанням даних на мапу та використанням принципу побудови багатокритеріальної задачі на основі запропонованих даних.

У даному дослідженні будуть використані методи та алгоритми, що засновані на принципах ройових алгоритмів оптимізації.

Об'єктом даного дослідження є процес пошуку безпечного шляху військових одиниць від початкової позиції до кінцевої. Для того, щоб виконати даний процес, потрібно розташувати об'єкти процесу побудови безпечного транспортного шляху та побудувати загальну схему логіки алгоритму, зображену на рис. 1.

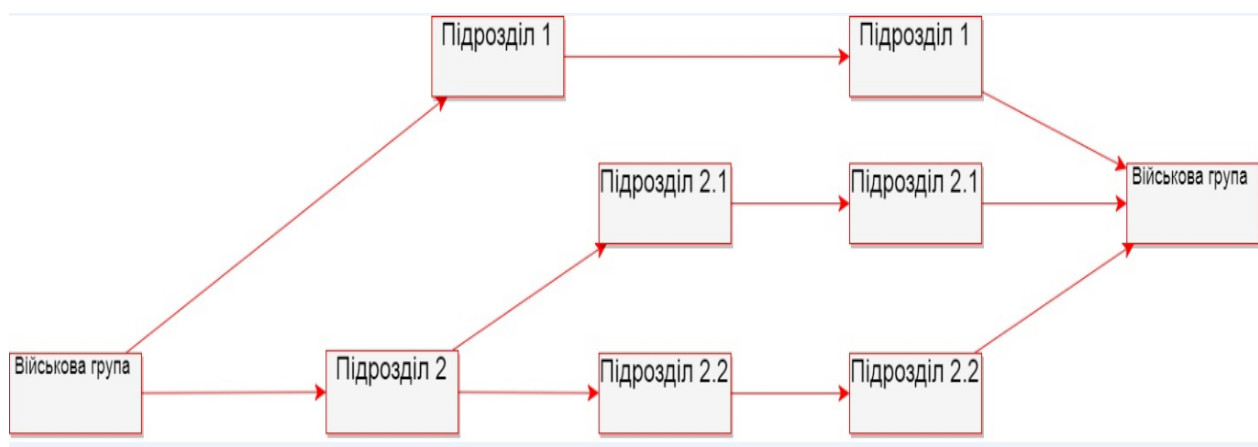


Рис. 1. Логічна схема перегрупування групи

Загальна схема пояснює процес розподілення військової групи на підрозділи. Відомий факт, що меншими групами значно легше оперувати та їх мобільність значно ефективніша. Звідси можна зробити висновок, що збільшуються такі параметри як:

1. Швидкість.
2. Маневреність.
3. Площа ураження.
4. Вимушена збільшена точність ворога.

Таким чином, у даному дослідженні буде запропоновано метод отримання ефективного результату при перегрупованні військових одиниць з початкової точки на задану позицію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасності при виконанні задач транспортного типу [1–4] часто використовують такі алгоритми як:

1. Мурашиний.
2. Генетичний.
3. Алгоритм сірих вовків.
4. Бджолиний алгоритм.

Проблема в тому, що використовуючи вище перераховані алгоритми у класичному їх розумінні, охопити увесь аспект запропонованої задачі неможливо.

Мурашиний алгоритм працює за принципом поведінки колонії мурах [5]. Коли мурахи шукають їжу, у нашому випадку безпечну позицію, вони рухаються в одному і тому ж самому напрямку усією колонією. Цей шлях вони обирають за допомогою виділення феромонів. На якому шляху більша кількість виділеного феромону, той шлях вважатиметься найефективнішим.

Уявімо, що усі війська рухаються по одному і тому ж самому напрямку. При розвідці ворога чи при виявленні позиції військ шляхом ведення вогню ворогу легко виявити позицію, і, як наслідок, наші війська будуть знищені. Тому даний метод не в повному розмірі вирішить задачу подібного роду.

Генетичний алгоритм, у класичному його вигляді, дещо більше розширить можливості завдяки схрещуванню двох рішень [6–8]. Проте у військовій спеціальності помилка може бути фатальною, тому неправильне рішення вже містить в собі втрати. Тому такий алгоритм також не в повному обсязі вирішить задачу.

Алгоритм сірих вовків дозволить перегруповувати військові одиниці завдяки своєму природному механізму збиватись у зграю атакуючи здобич, в нашому випадку безпечну позицію [9–10]. Проте сірі вовки рухаються колом та така поведінка містить в собі цикл, що також можна спрогнозувати і нанести удар у відповідь.

Бджолиний алгоритм дозволить значно ефективніше розподілювати військові одиниці шляхом їх розсіювання [11–13]. Проте хаотична діяльність військових одиниць не дозволить вести вогонь у відпо-

відь, так як військовий потенціал буде напрямлений близько до нуля.

Тому постає проблема, яка полягає в тому, щоб знайти такий алгоритм, який дозволить вирішити перелічені аспекти даної задачі.

Формулювання мети статті. Мета дослідження – розробити гібридний метод пошуку безпечного маршруту із вогневим та оборонним потенціалом на небезпечних ділянках на основі використання роевих алгоритмів і методу побудови штучної імунної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Проаналізувати існуючі рішення питання і виявити проблемні аспекти дослідження.
2. Побудувати багатокритеріальну задачу та розробити математичну модель пошуку безпечного маршруту військових одиниць на небезпечних ділянках.
3. Виявити потенційних учасників процесу пошуку безпечного маршруту на небезпечних ділянках.
4. Проаналізувати розроблений метод використовуючи результати алгоритму бактеріального пошуку на мапі Донецької області, району Авдіївки.

Виклад основного матеріалу

Алгоритм бактеріального пошуку розроблений Кевіном Пасіно, що заснований на моделюванні процесу пошуку речовин бактеріями виду *E.coli*. Ціль руху даних бактерій базується на пошуку найбільш сприятливих умов для їх існування (багато їжі, відсутність шкідливих речовин).

Клітина кожної бактерії має спеціальні вусики, які можуть рухатись у різних напрямках. Їх особливість в тому, що при оберті в один і той самий бік, вусики рухаються синхронно, що призводить клітину у рух. Якщо вусики починають рухатись в інший бік, то синхронність втрачається і вусики починають рухатись у протилежний бік, що фактично призводить до розділення клітини.

Кожна клітина фактично відслідковує свій рух і має намір знову повернутись у початковий стан.

Також, якщо клітина рухається у напрямку збільшення градієнту (безпечної позиції), то площа розподілення вусиків зменшується і вона повертається у стан спокою. Якщо ж кількість градієнту починає зменшуватись, то вусики рухаються швидше у напрямку безпечної позиції та починають зростати.

Отже, застосуємо запропонований алгоритм бактеріального пошуку на задачі транспортного типу у військовій діяльності:

Нехай, потрібно знайти глобальний максимум функції $f(x)$ (військова група) спрямовану в деякому просторі рішень R^n (мапа).

