

5.5 Сукупність методів вирішення оптимізаційних завдань з використанням методів штучного інтелекту

Метаевристичні алгоритми широко застосовуються для оптимізації у різних завданнях, зокрема з метою відбору інформативних підмножин ознак при побудові моделі машинного навчання [208-222].

Видалення зайвих ознак допомагає уникнути перенавчання моделі та зменшити її складність. При використанні метаевристики, як інструменту відбору ознак необхідною умовою є здатність алгоритму здійснювати пошуку бінарному просторі [220-244]. Однак у той час, як деякі метаевристики, наприклад генетичний алгоритм, спочатку були створені для роботи з бінарними вхідними векторами, інші були розроблені для роботи в безперервній області пошуку. Очевидно, що тільки генетичний алгоритм не здатний бути універсальним інструментом для будь-яких даних, оскільки це суперечить теоремі про безкоштовні сніданки [245-257].

Найбільш відомим представником евристичних методів є ройовий інтелект, що описує колективну поведінку децентралізованої системи, що самоорганізується [208-231].

Існує велика кількість ройових алгоритмів, наприклад: метод рою частинок, мурашиний алгоритм, алгоритм зозулі, кажанів, риб, бджіл, колонізаційні алгоритми та ін. [232-282].

Використання ройових алгоритмів для пошуку рішень щодо стану об'єктів аналізу дозволяє здійснити:

- аналіз стійкості стану неоднорідних об'єктів в процесі бойового застосування (експлуатації);
- аналіз безпосереднього, агрегованого та опосередкованого взаємовпливу системних та зовнішніх факторів;
- оцінку досяжності цільових ситуацій управління об'єктами;
- сценарний аналіз при різних деструктивних впливах;

- прогноз зміни стану неоднорідних об'єктів при впливі дестабілізуючих факторів в ході бойового застосування (експлуатації);
- моделювання та аналіз динаміки зміни стану взаємозалежних параметрів неоднорідних об'єктів.

Разом з тим, використання наведених вище метаевристичних алгоритмів в канонічному вигляді не дозволяє отримати оперативну оцінку стану об'єкту з заданою достовірністю. Зазначене обумовлює пошук нових (удосконалення існуючих) підходів до оцінки та прогнозування стану об'єктів шляхом поєднання вже відомих ройових алгоритмів з їх подальшим удосконаленням.

5.5.1 Розробка методу управління групою безпілотних літальних апаратів з використанням популяційного алгоритму

Метод управління групою безпілотних літальних апаратів з використанням популяційного алгоритму складається з наступної послідовності дій:

Дія 1. Введення вихідних даних. На даному етапі вводяться вихідні дані, що наявні про БПЛА, з яких складається група, а також маршрут виконання польотного завдання, інформація про навколишнє середовище, рельєф місцевості та ін.

Дія 2. Ініціалізація та формування групи АБВ. На даному етапі генеруються початкові випадкові набори рішень, що представляють групи АБВ, з позначеними запахами лап окремих індивідів АБВ, які розглядаються як змінні рішення з сукупності наборів рішень. Математичне представлення випадково вибраної групи АБВ у межах їх певної території представлено наступним рівнянням:

$$P_{i,j} = P_{i,j}^{\min} + \left(\lambda \left(P_{i,j}^{\max} - P_{i,j}^{\min} \right) \right) \gamma, \quad (1)$$

де λ – випадкове число в діапазоні від 0 до 1, $P_{i,j}$ – i -те позначення лапи j -ї групи АБВ. Здійснюється розміщення сукупності АБВ у порядку зростання значень $f(P_i)$, обрання найкращого (P_i^{best}) та найгіршого рішення (P_i^{worst}), γ – ступінь невизначеності даних про маршрут руху групи БПЛА. Також на даному етапі

визначається цільова функція $f(P)$, розмір популяції (m) зграї АБВ, встановлюється кількість змінних (n), обмеження на значення змінних (LB, UB) і критерій завершення роботи алгоритму ($FE_{\max}$). Група бурих ведмедів вважається частиною популяції АБВ ($i = 1, 2, \dots, m$), а рівні АБВ у групі розглядаються як змінні рішення ($j = 1, 2, \dots, n$).

Дія 3. Нумерація АБВ в популяції, $i, i \in [0, S]$. На даному етапі кожному АБВ популяції присвоюється порядковий номер.

Дія 4. Визначення початкової швидкості АБВ популяції.

Початкова швидкість v_0 кожного АБВ популяції визначається наступним виразом:

$$v_i = (v_1, v_2 \dots v_S), v_i = v_0. \quad (2)$$

У плануванні запропонованого підходу позиція АБВ популяції в просторі вирішення проблем оновлюється на основі моделювання стратегій розвідки та експлуатації.

Дія 5. Попереднє оцінювання ділянки пошуку АБВ. В даній процедурі ділянка пошуку на природній мові визначається саме ореолом існування АБВ. Враховуючи, що джерела їжі АБВ різноманітні, проведемо сортування якості їжі.

Дія 6. Класифікація джерел їжі для АЗ.

Місцезнаходження найкращого джерела їжі (тобто мінімальна придатність) вважається (FS_{ht}) рослина їжа: ягоди, жолуді, горіхи, корені, клубні трав, яка знаходиться поряд та вимагає найменшої витрати енергії для її пошуку та здобування. Делікатесну їжу – мед позначимо як FS_{at} .

Інші не пріоритетні джерела харчування (їжа, яка необхідна для виживання особин) позначимо як FS_{nt} :

$$FS_{ht} = FS(\text{sorte_index}(1)), \quad (3)$$

$$FS_{at}(1:4) = FS(\text{sorte_index}(1:4)), \quad (4)$$

$$FS_{nt}(1:NP-4) = FS(\text{sorte_index}(4: NP)). \quad (5)$$

Дія 7. Вибір техніки ходи АБВ.

Дія 7.1 Повертання ніг при ходьбі АБВ.

В зазначеній дії передбачається особлива манера ходьби, коли АБВ

повертають ноги, щоб уникнути попередніх западин на землі, і обережно крокують до необхідного місця. Ця спеціальна поведінка при ходьбі АБВ найчастіше спостерігається у самців АБВ. Математично цю поведінку можна змодельовати, як:

$$P_{i,j,k}^{new} = P_{i,j,k}^{old} - (\theta_k \alpha_{i,j,k} P_{i,j,k}^{old}), \quad (6)$$

де $P_{i,j,k}^{new}$ – оновлена мітка запаху лапи на k -й ітерації i -ї групи, створеної j -ою міткою лапи, θ_k – коефіцієнт повторюваності, що приймає значення від 0 до 1; $\alpha_{i,j,k}$ – випадкове число в діапазоні від 0 до 1.

Дія 7.2 Обережний крок АБВ.

Характеристика обережного кроку АБВ передбачає повторення відбитків лап шляхом перевірки попередньо позначених лап. Така поведінка допомагає ефективно попередити інших членів групи. Рівняння (7) представляє математичне формулювання техніки обережного кроку АБВ, яка спостерігається у АБВ:

$$P_{i,j,k}^{new} = P_{i,j,k}^{old} + F_k (P_{j,k}^{best} - L_k P_{j,k}^{worst}), \quad (7)$$

де F_k – коефіцієнт кроку; $P_{j,k}^{best}$, $P_{j,k}^{worst}$ – j -та найкраща і найгірша оцінка лапи АБВ на k -ій ітерації; L_k – довжина кроку АБВ на певній ітерації.

Дія 7.3 Скручування лап АБВ.

Третя унікальна поведінка при ходьбі, яка спостерігається у бурих ведмедів – це скручування лап. Самці бурого ведмеда зазвичай скручують ноги у попередньо сформовані сліди від лап, роблячи їх глибшими та виразнішими для легшої ідентифікації. Вибір типу сліду лапи базується на найгірших і найкращих слідах запаху лап АБВ, визначені в попередній ітерації. Математичне представлення поведінки скручених ніг описано рівнянням (8).

$$P_{i,j,k}^{new} = P_{i,j,k}^{old} + \omega_{i,k} (P_{j,k}^{best} - P_{i,j,k}^{old}) - \omega_{i,k} (P_{j,k}^{worst} - P_{i,j,k}^{old}), \quad (8)$$

де $\omega_{i,k}$ – кутова швидкість ніг на i -й мітці лапи та k -й ітерації.

