

7.2 Метод самоорганізації інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих впливів

7.2.1 Комплексна модель функціонування інформаційних мереж.

В даний час ведеться формування методології теорії інформаційних конфліктів в технічній сфері як закономірного розвитку і синтезу раніше роз'єднаних теорій радіоелектронної боротьби (РЕБ) і інформаційної безпеки.

Необхідно відзначити, що для дослідження процесів антагоністичної взаємодії інформаційних мереж, пов'язаної з порушенням доступності, цілісності і конфіденційності інформації досить давно введено поняття “інформаційний конфлікт” [183].

У переважній кількості робіт з інформаційного конфлікту він розглядається в контексті застосування засобів радіоелектронної протидії з метою порушення функцій інформаційного забезпечення [183-186].

Інформаційний конфлікт в загальному випадку характеризується властивою йому ієрархічною структурою, відповідної різним рівням видобутої (необхідної) інформації, і, відповідно, рівням добування, збирання та узагальнення даних про конфліктуючі сторони. В основі мережевої архітектури сучасних інформаційних мереж покладено семирівневу модель взаємодії відкритих систем OSI (The Open Systems Interconnection model – модель взаємодії відкритих систем), яка передбачає незалежність функцій управління за рівнями [192].

Нижчий фізичний рівень інформаційного конфлікту, є протистояння радіоелектронних систем з цілеспрямованим використанням ними різного роду електромагнітних випромінювань і впливів на фізичну інфраструктуру в інтересах отримання первинної інформації про характеристики та стан основних об'єктів протилежної сторони або / та запобігання можливості отримання такої інформації іншою стороною [183].

Разом з тим як показано в роботах [183-257] в даний час спостерігається відхід інформаційного конфлікту в глобальний телекомунікаційний простір. Наявні роботи [184-197] в частині інформаційного конфлікту в рамках дуелі “інформаційно-управляюча система – система дестабілізуючих впливів”, як правило, розглядають конфлікт на одному рівні функціонування цих систем. При цьому в роботах [183], [185], [189], [196] відзначається, що інформаційний конфлікт носить складний ієрархічний характер і може складатися з безлічі дуельно-ігрових ситуацій на різних рівнях ієрархії.

У роботах [183, 184] представлено розвиток моделі інформаційного конфлікту в напрямку підвищення «багаторівневості» конфлікту та узгодження його з моделлю OSI. Дані роботи пропонують спільно з «класичним» інформаційним конфліктом врахувати нові способи впливу за рахунок декомпозиції інформаційного конфлікту інформаційних мереж на окремі конфліктні ситуації на кожному з рівнів моделі OSI.

Таким чином, запропонований роботах [183, 184] новий концептуальний підхід до моделювання інформаційного конфлікту, з одного боку органічно розвиває існуючі роботи [185], [187], [193] в частині багаторівневого інформаційного конфлікту інформаційних мереж, а з іншого – формалізує конфліктну взаємодію відповідно до рівнів еталонної моделі OSI.

Дана концептуальна модель, є еталонною моделлю взаємодії конфліктуючих систем CSI (Conflict System Interconnection Reference Model) формалізує об'єкти і загальні підходи до опису локальних інформаційних конфліктів в інформаційних мережах на кожному з рівнів моделі OSI.

Разом з тим, враховуючи великий вклад зазначених робіт у розвиток теорії конфлікту інформаційних мереж та дестабілізуючих факторів залишаються невирішеними наступні питання: опис конфлікту інформаційних мереж та дестабілізуючих факторів обмежено лише одним рівнем (декількома) без опису його зазначеного впливу на інші рівні моделі OSI; не враховується час на збір, обробку та узагальнення інформації для прийняття управлінських рішень

інформаційно-керуючою системою; не враховується апріорна невизначеність про засоби деструктивного впливу; не враховується ступінь зашумленості даних.