Границі вказані прямокутником – це мапа процесу, а максимум функції – це кількість військових одиниць у військовій групі.

Алгоритм, полягає в тому, що рішення запропонованої оптимізаційної транспортної задачі шукається за допомогою колонії штучних бактерій, в даному випадку кількістю військових одиниць S .

Кількість військових одиниць у групі позначена підрозділами один та два.

Сам алгоритм складається із декількох вкладених у нього циклів. Внутрішній цикл моделює рух бактерій, які виконують декілька кроків заданої довжини δ у заданому напрямку, який задається вектором e_i одиничної довжини.

Довжина вказана напрямками підрозділів першим та другим. Даний цикл продовження довжини задається до тих пір, поки градієнт не зменшиться до нуля.

Після того як буде виконано задані цикли, виконується відбір кращих бактерій і їх ділення. Гірша частина всіх бактерій видаляється, при чому початкова кількість бактерій лишається на поточній позиції та чекає черги наступного циклу для розподілення.

Щоб застосувати даний спосіб на мапі із потенційними ураженнями, потрібно ввести критерії ураження військових одиниць x із індексами i та j .

Формула схеми бактеріального пошуку виглядатиме наступним чином:

$$f(x) = f_{ij} + \delta \sum_{i,j=1}^S h(x_i - x_j).$$

При виконанні попередніх дій та заданої формули, отримуємо наступні результати, вказані на рис. 2:

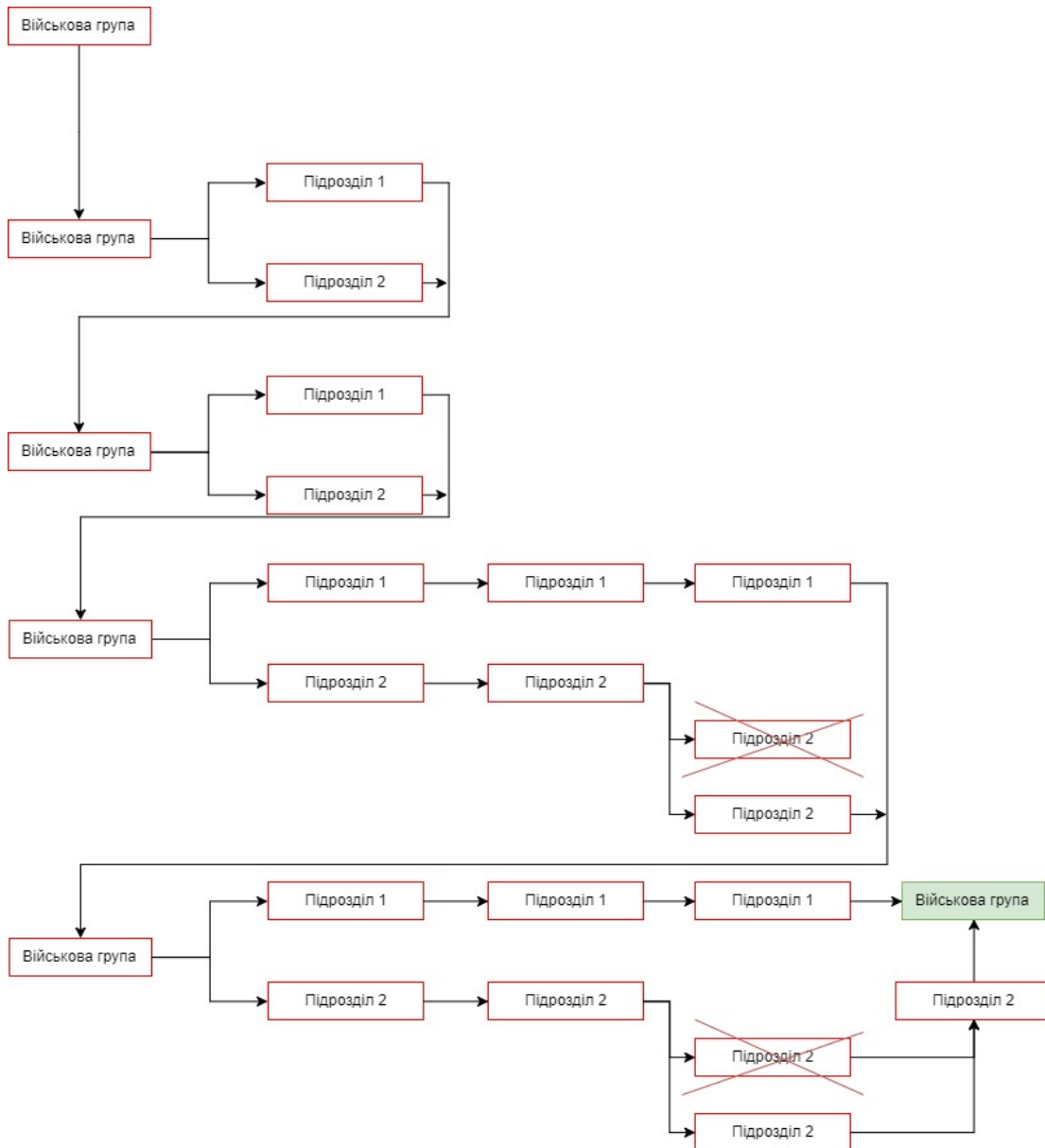


Рис. 2. Схема бактеріального пошуку безпечної позиції

Отже, з отриманих результатів військова група пройшла процес перегрупування та дійшла заданої безпечної позиції із початкової точки шляхом використання алгоритму бактеріального пошуку та побудови багатокритеріальної задачі.

Наступним етапом дослідження було визначення вогневого потенціалу груп та підрозділів. Для того щоб досягти поставлених цілей, було використано алгоритм штучної імунної системи.

Процес побудови та функціонування штучної імунної системи складається із наступних процесів: генерації, навчання, відбору та функціонування імунних детекторів на основі нейронних мереж.

Генерується початкова популяція імунних детекторів, кожен з яких являється штучною нейронною мережею. Подамо нейромережевий імунний детектор у вигляді групи військових одиниць, яка має n військових одиниць і два підрозділи z .

Вихідні значення детектора після подачі всіх образів на нього формуються наступним чином:

$$Z_1 = \begin{cases} 1, & \text{якщо шлях чистий;} \\ 0, & \text{інакше,} \end{cases}$$

$$Z_2 = \begin{cases} 1, & \text{якщо ворог;} \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases}$$

Для коректного функціонування нейромережеві імунні детектори мають пройти навчання. Навчальна вибірка формується із потенційних безпечних маршрутів та ворожих військ. Присутність ворожих військ чи їх образів при навчанні дозволить навчити імунні детектори знаходити різницю між безпечним маршрутом та маршрутом із ворожими військами.

Очевидно, що чим більше різних типів ворожих одиниць наявні у нейронній мережі, тим ширший аспект потенційних загроз мережа може охопити. Тому потрібно навчити нейронну мережу розпізнавати як можна більше типів ворожих військ,

таких як: наземні війська, артилерія, повітряні війська, ракетні установки і т.д.