Дія 8. Розміщення сукупності АБВ. На даному етапі здійснюється розміщення АБВ у порядку зростання значень цільової функції $f(P_i)$ і обирається

найкраще (P_i^{best}) і найгірше рішення (P_i^{worst}) .

Дія 9. Створення нової популяції АБВ:

$$P_{i,k}^{new} = P_{i,k}^{old} - (\theta_k \alpha_{i,k} P_{i,k}^{old}) \quad (9)$$

де $F_k = \beta_{1,k} \cdot \theta_k$, $L_k = 1 + \beta_{2,k}$ та $\beta_{1,k} \in \beta_{2,k}$ – випадкове число в діапазоні [207, с.1].

Дія 10. Розміщення сукупності АБВ. На даному етапі здійснюється розміщення АБВ у порядку зростання значень цільової функції $f(P_i)$ і обирається найкраще (P_i^{best}) і найгірше рішення (P_i^{worst}) .

Дія 11 Обнюхування АБВ. Суть поведінки АБВ полягає в тому, що АБВ нюхають один одного, щоб слідувати по слідам запаху членів своєї групи в правильному напрямку. Крім того, АБВ використовують обнюхування, щоб встановити власну територію та уникнути введення в оману слідами запаху лап інших АБВ. Математична модель поведінки обнюхування задана формулою (10):

$$P_{m,j,k}^{new} = \begin{cases} P_{m,j,k}^{old} + \lambda_{i,k} (P_{m,j,k}^{old} - P_{n,j,k}^{old}), & \text{if } f(P_{m,k}^{old}) < f(P_{n,k}^{old}), \\ P_{m,j,k}^{old} + \lambda_{i,k} (P_{n,j,k}^{old} - P_{m,j,k}^{old}), & \text{if } f(P_{n,k}^{old}) < f(P_{m,k}^{old}), \end{cases} \quad (10)$$

де $\lambda_{i,k}$ – рівномірно розподілене випадкове число, що знаходиться в діапазоні від 0 до 1; $P_{m,j,k}^{new}$ – оновлене розташування запаху на лапі з $m \neq n$;

$P_{m,k}^{old}$ та $P_{n,k}^{old}$ – значення функції придатності на k -й ітерації m і n груп відповідно. Процес оновлення для всіх описаних етапів застосовується до кожної групи АБВ, поки не буде виконано необхідний критерій.

Дія 12. Перевірка критерію зупинки. Алгоритм завершується, якщо виконано максимальну кількість ітерацій. В іншому випадку поведінка генерації нових місць і перевірки умов повторюється.

Дія 13. Навчання баз знань АБВ.

В зазначеному дослідженні для навчання баз знань кожного АБВ використовується розроблений у дослідженні [209] метод навчання на основі штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Метод використовується для зміни характеру пересування кожного АБВ, для більш точних результатів аналізу

в подальшому.

Дія 14. Визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів, інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

З метою недопущення зациклювання обчислювань на діях 1–10 даного методу, та підвищення оперативності обчислювань додатково визначається завантаженість системи. При перевищенні визначеного порогу обчислювальної складності визначається кількість програмно-апаратних ресурсів які необхідно додатково залучити, за допомогою методу, запропонованого в роботі [238].

Кінець алгоритму.

Запропонований метод управління групою безпілотних літальних апаратів з використанням популяційного алгоритму. Для визначення ефективності запропонованого методу, проведено моделювання його роботи для вирішення завдання управління групою безпілотних літальних апаратів при заданих в розділі 4 початкових умовах.

Ефективність метод управління групою безпілотних літальних апаратів з використанням популяційного алгоритму порівнюється за допомогою функцій – вигляд яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Оцінка ефективності запропонованого методу управління за критерієм оперативності обробки інформації

Назва функції	Метрика	Алгоритм рою частинок	Алгоритм мурашиної колонії	Алгоритм чорної вдови	Алгоритм зграї сірих вовків	Канонічний алгоритм бурих ведмедів	Удосконалений алгоритм бурих ведмедів
U22-1	Середнє значення	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
	Стандартне значення	2.17547E-07	1.94448E-07	1.73866E-07	1.73121E-07	1.51021E-07	1.72168E-07
B22-2	Середнє значення	400	400.265772	400.7973158	400.265772	400.3986579	400.5315439
	Стандартне значення	4.9898E-08	1.011427534	1.621892282	1.011427535	1.216419212	1.378343398
B22-3	Середнє значення	600.0071815	600.0644622	600.0240021	600.012832	600.031303	600.0449987

Продовження таблиці 1

	Стандарт не значення	0.021632777	0.184980091	0.115606243	0.053463097	0.147011513	0.101164243
B22-4	Середнє значення	826.5653461	827.3281442	823.8789639	826.3000191	826.2668486	825.7693662
	Стандарт не значення	9.13817552	8.364210734	11.30806963	8.186625055	9.136107323	10.05991317
B22-5	Середнє значення	900.743876	900.9504411	900.9726169	900.8007883	900.5452042	901.2016312
	Стандарт не значення	0.781626306	1.424558753	1.275779755	0.903385622	0.635781924	1.598982565
B22-6	Середнє значення	1888.524629	1874.869967	1876.294359	1847.184924	1888.926953	1842.878175
	Стандарт не значення	127.2561383	91.22185049	69.00003268	32.76980351	140.693674	31.32108747
H22-7	Середнє значення	2027.479588	2030.758499	2029.556604	2032.238674	2028.177978	2029.128603
	Стандарт не значення	6.106897592	8.027195324	5.81348717	7.446489204	8.003968446	8.197733191
H22-8	Середнє значення	2223.108804	2223.537417	2222.070633	2223.140251	2220.888475	2220.690533
	Стандарт не значення	4.749655105	2.963408213	4.895282849	3.995669404	5.451654006	6.337353983
H22-9	Середнє значення	2510.930321	2510.930321	2536.358938	2498.216012	2523.644629	2498.216012
	Стандарт не значення	65.93880108	65.93880108	85.778947	48.38585173	77.58997694	48.38585173
C22-10	Середнє значення	2594.615905	2596.833927	2585.256107	2591.210109	2605.304194	2619.308989
	Стандарт не значення	48.2013289	49.71807546	57.1034079	56.36586785	42.57395199	34.10382553
C22-11	Середнє значення	2695.981932	2685.587394	2733.855734	2710.621315	2700.168413	2715.332781
	Стандарт не значення	116.3652035	110.1475838	146.333679	118.5098748	113.7913849	109.3008673
C22-12	Середнє значення	2857.067086	2858.742176	2854.959949	2861.414681	2859.407788	2860.718769
	Стандарт не значення	9.364347909	14.88960231	5.539104327	17.96133754	15.00545163	16.34731781

В таблиці 2 наведено результати оцінки достовірності прийнятих рішень для кожного з методів оптимізації рішень для управління групою безпілотних літальних апаратів.