Зазначений факт обумовлює актуальність проведеного автором дослідження. Узагальнений вираз математичної моделі інформаційного конфлікту інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих впливів представлений в виразі (1).

$$\forall t \in \{1, \dots, T, \dots\} S_t = \\ = \left\{ s_i^{(t)} F_i \left(\left(\varphi_{1,i} \left(s_i^{(t-1)} (X_i, \Pi_i, U_i, A_i, \Omega_i, Y_i, Q_i, N_i, M_i) \right) \right) \cdot \iota_i \right) \cdot \chi_i, i = \overline{1, 7}. \quad (1)$$

де S – багатовимірний часовий ряд;

$S_t = (s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, \dots, s_N^{(t)})$ – часовий зріз стану інформаційної мережі

представлений у вигляді багатовимірного часового ряду на t -й момент часу; $s_j^{(t)}$ – значення j -го компонента багатовимірного часового ряду на t -й момент часу; L_j^i – максимальне значення часової затримки i -го компоненту відносно j -го; φ_{ij} – оператор для врахування взаємовпливу між i -им та j -им компонентом багатовимірного часового ряду; F_i – перетворення для отримання $s^{(t)}$, $i = \overline{1, \dots, N}$; N – число компонентів багатовимірного часового ряду; ι – оператор для врахування ступеню інформованості про засоби інформаційного впливу на інформаційну мережу; χ – оператор для врахування ступеню зашумленості даних про стан інформаційної мережі;

З виразу (1) можна зробити висновок, що вираз дозволяє описати процеси в інформаційній мережі з урахуванням запізнь у часі. Затримки необхідні на збір, обробку та узагальнення інформації. Також у виразі (1) враховується ступінь інформованості про засоби інформаційного впливу та зашумленості даних, описуються процеси, що мають як кількісні так і якісні одиниці виміру.

Детально опишемо всі складові виразу (1). Кожен l -ий рівень інформаційної мережі вирішує свої функціональні завдання. При цьому безпосередньо сам рівень утворений сукупністю функціонально-взаємодіючих протоколів $\Pi_l = \bigcup \pi_l$, які функціонують в параметричному просторі середовища

$X_l = R_l \times \chi_l \times V_l$, де $\chi_l = \bigcup \chi_{l,\pi}$, $R_l = \bigcup R_{l,\pi}$, $V_l = \bigcup V_{l,\pi}$. Відповідно кожному рівню притаманні специфічні для нього параметри природного середовища χ_l , ресурси, R_l і впливи V_l . При цьому ефективність функціонування нижніх рівнів безпосередньо визначає ефективність функціонування більш верхніх рівнів.

Інформаційна мережа складається з 7 рівнів, які відповідають моделі OSI, і кожному з рівнів відповідає власна сукупність протоколів. З урахуванням формального опису протоколу, поданого вище, кожен рівень моделі в складі ієрархічної моделі інформаційної мережі буде описуватися наступними параметрами і відображеннями.

1) Вхідні параметри l -ого рівня: множина узагальнених параметрів середовища $X_l = R_l \times \chi_l \times V_l$, де $\chi_l = \bigcup \chi_{l,\pi}$, $R_l = \bigcup R_{l,\pi}$, $V_l = \bigcup V_{l,\pi}$ в якій функціонує множина протоколів $\Pi_l = \bigcup \pi_l$ на l -му рівні, що включають в себе: множина параметрів природного середовища l -го рівня $\chi_l (\chi_l \subseteq \chi)$; множина ресурсів інформаційної мережі l -го рівня $R_l (R_l \subseteq R)$; множина деструктивних впливів V_l , що реалізовані системою деструктивних впливів на l -му рівні і впливаючих на функціонування протоколів $\Pi_l = \bigcup \pi_l$; множина керуючих впливів $U_l = \langle \{U_{l,\pi}\} \times T \rangle (U_l \subseteq U)$ на протоколи Π_l з боку інформаційної мережі на l -му рівні; множина моментів часу функціонування інформаційної мережі T .