Нейронна сітка навчається шляхом вбудови в неї наставника, який вказує, де знаходяться ворожі військові сили, а де – не ворожі наступним чином: нехай T – множина не ворожих військ, а F – множина ворожих військ. Із них випадковим чином формується множина вхідних образів для навчання i -го детектора (групи)

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i^1 \\ x_i^2 \\ \dots \\ x_i^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{i1}^1 \dots x_{in}^1 \\ x_{i1}^2 \dots x_{in}^2 \\ \dots \\ x_{i1}^L \dots x_{in}^L \end{bmatrix},$$

де L – розмірність навчальної вибірки. Відповідно множина еталонних образів виглядає наступним чином:

$$I_i = \begin{bmatrix} I_i^1 \\ I_i^2 \\ \dots \\ I_i^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{i1}^1 \dots I_{in}^1 \\ I_{i1}^2 \dots I_{in}^2 \\ \dots \\ I_{i1}^L \dots I_{in}^L \end{bmatrix}.$$

Навчання кожної групи військових одиниць здійснюється із ціллю мінімізації сумарної квадратичної помилки групи для отримання найбільш точного результату:

$$E_i = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^L \sum_{j=1}^2 (z_{ij}^k - I_{ij}^k)^2,$$

де z_{ij}^k значення j -го та i -го детектора означають рівень небезпеки ворожої групи при подачі на вхід k -го образу.

Процес навчання зображений на наступній UML схемі (рис. 3).

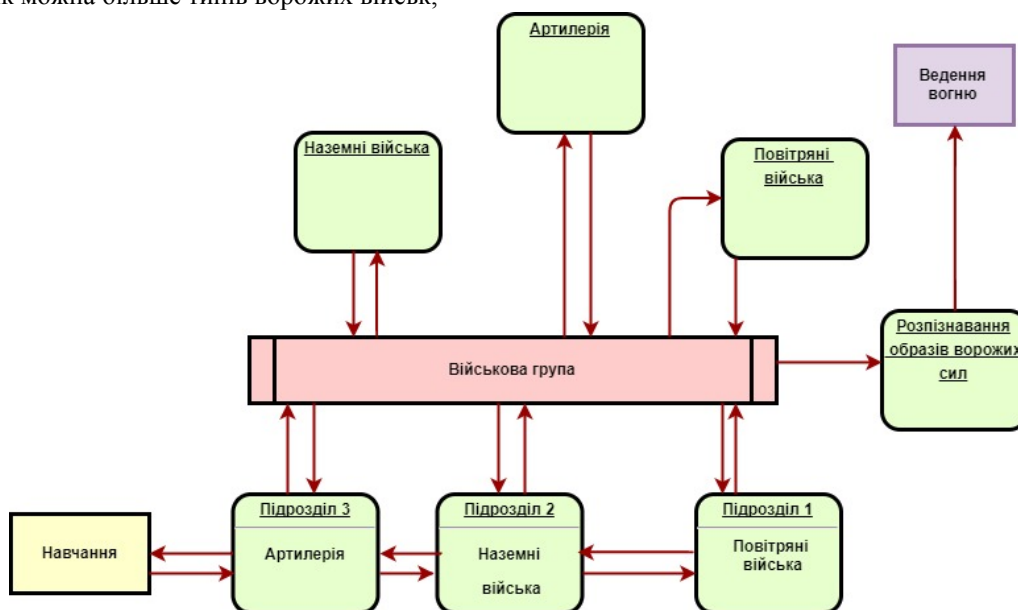


Рис. 3. Схема навчання нейронної мережі на предмет розпізнавання образів ворожих сил

Тобто військові групи включають в себе різні типи військових одиниць, тому необхідним є навчання військових сил на предмет боротьби із ворожими силами. Так як нейронна мережа повинна знати, який тип наявних військ найбільш підходить для знищення ворожого пункту.

Тому використовуючи запропонований підхід, можна отримати імунну систему військових груп,

яка є адаптивною до різних військових сценаріїв завдяки навчанню кожної військової одиниці нейронною мережею.

Для отримання найбільш ефективного результату потрібно підготувати заздалегідь схему поетапного процесу пошуку безпечного маршруту із вогневим потенціалом. Дана схема зображена на рис. 4.

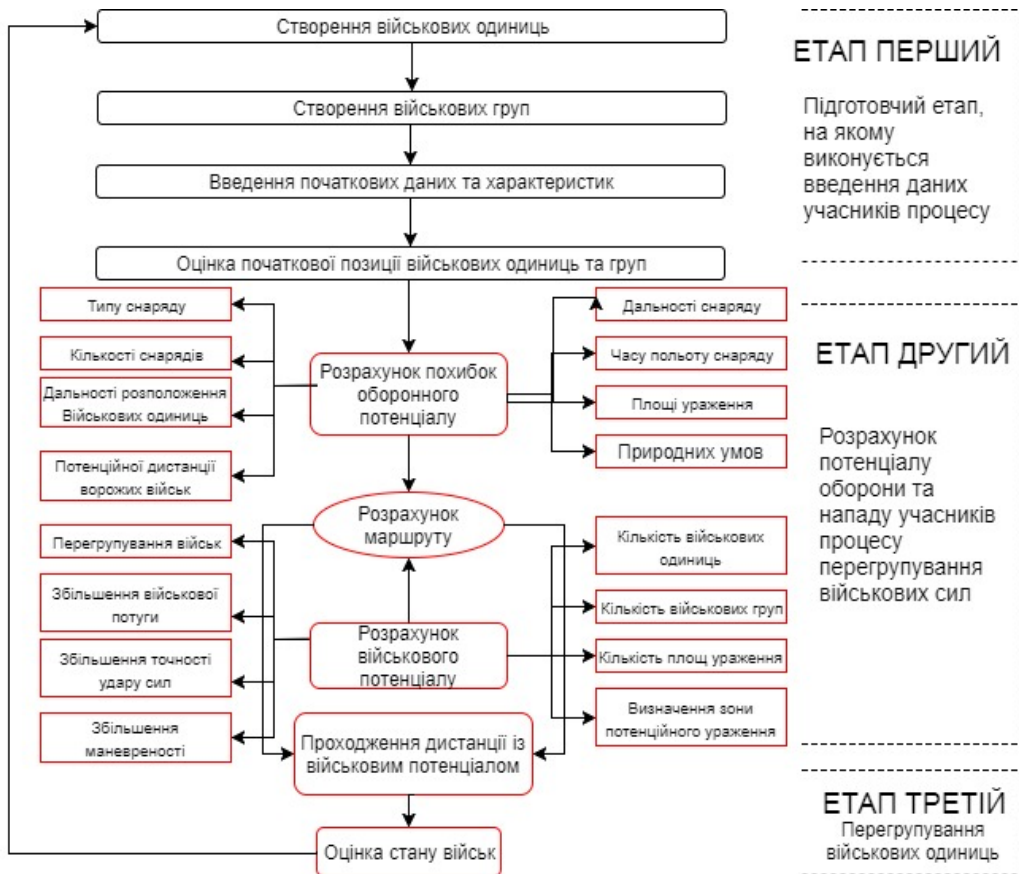


Рис. 4. Блок-схема етапів розрахунку безпечного маршруту із вогневим потенціалом

Застосуємо розроблений метод на мапі Донецької області поблизу Авдіївки, а саме перегрупуе-

мо військову групу із початкової точки у задану, що вказана на рис. 5.