Таблиця 2

Оцінка ефективності запропонованого методу управління за критерієм
достовірності обробки інформації

Назва функції	Метрика	Алгоритм рою частинок	Алгоритм мурашиної колонії	Алгоритм чорної вдови	Алгоритм зграї сірих вовків	Канонічний алгоритм бурих ведмедів	Удосконалений алгоритм бурих ведмедів
U22-1	Середнє значення	0,66	0,73	0,67	0,68	0,8	0,9
	Стандартне значення	0,7	0,73	0,68	0,69	0,83	0,91
B22-2	Середнє значення	0,7	0,73	0,7	0,71	0,77	0,89
	Стандартне значення	0,71	0,73	0,72	0,72	0,76	0,9
B22-3	Середнє значення	0,68	0,73	0,7	0,71	0,76	0,92
	Стандартне значення	0,69	0,73	0,69	0,73	0,77	0,91
B22-4	Середнє значення	0,67	0,74	0,7	0,72	0,78	0,93
	Стандартне значення	0,67	0,72	0,67	0,72	0,79	0,92
B22-5	Середнє значення	0,6	0,71	0,64	0,73	0,8	0,91
	Стандартне значення	0,61	0,72	0,64	0,74	0,88	0,92
B22-6	Середнє значення	0,64	0,73	0,66	0,77	0,85	0,93
	Стандартне значення	0,66	0,75	0,66	0,78	0,83	0,92
H22-7	Середнє значення	0,67	0,72	0,68	0,75	0,81	0,9
	Стандартне значення	0,68	0,71	0,69	0,74	0,83	0,9
H22-8	Середнє значення	0,68	0,74	0,69	0,75	0,84	0,93
	Стандартне значення	0,65	0,74	0,67	0,77	0,81	0,91
H22-9	Середнє значення	0,64	0,75	0,66	0,69	0,83	0,91

Продовження таблиці 2

	Стандарт не значення	0,7	0,72	0,71	0,71	0,84	0,93
C22-10	Середнє значення	0,69	0,71	0,7	0,72	0,8	0,94
	Стандарт не значення	0,68	0,71	0,7	0,73	0,8	0,91
C22-11	Середнє значення	0,67	0,71	0,69	0,71	0,82	0,91
	Стандарт не значення	0,67	0,72	0,68	0,74	0,91	0,91
C22-12	Середнє значення	0,63	0,73	0,65	0,75	0,82	0,91
	Стандарт не значення	0,62	0,74	0,66	0,76	0,83	0,91

З аналізу табл. 1, 2 можна зробити висновки що запропонований метод забезпечую стабільну роботу алгоритму для основних тестових функцій унімодального та мультимодального виду.

Як видно з табл. 1–2 підвищення оперативності прийняття рішень досягається на рівня 15–18 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

Зазначений метод дозволить:

- провести визначення оптимального маршруту польоту групи БпЛА по визначеному критерію оптимізації;
- визначити ефективні заходи для підвищення ефективності управління групою БпЛА;
- підвищити швидкість управління групою БпЛА при забезпеченні заданої достовірності прийняття рішень на керування маршрутом руху групи БпЛА;
- зменшити використання обчислювальних ресурсів систем підтримки прийняття рішень.

Обмеженнями дослідження є необхідність наявності початкової бази даних про маршрут групи руху групи БпЛА, необхідність врахування часу затримки на збір та доведення інформації від технічних засобів моніторингу групи БпЛА.

Запропонований підхід доцільно використовувати для вирішення управління польотом групи БпЛА, що характеризуються високим ступенем складності.

5.5.2 Розробка методу обробки гетерогенних даних в організаційно-технічних системах

Метод обробки гетерогенних даних в організаційно-технічних системах складається з наступної послідовності дій:

Дія 1. Введення вихідних даних. На даному етапі вводяться вихідні дані, що наявні про організаційно-технічну систему, а саме: кількість та тип засобів, які входять до її складу, тип даних, що циркулюють в організаційно-технічній системі, наявні обчислювальні ресурси, кількість та зв'язків між кожним елементом організаційно-технічної системи, інформація про технічні характеристики каналів управління та передачі даних, інформація про середовище застосування та ін.

Дія 2. Ініціалізація та формування кожної групи агентів комбінованого алгоритму.

На даному етапі генеруються початкові випадкові набори рішень, що представляють групи агентів комбінованого алгоритму.

Математичне представлення випадково вибраної групи агентів комбінованого алгоритму з сукупності можливих агентів у межах їх певної території математично описується наступним чином:

$$P_{i,j} = P_{i,j}^{\min} + \left(\lambda \left(P_{i,j}^{\max} - P_{i,j}^{\min} \right) \right) \gamma, \quad (11)$$

де λ – випадкове число в діапазоні від 0 до 1, $P_{i,j}$ – i -те позначення j -ї групи агентів комбінованого алгоритму. Здійснюється розміщення сукупності агентів комбінованого алгоритму в порядку зростання значень $f(P_i)$, обрання найкращого (P_i^{best}) та найгіршого рішення (P_i^{worst}), γ – ступінь невизначеності даних, що циркулюють в організаційно-технічній системі. Також на даному етапі визначається цільова функція обробки гетерогенних даних $f(P)$, розмір

популяції (m) зграї комбінованого алгоритму, встановлюється кількість змінних (n), обмеження на значення змінних (LB, UB) і критерій завершення роботи алгоритму ($FE_{\max}$).

Дія 3. Нумерація агентів комбінованого алгоритму в популяції, $i, i \in [0, S]$.

На даному етапі кожному агенту зграї комбінованого алгоритму в популяції присвоюється порядковий номер.

Дія 4. Визначення початкової швидкості агентів комбінованого алгоритму в популяції.

Початкова швидкість v_0 кожного агента в популяції визначається наступним виразом:

$$v_i = (v_1, v_2 \dots v_S), v_i = v_0. \quad (12)$$

Дія 5. Попереднє оцінювання ділянки пошуку агентами зграї комбінованого алгоритму. В даній процедурі ділянка пошуку на природній мові визначається саме ореолом для кожної з груп зграї комбінованого алгоритму.

Дія 6. Класифікація джерел їжі для агентів зграї комбінованого алгоритму.

Місцезнаходження найкращого джерела їжі (тобто мінімальна придатність) вважається (FS_{ht}) їжа, яка знаходиться поряд та вимагає найменшої витрати енергії для її пошуку та здобування. Делікатесна їжа, яка вимагає найбільших затрат на її здобування позначимо як FS_{at} .

Інші не пріоритетні джерела харчування (їжа, яка необхідна для виживання особин) позначимо як FS_{nt} :

$$FS_{ht} = FS(\text{sorte_index}(1)), \quad (13)$$

$$FS_{at}(1:4) = FS(\text{sorte_index}(1:3)), \quad (14)$$

$$FS_{nt}(1:NP-4) = FS(\text{sorte_index}(6: NP)). \quad (15)$$

Дія 7. Виконання процедур алгоритму зграї гепардів.

Дія 7.1 Пошукова поведінка агентів гепардів.

Ця поведінка відображає ситуацію, коли гепард шукає здобич. Гепарди використовують два методи пошуку здобичі: очікування чи активне дослідження навколишньої території. В нашому випадку навколишнє середовище це простір

вирішення завдання обробки гетерогенних даних. Пошукову поведінку агентів гепардів пропонується моделювати за допомогою наступного рівняння:

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^t + \hat{r}_{i,j}^{-1} \alpha_{i,j}^t, \quad (16)$$

де $X_{i,j}^t$ – поточна позиція групи агентів гепардів i або окремих особин агентів гепардів i ($i=1,2,\dots,n$) у популяції j або у площині простору пошуку j ($j=1,2,\dots,d$), де n – кількість агента гепардів у популяції, а d – це розмірність оптимізаційного завдання. $X_{i,j}^{t+1}$ – наступна позиція агента гепарда, t – час полювання агентів гепардів, T – максимальний час полювання, $\hat{r}_{i,j}^{-1}$ – параметр рандомізації, $\alpha_{i,j}^t$ – довжина кроку для агента гепарда i у популяції j . Параметр рандомізації $\hat{r}_{i,j}$ розподіляється як випадкові числа за стандартним нормальним розподілом. Довжина кроку $\alpha_{i,j}^t > 0$ встановлена на $0.001 \times t/T$, оскільки гепарди є повільними шукачами.

Дія 7.2 Стратегія очікування агентів-гепардів.

Стратегія очікування формально описується наступним чином:

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^t, \quad (17)$$

де $X_{i,j}^{t+1}$, $X_{i,j}^t$ – нова позиція агента гепарда i у популяції j , відповідно. Запропонована стратегія передбачає впровадження спеціального підходу до координації в алгоритмі оптимізації, коли всі агенти в групі атакують одночасно. Такий підхід значно збільшує ймовірність успішного полювання та знижує ризик передчасного зближення до джерел харчування.

Дія 7.3 Активна атаквальна поведінка агентів гепардів.

Зазначена процедура описує дві ключові характеристики етапу активного полювання, а саме: швидкість та гнучкість. Важливо зазначити, що гепарди не використовують групові тактики під час полювання, і всі їхні стратегії атаки можна математично визначити:

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{B,j}^t + \hat{r}_{i,j} \cdot \beta_{i,j}^t, \quad (18)$$

де $X_{B,j}^t$ – поточна позиція здобичі на площині пошуку j ; $\hat{r}_{i,j}$, $\beta_{i,j}^t$ – фактори повороту та взаємодії, пов'язані з гепардом i на площині пошуку j , $\hat{r}_{i,j}$ – випадкове

значення, яке описується $|\hat{r}_{i,j}|^{\exp(r_{i,j}/2)} \sin(2\pi r_{i,j})$ та $r_{i,j}$ – випадкове число з нормального розподілу.