2) Перетворення, що визначають загальну динамічну модель l -ого рівня інформаційної мережі: множина алгоритмів A_l протоколів Π_l на l -му рівні інформаційної мережі:

$$A_l = \bigcup_{\Pi_l} A_{l,\pi}; \quad (2)$$

множина параметрів Ω_l алгоритмів A_l протоколів на l -му рівні інформаційної мережі:

$$\Omega_l = \bigcup_{\Pi_l} \Omega_{l,\pi}; \quad (3)$$

вираз ψ_l , що описує зміну станів s_l l -ого рівня інформаційної мережі:

$$s_l = \{s_\pi\} \bigcup \Theta_l = \psi_l(t_0, t, \{\pi\}, \{S_\pi\}, X_l, U_l, A_l, \Theta_l), \quad (4)$$

при цьому стан l -ого рівня визначається як об'єднання множини станів всіх протоколів цього рівня $\{s_\pi\}$ і стану функціонально-структурних зв'язків між протоколами Θ_l ;

перетворення f_l , що визначає вихідні показники якості обслуговування Q_l , які забезпечують протоколи Π_l на l -му рівні функціонування:

$$Q_l = f_l(t, s_l, X_l, U_l, A_l). \quad (5)$$

перетворення γ_l , що визначає вихідні параметри Y_l протоколів Π_l на l -му рівні:

$$Y_l = \gamma_l(t, s_l, X_l, U_l, A_l). \quad (6)$$

перетворення ϕ_l , що визначає параметричну множину середовища X_{l+1} функціонування протоколів більш високого рівня Π_l :

$$X_{l+1} = \phi_l(s_\pi, t, X_l, U_l, A_l). \quad (7)$$

3) Вихідні параметри: множина вихідних параметрів l -ого рівня Y_l : множина показників якості обслуговування Q_l , які забезпечуються на l -му рівні функціонування; множина параметрів середовища для функціонування протоколів більш високого рівня X_{l+1} ; канал спостереження $N_l = \bigcup N_{l,\pi} = \langle Y_{l,N} \times Q_{l,N} \rangle$ з боку інформаційної мережі в інтересах прийняття рішень з управління інформаційною мережею; канал спостереження $M_l = \bigcup N_{l,\pi} = \langle Y_{l,M} \times Q_{l,M} \rangle$ з боку системи дестабілізуючих впливів в інтересах прийняття рішень щодо доцільного застосування впливів V_l .

З урахуванням вищевикладеного ієрархічна модель інформаційної мережі як сукупності рівнів моделі OSI буде визначатися наступними параметрами і перетвореннями:

1) Вхідні параметри інформаційної мережі: множина узагальнених параметрів середовища $X = \bigcup X_l$, що включають в себе: множина параметрів

природного середовища $\chi = \bigcup \chi_l$ множина ресурсів інформаційної мережі $R = \bigcup R_l$; множина впливів $V = \bigcup V_l$ реалізованих системою дестабілізуючих впливів на l -их рівнях функціонування; множина управляючих впливів $U = \bigcup U_l$ з боку інформаційної мережі на l -их рівнях функціонування; множина моментів часу функціонування T .

2) Перетворення, що визначають динамічну модель інформаційної мережі: множина алгоритмів A інформаційної мережі:

$$A = \bigcup A_l \quad (8)$$

– множина параметрів Ω алгоритмів A інформаційної мережі:

$$\Omega = \bigcup \Omega_l. \quad (9)$$

– множина протоколів Π інформаційної мережі:

$$\Pi = \bigcup \Pi_l \quad (10)$$

– множина ψ , що задають зміну станів S інформаційної мережі:

$$S = \{S_l\} \bigcup \Theta = \psi(t_0, t, \{S_l\}, X, U, A, Z, E, K, \Lambda, \Theta), \quad (11)$$

де: $Z = \{z_i\}$ – множина елементів інформаційної мережі; $E = \{e_i\}$ – множина каналоутворюючих засобів в інформаційній мережі; $K = \{k_{ij}\}$ – множина каналів, що з'єднують вузлові елементи інформаційної мережі;

– множина перетворень f , що визначають вихідні показники якості обслуговування Q інформаційної мережі:

$$Q = f(t, S, X, U, A), f = \bigcup f_l, Q = \bigcup Q_l. \quad (12)$$

– множина перетворень γ , що визначають вихідні параметри Y інформаційної мережі:

$$Y = \gamma(t, S, X, U, A), \gamma = \bigcup \gamma_l, Y = \bigcup Y_l. \quad (13)$$

– множина перетворень ϕ , що визначають між ієрархічні зв'язки між рівнями інформаційної мережі:

$$\phi = \bigcup \phi_l. \quad (14)$$

Фактично множина перетворень ϕ визначає відмінність даної моделі від класичної моделі OSI, яка в явному вигляді не задає міжрівневих взаємозв'язків.