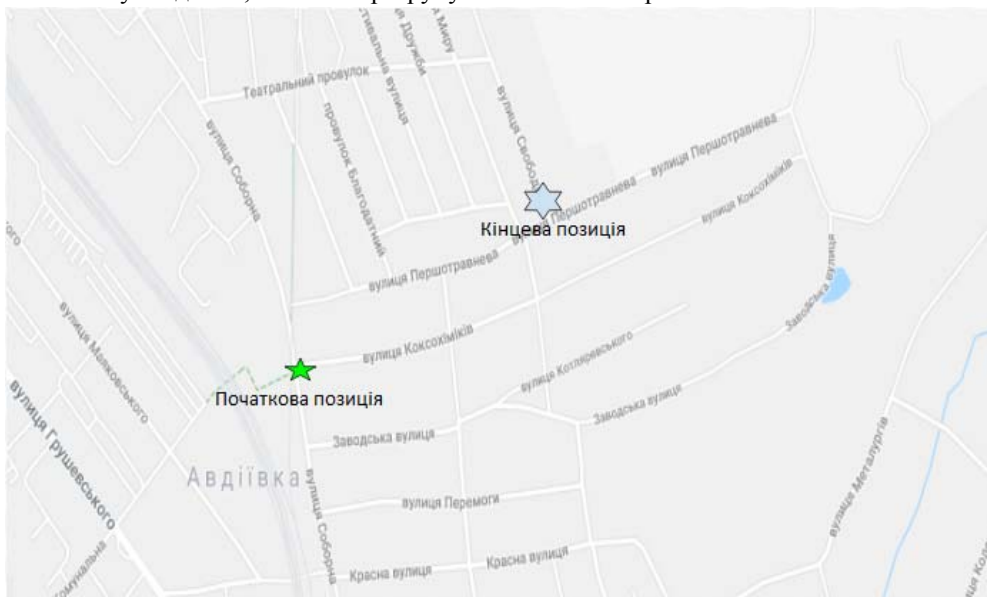


Рис. 5. Мапа Донецької області поблизу м. Авдіївка

На рис. 5 показано початкову точку на вулиці Коксохіміків та кінцеву позицію на вулиці Свободи.

Наступна задача полягає в тому, щоб визначити потенційні точки ураження на вулицях, що вказані на рис. 6.

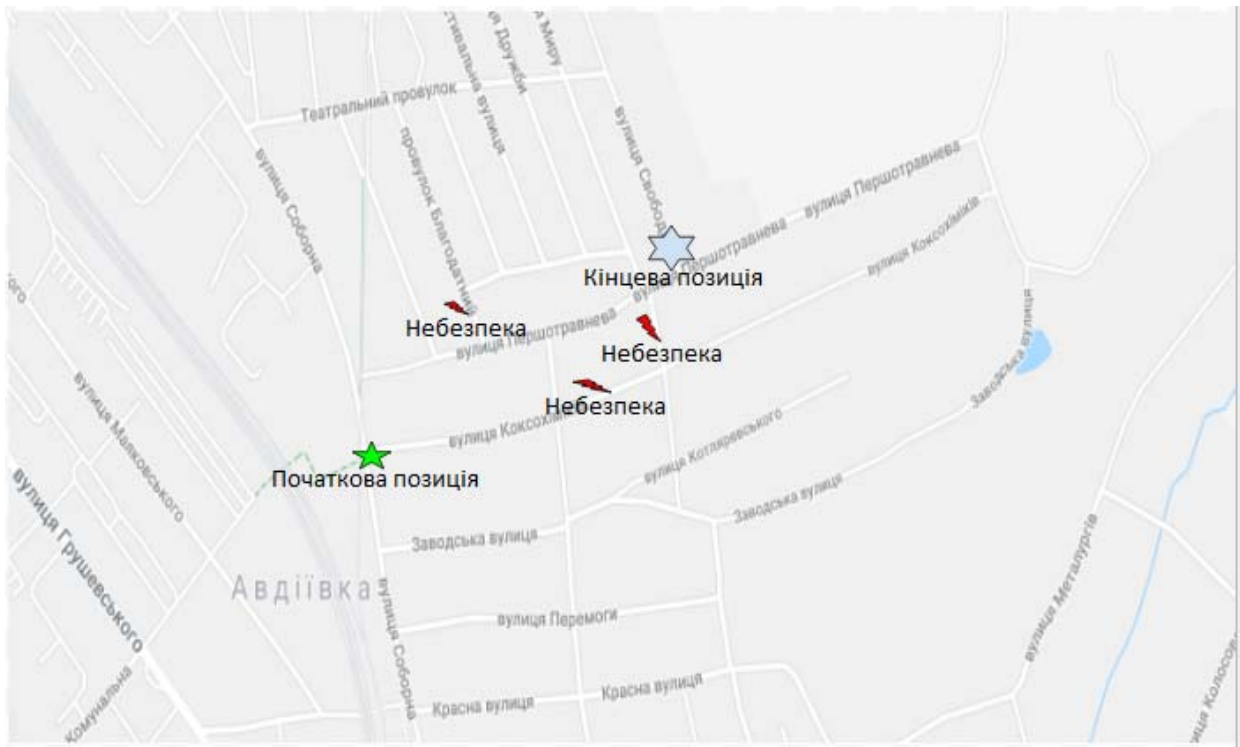


Рис. 6. Мапа м. Авдіївка

Потенційні точки ураження виникають вище перехрестя вулиці Коксохіміків, що ближче до перехрестя вулиці Першотравневої та на провулку Благодатному.

По заданому алгоритму військова група виконуватиме процедуру розподілення, для того щоб зменшити ризик ураження ворогом, як вказано на рис. 7.