Дія 8. Виконання процедур алгоритму рою частинок.

8.1 Оновлення швидкості агентів рою частинок.

Генерація швидкості агентів рою частинок розраховується відповідно до двох параметрів: глобальної найкращої частинки G_{best} і локальної найкращої частинки L_{best} . Швидкості оновлюються за наступним рівнянням:

$$V_i^{t+1} = \omega V_i^t + c_1 r_{1i}^t (L_{best}^t - x_i^t) + c_2 r_{2i}^t (G_{best}^t - x_i^t), \quad (19)$$

де V_i^{t+1} – швидкість частинки на ітерації $(t+1)$, V_i^t – швидкість частинки на попередній ітерації, x_i^t , r_{1i}^t , r_{2i}^t – вектори d -вимірних випадкових чисел, рівномірно розподілених між 0 і 1, що описує положення частинки i ; c_1 і c_2 – коефіцієнти навчання, ω – ваговий коефіцієнт, який зазвичай встановлюється на 1.

8.2 Переміщення частинок в просторі пошуку.

Нова позиція часток генерується відповідно до рівняння (10), де x_i^{t+1} – нова позиція часток, x_i^t – попередня позицією часток, V_i^{t+1} – швидкість часток, розрахована за рівнянням (9).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + V_i^{t+1}. \quad (20)$$

Дія 9. Поєднання стратегій пошуку двох алгоритмів.

Після створення початкової популяції кожен агент отримує розмір популяції, який становить половину від початкової популяції, як це визначено в розглянутій роботі. Процес застосування метаевристичних операторів спрощується шляхом послідовного застосування поведінки алгоритму зграї гепардів та алгоритму зграї частинок, відповідно до їхніх процедур. Процедура поєднання двох стратегій поведінки модифікується наступним чином:

$$x_{i+1}^k = x_i^k \alpha + 1 - \alpha x_{best}^k M_i^k. \quad (21)$$

де x_{i+1}^k – нова позиція кандидата на рішення x_i^k . Коефіцієнт масштабування α в даному дослідженні встановлюється 0.1, x_{best}^k – найкраще рішення для ітерації

k ; M_i^k – змінна модуляції кандидата зі зграї агентів. Рівняння (18) визначає об'єднану популяцію агентів зграї комбінованого алгоритму, яка має найкращу продуктивність.

Дія 9.1 Модуляція метаевристичних операторів.

У даному дослідженні модуляція впливу, який має кожен метаевристичний оператор, визначається не лише традиційним порівнянням з найкращим рішенням кандидата, але й аналізом його елітної поведінки. Це змагання починається з визначення рішення x_c^k фактично отриманому рішення x_i^k . Отримання x_c^k має тільки одне обмеження, x_c^k має бути відмінним від x_i^k .

Дія 9.2 Парне змагання груп агентів в комбінованому алгоритмі.

Процедура змагання груп індивідів в комбінованому алгоритмі описується рівням (22):

$$\begin{aligned} \text{якщо } f(x_i^k) < f(x_c^k) \text{ тоді } x_i^k = x_c^k \text{ та } M_i^k \\ \text{якщо } (x_i^k) > f(x_c^k) \text{ та } Pr > r \text{ тоді } x_i^k = G(x_c^k) \text{ та } M_i^k = M_c^k. \end{aligned} \quad (22)$$

Крім того, ймовірнісний поріг визначається різницею в продуктивності отриманого рішення та найкращим рішенням, що змінюється протягом повторень. Цей ймовірнісний поріг визначається наступним рівнянням:

$$Pr = \left| \frac{f(x_i^k) - f(x_c^k)}{BF} \right|, \quad (23)$$

де Pr – ймовірнісний поріг, x_i^k – фактичне рішення, x_c^k – еталонне рішення, а BF – вартість отриманого рішення. Нова позиція x_i^k встановлюється, розглядаючи евклідову відстань між x_i^k і x_c^k . Позиція оновлюється за допомогою рівняння (24):

$$r \cdot dist - x_c^k, \quad (24)$$

де r – це випадкове число, що зазвичай розподілене, а $dist$ – евклідова відстань між x_i^k та x_c^k . Варто зазначити, що зазначена процедура сприяє дослідженню нових ділянок пошуку простору рішення x_i^k . Ця процедура

запобігає передчасній конвергенції і забезпечує аналіз обчислювальних можливостей алгоритму.

Дія 10. Перевірка критерію зупинки агентів зграї комбінованого алгоритму.

Алгоритм завершується, якщо виконано максимальну кількість ітерацій. В іншому випадку генерація нових місць і перевірка умов повторюється.

Дія 11. Навчання баз знань агентів зграї комбінованого алгоритму.

В зазначеному дослідженні для навчання баз знань кожного агента зграї комбінованого алгоритму використовується розроблений у дослідженні [209] метод навчання на основі штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Метод використовується для зміни характеру пересування кожного агента зграї комбінованого алгоритму, для більш точних результатів аналізу в подальшому.

Дія 12. Визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів, інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

З метою недопущення зациклювання обчислювань на діях 1–11 даного методу, та підвищення оперативності обчислювань додатково визначається завантаженість системи. При перевищенні визначеного порогу обчислювальної складності визначається кількість програмно-апаратних ресурсів які необхідно додатково залучити, за допомогою методу, запропонованого в роботі [230].

Кінець алгоритму.

Ефективність метод обробки гетерогенних даних в організаційно-технічних системах порівнюється за допомогою функцій – вигляд яких наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Оцінка ефективності запропонованого методу обробки гетерогенних даних за критерієм оперативності обробки інформації

Назва функції	Метрика	Канонічний алгоритм рою частинок	Алгоритм мурашиної колонії	Алгоритм чорної вдови	Алгоритм зграї сірих вовків	Алгоритм зграї гепардів	Запропонований метод
U22-1	Середнє значення	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
	Стандартне значення	2.17547E-07	1.94448E-07	1.73866E-07	1.73121E-07	1.51021E-07	1.72168E-07
B22-2	Середнє значення	400	400.265772	400.7973158	400.265772	400.3986579	400.5315439

Продовження таблиці 3

	Стандартне значення	4.9898E-08	1.011427534	1.621892282	1.011427535	1.21641921 2	1.378343398
B22-3	Середнє значення	600.0071815	600.0644622	600.0240021	600.012832	600.031303	600.0449987
	Стандартне значення	0.021632777	0.184980091	0.115606243	0.053463097	0.14701151 3	0.101164243
B22-4	Середнє значення	826.5653461	827.3281442	823.8789639	826.3000191	826.266848 6	825.7693662
	Стандартне значення	9.13817552	8.364210734	11.30806963	8.186625055	9.13610732 3	10.05991317
B22-5	Середнє значення	900.743876	900.9504411	900.9726169	900.8007883	900.545204 2	901.2016312
	Стандартне значення	0.781626306	1.424558753	1.275779755	0.903385622	0.63578192 4	1.598982565
B22-6	Середнє значення	1888.524629	1874.869967	1876.294359	1847.184924	1888.92695 3	1842.878175
	Стандартне значення	127.2561383	91.22185049	69.00003268	32.76980351	140.693674	31.32108747
H22-7	Середнє значення	2027.479588	2030.758499	2029.556604	2032.238674	2028.17797 8	2029.128603
	Стандартне значення	6.106897592	8.027195324	5.81348717	7.446489204	8.00396844 6	8.197733191
H22-8	Середнє значення	2223.108804	2223.537417	2222.070633	2223.140251	2220.88847 5	2220.690533
	Стандартне значення	4.749655105	2.963408213	4.895282849	3.995669404	5.45165400 6	6.337353983
H22-9	Середнє значення	2510.930321	2510.930321	2536.358938	2498.216012	2523.64462 9	2498.216012
	Стандартне значення	65.93880108	65.93880108	85.778947	48.38585173	77.5899769 4	48.38585173
C22-10	Середнє значення	2594.615905	2596.833927	2585.256107	2591.210109	2605.30419 4	2619.308989
	Стандартне значення	48.2013289	49.71807546	57.1034079	56.36586785	42.5739519 9	34.10382553
C22-11	Середнє значення	2695.981932	2685.587394	2733.855734	2710.621315	2700.16841 3	2715.332781
	Стандартне значення	116.3652035	110.1475838	146.333679	118.5098748	113.791384 9	109.3008673
C22-12	Середнє значення	2857.067086	2858.742176	2854.959949	2861.414681	2859.40778 8	2860.718769
	Стандартне значення	9.364347909	14.88960231	5.539104327	17.96133754	15.0054516 3	16.34731781

В таблиці 4 наведено результати оцінки достовірності прийнятих рішень для кожного з методів оптимізації рішень для обробки гетерогенних даних в організаційно-технічних системах.