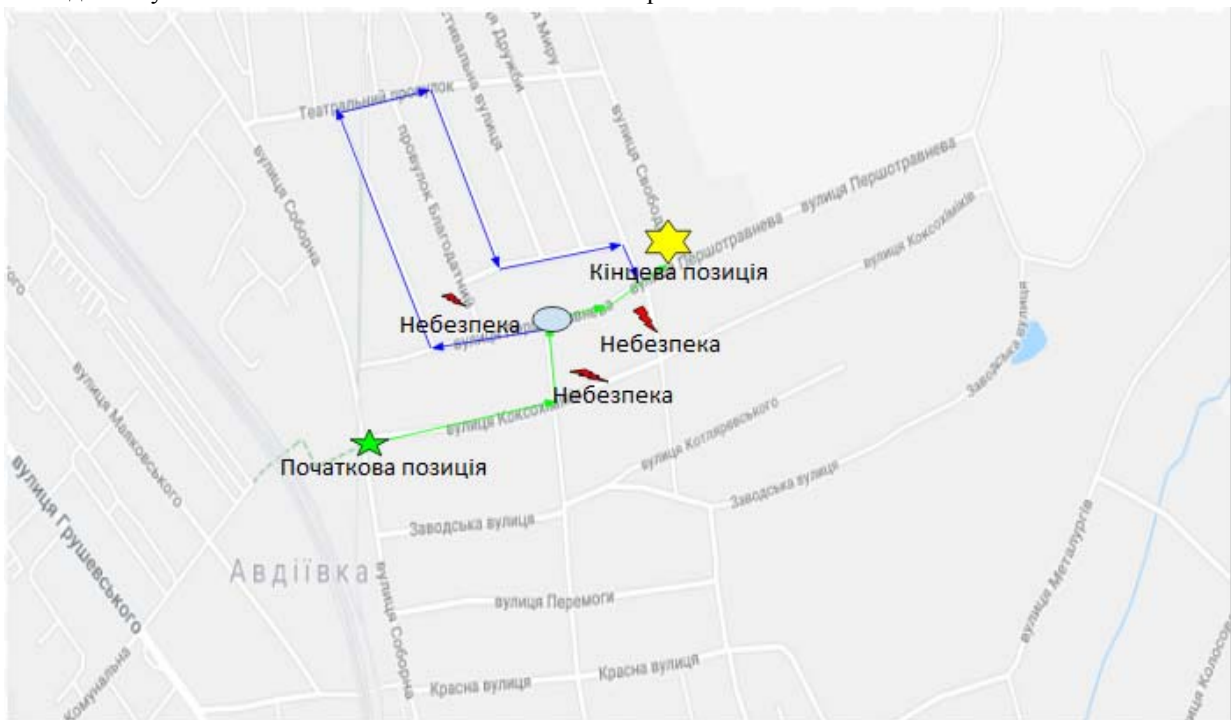


Рис. 7. Процедура розподілення військової групи

На вказаному рисунку можна побачити, що групи розподілились на два напрямки при виявленні першої загрози зі сторони ворога на перехресті вулиці Коксохіміків та обійшли їх у двох різних напрямках до місця збору. Результати застосованих параметрів випробування алгоритму на мапі показано у табл. 1.

Таблиця 1

Випробування першого підрозділу

f(x)	Характеристики маневру першого підрозділу				
S	1	1	1	1	1
δ	5	0	5	0	5
h	3	3	3	3	3
$x_{i,j}$	4	2	4	2	4
i	2	0	2	2	0
j	0	2	2	0	2

Після перегрупування військових одиниць другого підрозділу відбулися такі зміни (табл. 2).

Таблиця 2

Випробування другого підрозділу

f(x)	Характеристики маневру другого підрозділу				
S	1	1	1	1	1
δ	10	5	10	5	10
h	3	3	3	3	3
$x_{i,j}$	4	2	4	2	4
i	5	0	5	2	0
j	0	4	2	4	6

Перегрупування другого підрозділу відбулось значно довше, тому що пройдений шлях був більший, проте перегрупування відносно потенційних загроз відбувалось швидше, так як перша група вже зазнала дану потенційну загрозу.

Після проведення випробувань можна сформулювати алгоритм, який відобразить методи, за допомогою яких здійснюється пошук безпечного маршруту (рис. 8).

Таким чином, дане випробування пропонуваного алгоритму, зображеного на рис. 8, показало ефективні результати та виконало поставлені цілі у даному дослідженні, такі як перегрупування військових одиниць, забезпечення пройденого шляху відносно потенційних загроз, опираючись на показники безпеки, наведені нижче у табл. 3 та на рис. 9.

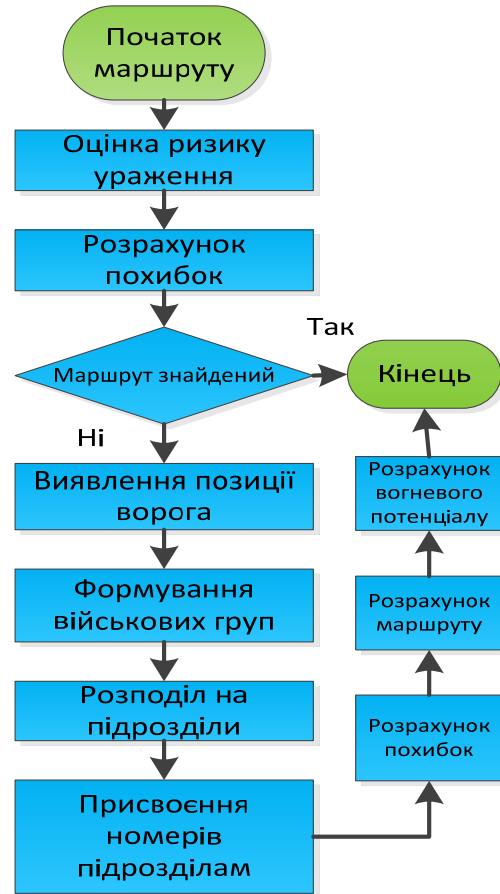


Рис. 8. Алгоритм пошуку безпечного маршруту із вогневим потенціалом

Після перегрупування військових одиниць відповідно до заданої загрози потрібно ефективно вести вогонь у відповідь, тобто мати певний вогневий потенціал військових груп.

Розглянемо навчену нейронну мережу на прикладі 3D моделі місцевості із будівлями та дорогами, а також із десантними військами та ворожою артилерією. Дана місцевість зображена на рис. 10.

Таблиця 3

Характеристики учасників процесу моделювання

Характеристики	Група	Перший підрозділ	Другий підрозділ
Похибка відстані, км	10%	50%	50%
Пройдена дистанція	100%	25%	75%
Похибка області ураження ворожих сил	10%	50%	100%
Зона обстрілу військової групи	100%	0%	0%
Вогневий потенціал	100%	200%	200%

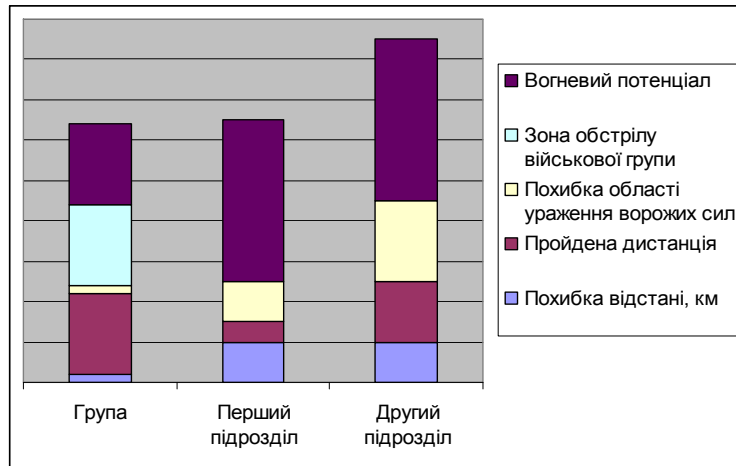


Рис. 9. Діаграма характеристик маневру перегрупування



Рис. 10. 3D модель місцевості ведення бойових дій

На даній місцевості розташуємо ворожу артилерію та десантні війська (рис. 11):



Рис. 11. Розташування військ

Червоним маркером позначено місце розташування ворожої артилерії, а зеленим розташування десантних військ.