Таблиця 4

Оцінка ефективності запропонованого методу управління за критерієм
достовірності обробки інформації

Назва функції	Метрика	Канонічний алгоритм рою частинок	Алгоритм мурашиної колонії	Алгоритм чорної вдови	Алгоритм зграї сірих вовків	Алгоритм зграї гепардів	Запропонований метод
U22-1	Середнє значення	0,66	0,73	0,67	0,68	0,8	0,9
	Стандартне значення	0,7	0,73	0,68	0,69	0,83	0,91
B22-2	Середнє значення	0,7	0,73	0,7	0,71	0,77	0,89
	Стандартне значення	0,71	0,73	0,72	0,72	0,76	0,9
B22-3	Середнє значення	0,68	0,73	0,7	0,71	0,76	0,92
	Стандартне значення	0,69	0,73	0,69	0,73	0,77	0,91
B22-4	Середнє значення	0,67	0,74	0,7	0,72	0,78	0,93
	Стандартне значення	0,67	0,72	0,67	0,72	0,79	0,92
B22-5	Середнє значення	0,6	0,71	0,64	0,73	0,8	0,91
	Стандартне значення	0,61	0,72	0,64	0,74	0,88	0,92
B22-6	Середнє значення	0,64	0,73	0,66	0,77	0,85	0,93
	Стандартне значення	0,66	0,75	0,66	0,78	0,83	0,92
H22-7	Середнє значення	0,67	0,72	0,68	0,75	0,81	0,9
	Стандартне значення	0,68	0,71	0,69	0,74	0,83	0,9
H22-8	Середнє значення	0,68	0,74	0,69	0,75	0,84	0,93
	Стандартне значення	0,65	0,74	0,67	0,77	0,81	0,91
H22-9	Середнє значення	0,64	0,75	0,66	0,69	0,83	0,91
	Стандартне значення	0,7	0,72	0,71	0,71	0,84	0,93
C22-10	Середнє значення	0,69	0,71	0,7	0,72	0,8	0,94

Продовження таблиці 4

	Стандарт не значення	0,68	0,71	0,7	0,73	0,8	0,91
C22-11	Середнє значення	0,67	0,71	0,69	0,71	0,82	0,91
	Стандарт не значення	0,67	0,72	0,68	0,74	0,91	0,91
C22-12	Середнє значення	0,63	0,73	0,65	0,75	0,82	0,91
	Стандарт не значення	0,62	0,74	0,66	0,76	0,83	0,91

З аналізу табл. 3, 4 можна зробити висновки, що запропонований метод забезпечує стабільну роботу алгоритму для основних тестових функцій унімодального та мультимодального виду.

Як видно з табл. 3, 4 підвищення оперативності прийняття рішень досягається на рівня 14–20 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

Запропонований підхід доцільно використовувати для вирішення завдання обробки гетерогенних даних, що характеризуються високим ступенем складності.

5.5.3 Метод оцінки завадозахищеності систем радіозв'язку спеціального призначення з використанням штучного інтелекту

Метод оцінки завадозахищеності систем радіозв'язку спеціального призначення (СРЗ) з використанням теорії штучного інтелекту складається з наступної послідовності дій:

Дія 1. Введення вихідних даних. На даному етапі вводяться вихідні дані, що наявні про систему СРЗ спеціального призначення, а також засоби РЕП противника, а саме: кількість та тип засобів радіозв'язку, які входять до її складу; кількість та тип засобів РЕП противника; технічні характеристики ЗРЗ; технічні характеристики засобів РЕП; архітектура (топологія зв'язків) СРЗ; архітектура (топологія зв'язків) засобів РЕП; тип даних, що циркулюють в

ній; наявні обчислювальні ресурси; інформація про середовище застосування та ін.

Дія 2. Ініціалізація та формування загальної популяції агентів зграї комбінованого алгоритму.

На даному етапі генеруються початкові випадкові набори рішень, що представляють групи агентів комбінованого алгоритму.

Математичне представлення випадково вибраної групи агентів комбінованого алгоритму з сукупності можливих агентів у межах їх певної території математично описується наступним чином:

$$P_{i,j} = P_{i,j}^{\min} + \left(\lambda \left(P_{i,j}^{\max} - P_{i,j}^{\min} \right) \right) \gamma, \quad (25)$$

де λ – випадкове число в діапазоні від 0 до 1, $P_{i,j}$ – i -те позначення j -ї групи агентів комбінованого алгоритму. Здійснюється розміщення сукупності агентів комбінованого алгоритму в порядку зростання значень $f(P_i)$, обрання найкращого (P_i^{best}) та найгіршого рішення (P_i^{worst}), γ – ступінь невизначеності даних про засоби РЕП противника. Також на даному етапі визначається цільова функція завадозахищеності $f(P)$, розмір популяції (m) зграї комбінованого алгоритму, встановлюється кількість змінних (n), обмеження на значення змінних (LB, UB) і критерій завершення роботи алгоритму ($FE_{\max}$).

Дія 3. Нумерація агентів комбінованого алгоритму в популяції, $i, i \in [0, S]$.

На даному етапі кожному агенту зграї комбінованого алгоритму в популяції присвоюється порядковий номер.

Дія 4. Визначення початкової швидкості агентів комбінованого алгоритму в популяції.

Початкова швидкість v_0 кожного агента в популяції визначається наступним виразом:

$$v_i = (v_1, v_2, \dots, v_S), \quad v_i = v_0. \quad (26)$$

Дія 5. Попереднє оцінювання ділянки пошуку агентами зграї комбінованого алгоритму. В даній процедурі ділянка пошуку на природній мові визначається саме ореолом для кожної з груп зграї комбінованого алгоритму.

Дія 6. Класифікація джерел їжі для агентів зграї комбінованого алгоритму.

Місцезнаходження найкращого джерела їжі (тобто мінімальна придатність) вважається (FS_{ht}) їжа, яка знаходиться поряд та вимагає найменшої витрати енергії для її пошуку та здобування. Делікатесна їжа, яка вимагає найбільших затрат на її добування позначимо як FS_{at} .

Інші не пріоритетні джерела харчування (їжа, яка необхідна для виживання особин) позначимо як FS_{nt} :

$$FS_{ht}=FS(\text{sorte_index}(1)), \quad (27)$$

$$FS_{at}(1:4)=FS(\text{sorte_index}(1:3)), \quad (28)$$

$$FS_{nt}(1:NP-4)=FS(\text{sorte_index}(6: NP)). \quad (29)$$

Дія 7. Виконання обчислень окремими групами зі зграї комбінованого алгоритму.

Дія 7.1 Виконання обчислень агентами зі зграї гнойових жуків.

Даний алгоритм імітує певну поведінку гнойових жуків у природі, а алгоритм гнойових жуків (АГЖ) ділить всю популяцію на чотири відповідні сегменти на основі цієї поведінки.

Дія 7.1.1. Процедура катання м'яча.