Задамо область прострілу артилерією по заданій місцевості (рис. 12):



Рис. 12. Зона ураження ворожих сил

Нехай група складається із наземних військ. Їх ціль знайти безпечний маршрут та мати зону прострілу. Даний процес зображений на рис. 13.

Зона ураження ворогом позначена червоним відтінком. Як бачимо, початкова позиція військових сил знаходиться у зоні ураження, тому необхідно здійснити маневр перегрупування, тобто розбиття

на підрозділи. На рис. 13 також показано приклад розбиття десантних військ на два підрозділи. Таким чином вогневий потенціал збільшився завдяки збільшенню зони ураження ворожих військ та збільшенню місця для маневрів завдяки алгоритму бактеріального пошуку.

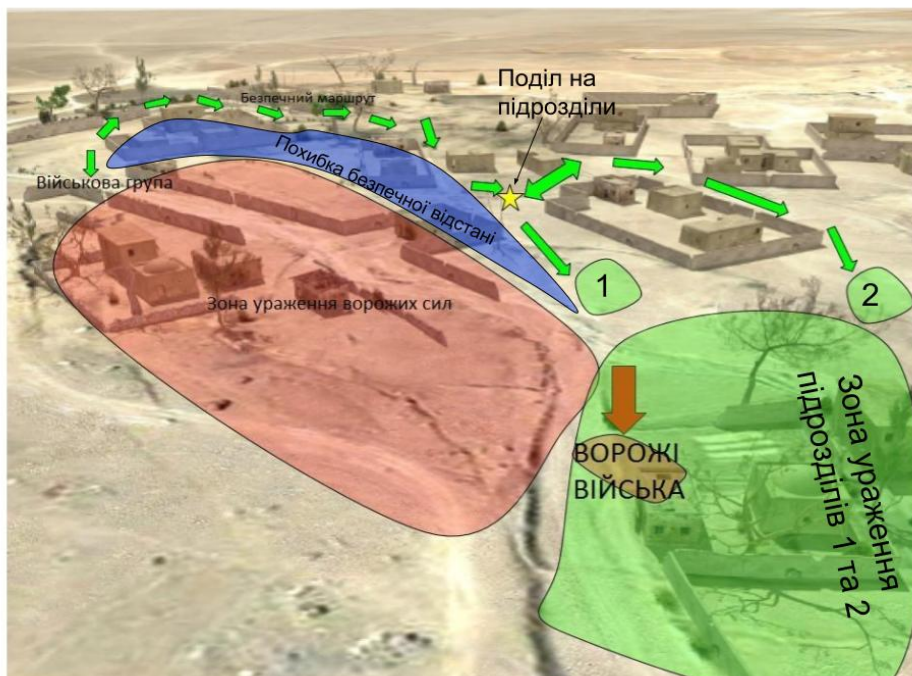


Рис.13. Розподіл на підрозділи

Вибір напрямлення групи військових одиниць здійснюється за наступними правилами:

1. Наявні 5 коефіцієнтів (похибок): $\alpha, \beta, \gamma, \rho, \lambda$.

2. Вибір похибки на кожній ітерації перегрупування здійснюється за таким правилом:

$$P_k = \frac{(f_k)^a}{\sum_i (f_i)^a}$$

Коефіцієнт α виявляє ступінь впливу загрози на k шляху на ймовірність того, що група обере саме цей шлях. У знаменнику сума усіх доступних шляхів.

3. Якщо F є значенням цільової функції на маршруті, то значення загрози на шляху ворожими силами по всьому маршруті Δf можна визначити як:

$$\Delta f = \left(\frac{F}{\gamma}\right)^\beta$$

Тут β та γ є коефіцієнтами інтенсивності росту загрози.

4. Після кожної ітерації кількість значення загрози на шляху зменшується відповідно до значень f та f' . Зменшення загрози характеризується коефіцієнтом ρ . Вважається, що на шляху завжди повинно залишатись деяке мінімальне значення загрози f_{\min} . Максимальне значення f_{\max} також обмежене. Коефіцієнт приймає значення від 0 до 1, таким чином після зменшення загрози на кожному шляху, зміна відбувається наступним чином:

$$f' = \begin{cases} f(1-\rho), f_{\min} < f(1-\rho) < f_{\max} \\ f_{\min}, f(1-\rho) \leq f_{\min} \\ f_{\max}, f(1-\rho) \geq f_{\max} \end{cases}$$

Після зменшення загрози на всіх шляхах, відповідний кращий результат додає кількість мінімальної загрози, яка визначається коефіцієнтом λ . Кінцевий результат буде рівний f'_{best} :

$$f'_{\text{best}} = \begin{cases} f_{\text{best}} \cdot \lambda, f_{\text{best}} \cdot \lambda < f_{\max} \\ f_{\max}, f_{\text{best}} \cdot \lambda \geq f_{\max} \end{cases}$$

Також результати дослідження дозволяють розробити кінцевий алгоритм роботи гібридного методу перегрупування військової групи із вогневим потенціалом по безпечному маршруту, зображений на рис. 14.