Коли гнойові жуки котять гнойову кулю, вони повинні переконатися, що їхній шлях є прямолінійним відповідно до положення небесних тіл. Щоб імітувати таку поведінку жука-гнойовика, в алгоритмі особини рухаються в заданому напрямку по всьому простору пошуку. Передбачається, що інтенсивність сонця впливає на шлях окремих жуків-гнойовиків. Цей процес змінює положення людини, як показано в рівнянні (30) нижче:

$$\begin{aligned} X_n^{i+1} &= X_n^i + a \cdot k \cdot X_n^{i-1} + b \cdot \Delta x \\ \Delta x &= |X_n^i - X^\omega| \end{aligned} \quad (30)$$

де X_n^{i+1} – позиція n -го жука-гнойовика на i -й ітерації, $k \in (0, 0.2]$ – коефіцієнт відхилення (якому в коді присвоєно значення 0,1);

$b \in (0, 1)$ – природний коефіцієнт (якому в коді присвоєно значення 0,3);

x – ступінь зміни інтенсивності освітлення, X^o – найгірша позиція агента жука в межах поточної популяції;

a – це природний коефіцієнт, якому присвоєно значення 1 або -1 , таким чином, що $a = 1$ вказує на те, що природне середовище не впливає на вихідний напрямок, тоді як $a = -1$ вказує на відхилення від початкового напрямку. Даний коефіцієнт в дослідженні характеризує ступінь придушення СРЗ засобами РЕП.

У природі, коли жуки-гнойовики стикаються з перешкодою на своєму шляху, вони вирішують повернути своє тіло, щоб змінити напрямок і таким чином обійти перешкоду. В нашому випадку, зазначена процедура описує процес перебудови маршруту передачі інформації при виведенні з ладу елемента СРЗ в результаті впливу дестабілізуючих факторів, та описується:

$$\begin{aligned} X_n^{i+1} &= X_n^i + \tan \alpha |X_n^i - X_n^{i-1}| \\ 0 &\leq \alpha \leq \pi \end{aligned} \quad (31)$$

де α – кут відбиття між новим напрямком жука-гнойовика та його початковим напрямком.

Дія 7.1.2 Процедура розмноження жуків.

Коли куля гною повертається до гнізда, гнойовикам необхідно вибрати відповідне місце для відкладання яєць, щоб забезпечити безпечне середовище для свого потомства. Базуючись на наведеному вище обговоренні, в алгоритмі виявляється стратегія відбору меж для моделювання області, де самки відкладають свої яйця, яка визначається наступним чином (32):

$$\begin{aligned} LB_1 &= \max(X^t \cdot (1-T), LB) \\ UB_1 &= \min(X^t \cdot (1+T), UB), \end{aligned} \quad (32)$$

де X^t – поточний локальний оптимум, LB_1 та UB_1 – нижня і верхня межі області нересту; Lb і Ub – нижня і верхні межі пошукового простору відповідно, а ваги інерції $R = 1 - t/T_{max}$, де T_{max} – максимальна кількість ітерацій під час ітерації алгоритму.

В контексті даного дослідження зазначена процедура визначає елементи СРЗ, які найменш придушені.

Граничний діапазон області відкладки яєць змінюється динамічно, що запобігає потраплянню алгоритму в локальний оптимум. Отже, у процесі ітерації положення куль штрихування також може змінюватися, процес можна описати таким чином:

$$X_n^{i+1} = X^t + B_1 \cdot (X_n^i - LB_1) + B_2 \cdot (X_n^i - UB_1), \quad (33)$$

де X_n^i – позиція n -ї гнійної кульки для виведення на t -й ітерації, B_1 і B_2 – дві незалежні випадкові матриці, D – розмірність алгоритму.

Дія 7.1.3 Вилуплення гнойових жуків.

Коли молоді жуки-гнойовики успішно вилуплюються, вони вибігають групами, щоб знайти їжу, процес пошуку їжі також передбачає обмеження діапазону. Для цих маленьких жуків-гнойовиків оптимальна територія нагулу визначається таким чином:

$$\begin{aligned} LB_2 &= \max(X^{tb} \cdot (1-T), LB) \\ UB_2 &= \min(X^{tb} \cdot (1-T), UB), \end{aligned} \quad (34)$$

де X^{tb} – глобальний оптимум, а LB_2 та UB_2 – нижня та верхня межі площі відповідно. Після визначення місця положення малого гнойового жука можна оновити наступним чином (35):

$$X_i^{n+1} = X_i^n + C_1 \cdot (X_i^n - LB_2) + C_2 \cdot (X_i^n - UB_2), \quad (35)$$

де X_i^{n+1} – інформація про місцезнаходження i -го маленького жука-гнойовика на t -й ітерації, C_1 – випадкове число, яке описується розподілом Гауса; C_2 – набір, що належить до інтервалу $(0, 1)$.

Дія 7.1.4 Виконання стратегія крадників.

У популяціях гнойових жуків одні гнойові жуки крадуть гнойові кульки в інших, цих жуків-гнойовиків називають злодіями. Як зазначено вище, X^s – це глобальне оптимальне положення, тобто найкраще місце для їжі. Отже, можна припустити, що околиці X – є найкращим місцем для конкуренції за їжу. Розташування жуків-злодіїв-гнойовиків оновлюється протягом процесу ітерації наступним чином (36):

$$X_n^{i+1} = X^s + P \cdot d \cdot (|X_n^i - X^t| + |X_n^i - X^-|), \quad (36)$$

де d – випадковий вектор розміром $1:D$, що відповідає нормальному розподілу, P – константа.

Дія 7.2 Виконання обчислень агентами зі зграї скоп.

Дія 7.2.1 Глобальна експлуатація

Для створення моделі для першого етапу оновлення популяції агентів скоп була змодельована природна поведінка орланів. Рівняння (37) використовується для визначення розташування кожної скопи:

$$OS_n = \{X_t \mid t \in \{1, 2, \dots, N\} \wedge O_t < O_n\} \cup \{X^*\}, \quad (37)$$

де OS_n – сукупність місць, зайнятих n -ою скопою, а X^* – точне розташування оптимальної скопи. Скопа самостійно визначає місцезнаходження однієї з риб і починає на неї напад. Розрахунок нового положення скопи відносно риби визначається на основі моделювання руху скопи, як описано в рівнянні (38). Якщо цільова функція має краще значення, нова позиція витіснить попередню позицію скопи:

$$\begin{aligned} x_{i,j}^{P1} &= xi, j + ri, j \cdot (SF_{i,j} - I_{i,j} \cdot x_{i,j}), \\ x_{i,j}^{P1} &= \begin{cases} x_{i,j}^{P1}, lb_j \leq x_{i,j}^{P1} \leq ub_j; \\ lb_j, x_{i,j}^{P1} < lb_j; \\ ub_j, x_{i,j}^{P1} > ub_j. \end{cases} \\ X_i &= \begin{cases} X_i^{P1}, F_i^{P1} < F_i; \\ X_i, \text{також}, \end{cases} \end{aligned} \quad (38)$$

де $x_{i,j}^{P1}$ – нова позиція j -го виміру i -тої скопи на першому етапі, а $F_{i,j}$ – відповідне значення придатності положення скопи, $SF_{i,j}$ – випадкове число між $[207, 208]$ та $I_{i,j}$ – випадкове число в наборі 1, 2.

Дія 7.2.2 Місцева експлуатація.

Коли скопа ловить рибу, вона транспортує її в безпечну зону і там споживає. Другий етап оновлення популяції передбачає використання методів імітаційного моделювання для відтворення природної поведінки скопи. Процес спрямування риби до відповідного місця призводить до невеликих коригувань положення скопи в просторі пошуку. Це, у свою чергу, підвищує здатність процедури використовувати локальний пошук і переходити до більш оптимального рішення

в безпосередній близькості від визначеного рішення. Це положення вважається «придатним для споживання риби» і визначається за допомогою наступного рівняння (39). Згодом, у випадку, якщо значення цільової функції демонструє посилення у вищезгаданій позиції, попередня позиція пов'язаного нащадка замінюється:

$$\begin{aligned}
 x_{i,j}^{P2} &= x_{i,j} + \frac{lb_j + r \cdot (ub_j - lb_j)}{t}, \\
 i &= 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, m, t = 1, 2, \dots, T, \\
 x_{i,j}^{P2} &= \begin{cases} x_{i,j}^{P2}, lb_j \leq x_{i,j}^{P2} \leq ub_j; \\ lb_j, x_{i,j}^{P2} < lb_j; \\ ub_j, x_{i,j}^{P2} > ub_j. \end{cases} \\
 X_i &= \begin{cases} X_i^{P2}, F_i^{P2} < F_i; \\ X_i, \text{також}, \end{cases}
 \end{aligned} \tag{40}$$

де $x_{i,j}^{P2}$ – нове положення j -го виміру i -ї скопи на другому етапі; F_i^{P2} – відповідне значенням придатності оновленого положення; r – випадкове число між [207, 208] t , T – поточний номер ітерації та максимальний номер ітерації відповідно.

Дія 8. Поєднання стратегій пошуку двох алгоритмів.

Після створення початкової популяції кожен агент отримує розмір популяції, який становить половину від початкової популяції, як це визначено в розглянутій роботі. Процес застосування метаевристичних операторів спрощується шляхом послідовного застосування поведінки алгоритму зграї скоп та алгоритму зграї гнойових жуків, відповідно до їхніх процедур. Процедура поєднання двох стратегій поведінки модифікується наступним чином:

$$x_{i+1}^k = x_i^k \alpha + 1 - \alpha x_{best}^k M_i^k. \tag{41}$$

де x_{i+1}^k – нова позиція кандидата на рішення x_i^k . Коефіцієнт масштабування α в даному дослідженні встановлюється 0.1, x_{best}^k – найкраще рішення для ітерації k ; M_i^k – змінна модуляції кандидата зі зграї агентів. Рівняння (41) визначає об'єднану популяцію агентів зграї комбінованого алгоритму, яка має найкращу продуктивність.

Дія 8.1 Модуляція метаверистичних операторів.

У даному дослідженні модуляція впливу, який має кожен метаверистичний оператор, визначається не лише традиційним порівнянням з найкращим рішенням кандидата, але й аналізом його елітної поведінки. Це змагання починається з визначення рішення x_c^k фактично отриманому рішення x_i^k . Отримання x_c^k має тільки одне обмеження, x_c^k має бути відмінним від x_i^k .

Дія 8.2 Парне змагання груп агентів в комбінованому алгоритмі.

Процедура змагання груп індивідів в комбінованому алгоритмі описується рівням (42):

$$\begin{aligned} \text{якщо } f(x_i^k) < f(x_c^k) \text{ тоді } x_i^k &= x_c^k \text{ та } M_i^k \\ \text{якщо } (x_i^k) > f(x_c^k) \text{ та } Pr > r \text{ тоді } x_i^k &= G(x_c^k) \text{ та } M_i^k = M_c^k. \end{aligned} \quad (42)$$

Крім того, ймовірнісний поріг визначається різницею в продуктивності отриманого рішення та найкращим рішенням, що змінюється протягом повторень. Цей ймовірнісний поріг визначається наступним рівнянням:

$$Pr = \left| \frac{f(x_i^k) - f(x_c^k)}{BF} \right|, \quad (43)$$

де Pr – ймовірнісний поріг, x_i^k – фактичне рішення, x_c^k – еталонне рішення, а BF – вартість отриманого рішення. Нова позиція x_i^k встановлюється, розглядаючи евклідову відстань між x_i^k і x_c^k . Позиція оновлюється за допомогою рівняння (44):

$$r \cdot dist - x_c^k, \quad (44)$$

де r – це випадкове число, що зазвичай розподілене, а $dist$ – евклідова відстань між x_i^k та x_c^k . Варто зазначити, що зазначена процедура сприяє дослідженню нових ділянок пошуку простору рішення x_i^k . Ця процедура запобігає передчасній конвергенції і забезпечує аналіз обчислювальних можливостей алгоритму.

Дія 9. Перевірка критерію зупинки агентів зграї комбінованого алгоритму.

Алгоритм завершується, якщо виконано максимальну кількість ітерацій. В

іншому випадку генерація нових місць і перевірка умов повторюється.

Дія 10. Навчання баз знань агентів зграї комбінованого алгоритму.

В зазначеному дослідженні для навчання баз знань кожного агента зграї комбінованого алгоритму використовується розроблений у дослідженні [209] метод навчання на основі штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Метод використовується для зміни характеру пересування кожного агента зграї комбінованого алгоритму, для більш точних результатів аналізу в подальшому.

Дія 11. Визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів, інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

З метою недопущення зациклювання обчислювань на діях 1–10 даного методу, та підвищення оперативності обчислювань додатково визначається завантаженість системи. При перевищенні визначеного порогу обчислювальної складності визначається кількість програмно-апаратних ресурсів які необхідно додатково залучити, за допомогою методу, запропонованого в роботі [230].

Ефективність метод обробки гетерогенних даних в організаційно-технічних системах порівнюється за допомогою функцій – вигляд яких наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Оцінка ефективності запропонованого методу обробки гетерогенних даних за критерієм оперативності обробки інформації

Назва функції	Метрика	Канонічний алгоритм рою частинок	Алгоритм мурашиної колонії	Алгоритм чорної вдови	Алгоритм зграї сірих вовків	Алгоритм зграї гепардів	Запропонований метод
U22-1	Середнє значення	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
	Стандартне значення	2.17547E-07	1.94448E-07	1.73866E-07	1.73121E-07	1.51021E-07	1.72168E-07
B22-2	Середнє значення	400	400.265772	400.7973158	400.265772	400.3986579	400.5315439
	Стандартне значення	4.9898E-08	1.011427534	1.621892282	1.011427535	1.216419212	1.378343398
B22-3	Середнє значення	600.0071815	600.0644622	600.0240021	600.012832	600.031303	600.0449987

Продовження таблиці 5

	Стандартне значення	0.021632777	0.184980091	0.115606243	0.053463097	0.147011513	0.101164243
B22-4	Середнє значення	826.5653461	827.3281442	823.8789639	826.3000191	826.2668486	825.7693662
	Стандартне значення	9.13817552	8.364210734	11.30806963	8.186625055	9.136107323	10.05991317
B22-5	Середнє значення	900.743876	900.9504411	900.9726169	900.8007883	900.5452042	901.2016312
	Стандартне значення	0.781626306	1.424558753	1.275779755	0.903385622	0.635781924	1.598982565
B22-6	Середнє значення	1888.524629	1874.869967	1876.294359	1847.184924	1888.926953	1842.878175
	Стандартне значення	127.2561383	91.22185049	69.00003268	32.76980351	140.693674	31.32108747
H22-7	Середнє значення	2027.479588	2030.758499	2029.556604	2032.238674	2028.177978	2029.128603
	Стандартне значення	6.106897592	8.027195324	5.81348717	7.446489204	8.003968446	8.197733191
H22-8	Середнє значення	2223.108804	2223.537417	2222.070633	2223.140251	2220.888475	2220.690533
	Стандартне значення	4.749655105	2.963408213	4.895282849	3.995669404	5.451654006	6.337353983
H22-9	Середнє значення	2510.930321	2510.930321	2536.358938	2498.216012	2523.644629	2498.216012
	Стандартне значення	65.93880108	65.93880108	85.778947	48.38585173	77.58997694	48.38585173
C22-10	Середнє значення	2594.615905	2596.833927	2585.256107	2591.210109	2605.304194	2619.308989
	Стандартне значення	48.2013289	49.71807546	57.1034079	56.36586785	42.57395199	34.10382553
C22-11	Середнє значення	2695.981932	2685.587394	2733.855734	2710.621315	2700.168413	2715.332781
	Стандартне значення	116.3652035	110.1475838	146.333679	118.5098748	113.7913849	109.3008673
C22-12	Середнє значення	2857.067086	2858.742176	2854.959949	2861.414681	2859.407788	2860.718769
	Стандартне значення	9.364347909	14.88960231	5.539104327	17.96133754	15.00545163	16.34731781

В таблиці 6 наведено результати оцінки достовірності прийнятих рішень для кожного з методів оптимізації рішень для обробки гетерогенних даних в організаційно-технічних системах.