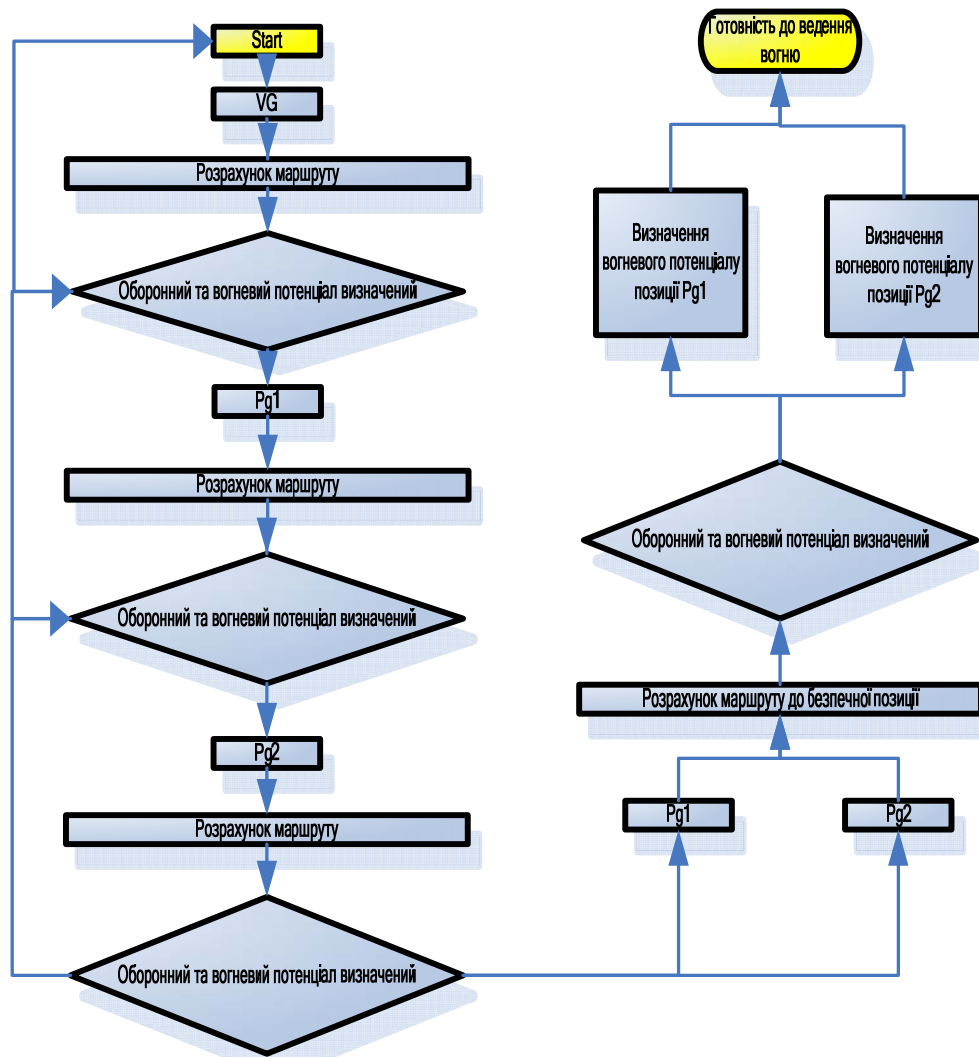


Рис. 14. Алгоритм роботи гібридного методу

Для зменшення загальної місткості пошукової процедури пропонується підхід, що заснований на декомпозиції структури даних, який використовується у процесах формування множин вершин графів. Отже граф $R(X, Y)$ є множиною безпечних маршрутів з вершинами X та Y . Введемо стартову вершину $Start$, яка є початковою позицією військової групи $VG_{row, def, trac}$, де індекс row є вогневим потенціалом, індекс def є оборонним потенціалом, а індекс $trac$ є безпечним маршрутом.

Аналогічно створені підгрупи Pg мають такі ж властивості. Наявні три перевірки на предмет: вогневого потенціалу, оборонного, безпечність маршруту.

Для тестування ефективності запропонованого гібридного підходу застосовуються задачі, присвячені питанням побудови багатоетапних процесів формування систем та алгоритмів.

У табл. 4–8 показані результати класичних алгоритмів, застосовані до еталонної задачі, а в табл. 9 показані результати, застосовані відповідно до гібридного підходу.

Таблиця 4

Результати мурашиного алгоритму

i	Порядок ітерацій				
α	1	2	3	4	5
β	1	2	3	4	5
γ	2	4	4	4	4
ρ	1	5	5	5	5
λ	5	4	3	2	1

Таблиця 5

Результати генетичного алгоритму

i	Порядок ітерацій				
α	1	2	3	4	5
β	1	2	3	4	5
γ	2	4	4	4	4
ρ	1	5	3	3	3
λ	5	4	3	2	1

Таблиця 6

Результати алгоритму рою часток

i	Порядок ітерацій				
α	1	2	3	4	5
β	1	2	3	4	5
γ	2	4	4	4	4
ρ	1	5	4	3	2
λ	5	4	3	2	1

Таблиця 7

Результати алгоритму сірих вовків

i	Порядок ітерацій				
α	1	2	3	4	5
β	1	2	3	4	5
γ	2	4	4	4	4
ρ	1	5	1	5	1
λ	5	4	3	2	1

Таблиця 8

Результати алгоритму жаб

i	Порядок ітерацій				
α	1	2	3	4	5
β	1	2	3	4	5
γ	2	4	4	4	4
ρ	1	5	5	3	2
λ	5	4	3	2	1

Таблиця 9

Результати гібридного підходу

i	Порядок ітерацій				
α	1	2	3	4	5
β	1	2	3	4	5
γ	2	4	4	4	4
ρ	1	2	1	2	1
λ	5	4	3	2	1

Порівняння алгоритмів показало, що більшість показників результатів по задачах поставлених у дослідженні практично не змінилися, проте поставлена ціль була виконана. Як бачимо при виконанні еталонної задачі результати гібридного підходу дали найменший показник степені загрози і його варіативність сягає від 1 до 2. В той час коли інші алгоритми у класичному вигляді не мають змогу надати кращий варіант.

Висновки

В ході дослідження був розроблений гібридний метод пошуку безпечного маршруту із вогневим та оборонним потенціалом на небезпечних ділянках на основі використання роєвих алгоритмів і методу побудови штучної імунної системи.

Для досягнення поставленої мети дослідження були виконані наступні цілі:

1. Проаналізовані існуючі рішення задач даного типу. Після аналізу був зроблений висновок, що для розробки потрібно використати гібридний підхід.
2. Для того, щоб розрахувати оборонний та вогневий потенціал, було розроблено багатокритеріальну задачу.

3. Для того, щоб виявити потенційних учасників процесу моделювання, був розроблений підхід навчання імунної системи шляхом використання алгоритму бактеріального пошуку.

Також було проведено моделювання пропонуваного гібридного підходу пошуку безпечного маршруту із вогневим та оборонним потенціалом війсь-

кових одиниць використовуючи програмний продукт 3D Max.

Після аналізу отриманих результатів ройовими алгоритмами та гібридний підходом було виявлено, що використовуючи гібридний метод рівень загрози ураження сягає мінімальної позначки. А при використанні класичних алгоритмів рівень загрози ураження вищий.

Список літератури

1. Wiener N. *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series with Engineering Applications* / N. Wiener. – Cambridge, MA: MIT Press, 1949. – 163 p.
2. McCulloch W. A logical calculus of ideas imminent in nervous activity / W. McCulloch, W. Pitts // *Bulletin of Mathematical Biophysics*. – 1943. – Vol. 5. – P. 115-133.
3. Hebb D.O. *The Organization of Behavior: A neuropsychological theory* / D.O. Hebb. – New York: Wiley, 1949.
5. Hopfield J.J. *Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities* / J.J. Hopfield // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 1982. – Vol. 79. – P. 2554-2558.
6. Rumelhart D.E. *Learning internal representations by error propagation* / D.E. Rumelhart // *Parallel distributed processing*. – Cambridge, MA: MIT Press, 1986. – Vol. 1. – P. 318-362.
7. Shannon C.E. *A mathematical theory of communications* / C.E. Shannon // *Bell System Technical Journal*. – 1948. – Vol. 27. – P. 379-423, 623-656.
8. Kung S.-Y. *Modeling and Applications of Hierarchical Fuzzy Neural Networks* / S.-Y. Kung, J. Taur, S.-H. Lin // *Proceedings of the IEEE*. – September 1999. – Vol. 87, no. 9. – P. 1551-1574.
9. Ackley D.H. *A Learning Algorithm for Boltzmann Machines* / D.H. Ackley, G.E. Hinton, T.J. Sejnowski // *Cognitive Science*. – 1985. – Vol. 9. – P. 147-160.
10. Breiman L. *Classification and Regression Trees* / L. Breiman, J.H. Friedman, R.A. Olshen, C.J. Stone. – Wadsworth International Group, Belmont, CA, 1984.
11. Giles C.L. *Learning, Invariance, and Generalization in HighOrder Networks* / C.L. Giles, T. Maxwell // *Applied Optics*. – Dec. 1987. – Vol. 26. – P. 4972-4978.
12. Farlow S. *Self-Organizing Methods in Modeling* / S. Farlow. – Marcel Dekker, 1984.
13. Hampshire J. *Equivalence Proofs for Multi-Layer Perceptron Classifiers and the Bayesian Discriminant Function* / J. Hampshire, B. Pearlmutter // *Proc. of the 1990 Connectionist Models Summer School, San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers*. – 1990. – p. 1-13.

References

1. Wiener, N. (1949), *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series with Engineering Applications*, MIT Press Cambridge, MA, 163 p.
2. McCulloch, W. and Pitts, W. (1943), A logical calculus of ideas imminent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol. 5, pp. 115-133.
3. Hebb, D.O. (1949), *The Organization of Behavior: A neuropsychological theory*, Wiley, New York.
5. Hopfield, J.J. (1982), Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 79, pp. 2554-2558.
6. Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J. (1986), Learning internal representations by error propagation, *Parallel distributed processing*, Vol. 1, pp. 318-362.
7. Shannon, C.E. (1948), A mathematical theory of communications, *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379-423, 623-656.
8. Kung, S.-Y., Taur, J. and Lin, S.-H. (1999), Synergistic Modeling and Applications of Hierarchical Fuzzy Neural Networks, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 87, No. 9, pp. 1551-1574.
9. Ackley, D.H., Hinton, G.E. and Sejnowski, T.J. (1985), A Learning Algorithm for Boltzmann Machines, *Cognitive Science*, Vol. 9, pp. 147-160.
10. Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. and Stone, C.J. (1984), *Classification and Regression Trees*, Wadsworth International Group, Belmont, CA.
11. Giles, C.L. and Maxwell, T. (1987), Learning, Invariance, and Generalization in HighOrder Networks, *Applied Optics*, Vol. 26, pp. 4972-4978.
12. Farlow, S. (1984), *Self-Organizing Methods in Modeling*, Marcel Dekker.
13. Hampshire, J. and Pearlmutter, B. (1990), Equivalence Proofs for Multi-Layer Perceptron Classifiers and the Bayesian Discriminant Function, *Proc. of the 1990 Connectionist Models Summer School*, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, pp. 1-13.

Надійшла до редколегії 25.12.2017
Схвалена до друку 15.02.2018

Відомості про авторів:**Литвин Василь Володимирович**

доктор технічних наук професор
завідувач кафедри
Національний університет «Львівська політехніка»,
Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9676-0180>
e-mail: vasyi.v.lytvyn@lpnu.ua

Угрин Дмитро Ілліч

кандидат технічних наук доцент
завідувач кафедри
Чернівецький факультет Національного технічного
університету «Харківський політехнічний інститут»,
Чернівці, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4858-4511>
e-mail: ugrund@gmail.com

Шевчук Сергій Федорович

кандидат технічних наук доцент
доцент кафедри
Чернівецький факультет Національного технічного
університету «Харківський політехнічний інститут»,
Чернівці, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7833-3660>
e-mail: Shevchuk_sergey_2015@ukr.net

Іл'юк Олексій Дмитрович

студент кафедри бакалавр
Чернівецький факультет Національного технічного
університету «Харківський політехнічний інститут»,
Чернівці, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0904-3045>
e-mail: olexiyilyukm@gmail.com

Information about the authors:**Vasyl Lytvyn**

Doctor of Technical Sciences Professor
Head of Department
of National University «Lviv Polytechnic»,
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9676-0180>
e-mail: yevhen.v.burov@lpnu.ua

Dmytro Ugryn

PhD Associate Professor
Head of Department
of Chernivtsi Faculty of the National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Chernivtsi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4858-4511>
e-mail: ugrund@mail.ru

Sergey Shevchuk

PhD Associate Professor
Senior Lecturer Department of
Chernivtsi Faculty of the National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Chernivtsi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7833-3660>
e-mail: Shevchuk_sergey_2015@ukr.net

Olexiy Iliyuk

Bachelor of Information Systems of
Chernivtsi Faculty of the National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»,
Chernivtsi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0904-3045>
e-mail: olexiyilyukm@gmail.com

**МОДЕЛЬ РАСЧЕТА БЕЗОПАСНОГО ПУТИ С ОГНЕВЫМ И ОБОРОННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ
ВОЕННЫХ ГРУПП НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ
И АЛГОРИТМА БАКТЕРИАЛЬНОГО ПОИСКА**

В.В. Литвин, Д.И. Угрин, С.Ф. Шевчук, А.Д. Ильюк

Предложен метод поиска безопасного маршрута во время ведения боевых действий путем использования нейронных сетей и алгоритма лягушек. Разработана математическая модель метода поиска безопасной позиции. Сделан SWOT-анализ предложенного метода. Определены области потенциального использования метода.

Ключевые слова: алгоритм бактериального поиска, безопасный путь, прогнозирования решений, покрытие кластеров.

**MODEL OF CALCULATION OF SAFE PATH WITH FIRE AND DEFENSE POTENTIAL
OF MILITARY GROUPS BASED ON THE BUILDING OF ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM
AND THE BACTERIAL SEARCH ALGORITHM**

V. Lytvyn, D. Ugryn, S. Shevchuk, O. Iliyuk

The object of the study is the search of the safe path of military units from the initial position to the final one. The hybrid method for finding a safe route, taking into account the fire and defense potential at various sites is developed in the article. The basis of the method is the use of root algorithms and the bacterial search algorithm. The result of the work is the development of the model. An analysis of the results shows that the level of threat of damage reaches the minimum mark.

Keywords: bacterial search algorithm, a safe path, forecasting solutions, cluster coverage.

Keywords: neural networks, safe route, forecasting solutions, covering clusters.