Таблиця 6

Оцінка ефективності запропонованого методу управління за критерієм достовірності обробки інформації

Назва функції	Метрика	Канонічний алгоритм рою частинок	Алгоритм мурашиної колонії	Алгоритм чорної вдови	Алгоритм зграї сірих вовків	Алгоритм зграї гепардів	Запропонований метод
U22-1	Середнє значення	0,66	0,73	0,67	0,68	0,8	0,9
	Стандартне значення	0,7	0,73	0,68	0,69	0,83	0,91
B22-2	Середнє значення	0,7	0,73	0,7	0,71	0,77	0,89
	Стандартне значення	0,71	0,73	0,72	0,72	0,76	0,9
B22-3	Середнє значення	0,68	0,73	0,7	0,71	0,76	0,92
	Стандартне значення	0,69	0,73	0,69	0,73	0,77	0,91
B22-4	Середнє значення	0,67	0,74	0,7	0,72	0,78	0,93
	Стандартне значення	0,67	0,72	0,67	0,72	0,79	0,92
B22-5	Середнє значення	0,6	0,71	0,64	0,73	0,8	0,91
	Стандартне значення	0,61	0,72	0,64	0,74	0,88	0,92
B22-6	Середнє значення	0,64	0,73	0,66	0,77	0,85	0,93
	Стандартне значення	0,66	0,75	0,66	0,78	0,83	0,92
H22-7	Середнє значення	0,67	0,72	0,68	0,75	0,81	0,9
	Стандартне значення	0,68	0,71	0,69	0,74	0,83	0,9
H22-8	Середнє значення	0,68	0,74	0,69	0,75	0,84	0,93
	Стандартне значення	0,65	0,74	0,67	0,77	0,81	0,91
H22-9	Середнє значення	0,64	0,75	0,66	0,69	0,83	0,91
	Стандартне значення	0,7	0,72	0,71	0,71	0,84	0,93
C22-10	Середнє значення	0,69	0,71	0,7	0,72	0,8	0,94
	Стандартне значення	0,68	0,71	0,7	0,73	0,8	0,91
C22-11	Середнє значення	0,67	0,71	0,69	0,71	0,82	0,91
	Стандартне значення	0,67	0,72	0,68	0,74	0,91	0,91
C22-12	Середнє значення	0,63	0,73	0,65	0,75	0,82	0,91
	Стандартне значення	0,62	0,74	0,66	0,76	0,83	0,91

З аналізу табл. 5, 6 можна зробити висновки, що запропонований метод забезпечує стабільну роботу алгоритму для основних тестових функцій унімодального та мультимодального виду.

Як видно з табл. 5, 6 підвищення оперативності прийняття рішень досягається на рівня 14–20 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

Запропонований підхід доцільно використовувати для вирішення завдання обробки гетерогенних даних, що характеризуються високим ступенем складності.

Висновки

1. Визначено алгоритм реалізації методу, завдяки додатковим та удосконаленим процедурам що дозволяє:

- початкова популяція АБВ та їх вихідне положення на площині пошуку визначається з врахуванням ступеню невизначеності вихідних даних про маршрут руху групи БпЛА;

- враховується початкова швидкість кожного АБВ, чим досягається можливість визначати пріоритетність пошуку у відповідній площині пошуку (по висоті, широті та довготі);

- визначається придатність маршруту польоту групи БпЛА при виконанні польотного завдання з урахуванням сукупності зовнішніх факторів, чим зменшується час пошуку рішення;

- універсальність стратегій пошуку місць харчування АБВ, чим дозволяється класифікувати сукупність умов та факторів, які впливають на виконання польотного завдання. Це дозволяє визначити найбільш придатні варіанти руху групи БпЛА по визначеному критерію оптимізації маршруту руху;

- можливістю досліджувати простори рішення функцій, що описуються нетиповими функціями, за рахунок використання процедур вибору техніки ходи АБВ;

- проводити заміну непридатних для пошуку осіб за рахунок оновлення

популяції АБВ;

- можливість одночасного пошуку рішення в різних напрямках;
- можливістю глибокого навчання баз знань АБВ;
- можливістю розрахунку необхідної кількості обчислювальних ресурсів, яких необхідно залучити у разі неможливості проведення розрахунків наявними обчислювальними ресурсами.

2. Проведений приклад використання запропонованого методу на прикладі побудови маршруту руху групи БпЛА, який показав підвищення оперативності прийняття рішень досягається на рівня 15–18 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

3. Визначено алгоритм реалізації методу, завдяки додатковим та удосконаленим процедурам що дозволяє:

досягти виставлення початкової популяції агентів зграї комбінованого алгоритму та їх вихідне положення на площині пошуку з врахуванням ступеню невизначеності вихідних даних про інформацію, яка циркулює в організаційно-технічній системі за рахунок використання відповідних корегувальних коефіцієнтів. Зазначене дозволяє скоротити час на початкове налаштування підсистеми обробки гетерогенних даних при первинному налаштуванні;

враховувати початкову швидкість кожного з агентів зграї комбінованого алгоритму, чим досягається можливість визначати пріоритетність пошуку у відповідній площині пошуку (по елементам і складовим частинам організаційно-технічної системи);

визначається придатність прийнятих рішень при обробці гетерогенних даних з урахуванням сукупності зовнішніх факторів, чим зменшується час пошуку рішення ;

класифікувати сукупність умов та факторів, які впливають на процес обробки гетерогенних даних за рахунок універсальності стратегій пошуку місць харчування агентів зграї комбінованого алгоритму. Це дозволяє визначити найбільш придатні варіанти рішення щодо обробки гетерогенних даних по

визначеному критерію оптимізації;

досліджувати простори рішення функцій, що описуються нетиповими функціями, за рахунок використання процедури вибору довжини кроку агентів гепардів зі зграї агентів комбінованого алгоритму;

проводити заміну непридатних для пошуку осіб за рахунок оновлення популяції агентів зграї комбінованого алгоритму;

провести порівняльну оцінку ефективності обробки гетерогенних даних за допомогою процедури модуляції метаевристичних операторів ;

можливістю одночасного пошуку рішення в різних напрямках;

можливістю глибокого навчання баз знань агентів зграї комбінованого алгоритму;

можливістю розрахунку необхідної кількості обчислювальних ресурсів, яких необхідно залучити у разі неможливості проведення розрахунків наявними обчислювальними ресурсами.

4. Проведений приклад використання запропонованого методу на прикладі обробки гетерогенних даних в оперативному угрупованні військ (сил), який показав підвищення оперативності прийняття рішень на рівні 14–20 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

5. Визначено алгоритм реалізації методу, завдяки додатковим та удосконаленим процедурам що дозволяє:

досягти виставлення початкової популяції агентів зграї комбінованого алгоритму та їх вихідне положення на площині пошуку з врахуванням ступеню невизначеності вихідних даних про інформацію, яка циркулює в організаційно-технічній системі за рахунок використання відповідних корегувальних коефіцієнтів. Зазначене дозволяє скоротити час на початкове налаштування підсистеми обробки гетерогенних даних при первинному налаштуванні;

враховувати початкову швидкість кожного з агентів зграї комбінованого алгоритму, чим досягається можливість визначати пріоритетність пошуку у відповідній площині пошуку (по елементам і складовим частинам організаційно-

технічної системи);

визначається придатність прийнятих рішень при обробці гетерогенних даних з урахуванням сукупності зовнішніх факторів, чим зменшується час пошуку рішення ;

класифікувати сукупність умов та факторів, які впливають на процес обробки гетерогенних даних за рахунок універсальності стратегій пошуку місць харчування агентів зграї комбінованого алгоритму. Це дозволяє визначити найбільш придатні варіанти рішення щодо обробки гетерогенних даних по визначеному критерію оптимізації;

досліджувати простори рішення функцій, що описуються нетиповими функціями, за рахунок використання процедури вибору довжини кроку агентів гепардів зі зграї агентів комбінованого алгоритму;

проводити заміну непридатних для пошуку осіб за рахунок оновлення популяції агентів зграї комбінованого алгоритму;

провести порівняльну оцінку ефективності обробки гетерогенних даних за допомогою процедури модуляції метаввристичних операторів ;

можливістю одночасного пошуку рішення в різних напрямках;

можливістю глибокого навчання баз знань агентів зграї комбінованого алгоритму;

можливістю розрахунку необхідної кількості обчислювальних ресурсів, яких необхідно залучити у разі неможливості проведення розрахунків наявними обчислювальними ресурсами.

6. Проведений приклад використання запропонованого методу на прикладі обробки гетерогенних даних в оперативному угрупованні військ (сил), який показав підвищення оперативності прийняття рішень на рівні 14–20 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.