3) Вихідні параметри: множина вихідних параметрів інформаційної мережі Y ; кінцеві вихідні параметри інформаційної мережі Y_7 ; множина показників якості обслуговування Q інформаційної мережі; канал спостереження $N = \bigcup N_l = \langle Y_N \times Q_N \rangle$ з боку інформаційної мережі в інтересах прийняття рішень з управління інформаційною мережею; канал спостереження $M = \bigcup M_l = \langle Y_M \times Q_M \rangle$ з боку системи дестабілізуючих впливів в інтересах прийняття рішень щодо застосування багаторівневих впливів V .

У загальному випадку процеси функціонування інформаційної мережі задаються перетвореннями (10)–(14). Основу інформаційної мережі складає просторово-розподілена транспортна мережа, стан елементів якої і визначає стан S інформаційної мережі в цілому:

$$S = \psi(t_0, t, \{S_l\}, X, U, A, Z, E, K, \Lambda, \Theta), \quad (15)$$

де: $E = \{e_i\}$ – множина каналоутворюючих засобів, встановлених на вузлових елементах інформаційної мережі, при цьому кожен засіб підтримує множину протоколів π_i , тобто $e_i = \langle \{\pi_i\} \rangle$; $Z = \{z_i\}$ – множина вузлових елементів мережі, кожен вузловий елемент містить множину каналоутворюючих засобів e_i , тобто $z_i = \langle \{e_i\}, \{\pi_i\}, \{k_{ij}\} \rangle$; $K = \{k_{ij}\}$ – множина каналів зв'язку, що з'єднують вузлові елементи інформаційної мережі; Λ – матриця розподілу інформаційних потоків між абонентами і вузловими елементами інформаційної мережі (матриця тяжіння).

Параметри $Z \times K$ фактично задають граф інформаційної мережі, а окремі дії $V_{l,\pi}$ за рахунок порушення функціонування або блокування протоколів, використовуваних як в каналі зв'язку $k_{ij} = \langle z_i, z_j, e_i, e_j, \pi_{l,k} \rangle$, так і в вузлі $z_i = \langle \{e_i\}, \{\pi_i\}, \{k_{ij}\} \rangle$, призводять до зміни топології.

Процес функціонування інформаційної мережі визначається перетворенням $\gamma: \langle t, S, X, U, A \rangle \rightarrow Y$, що задається виразом (13).

У процесі функціонування інформаційної мережі проводиться доставка повідомлень Y_7 з показниками якості Q , що відповідають цільовим призначенням інформаційної мережі в залежності від її поточного стану S і множини вхідних впливів X і управління U .

Якість виконання функцій за цільовим призначенням інформаційної мережі визначається показниками Q , які залежать від множини використовуваних протоколів Π , що функціонують відповідно до алгоритмів A і їх параметрами Ω , а також залежать від параметрів середовища $X = R \times \chi \times V$.

Інформаційна мережа функціонує ефективно в разі якщо її показники якості верхнього (прикладного) рівня Q_7 , одержувані в результаті згортки $Q_1 \rightarrow Q_2 \rightarrow \dots \rightarrow Q_i \rightarrow \dots \rightarrow Q_7$, мають значення не нижче необхідного, тобто виконується критерій:

$$\forall \{q_7 \geq q_7^{необ}\} \in Q_7. \quad (16)$$

При цьому особливе значення мають чотири нижніх рівня: фізичний, каналний, мережевий і транспортний, які відповідають телекомунікаційному обладнанню інформаційної мережі і більшою мірою уразливі для навмисних впливів. Тому в якості окремого випадку можна розглядати інформаційну мережу як просторово-розподілену транспортну мережу обмежену чотирма нижніми рівнями OSI. У цьому випадку критерій (15) може бути представлений у вигляді:

$$\forall \{q_4 \geq q_4^{необ}\} \in Q_4. \quad (17)$$

Розглянемо більш детально інформаційний конфлікт за рівнями впливу:

а) вплив тільки на фізичному рівні (наприклад, РЕП); б) вплив тільки на мережевому рівні (наприклад, DDOS атаки);

в) оцінка ефектів від однорівневого впливу на фізичному рівні (наприклад, ефекти від РЕП призводять до втрати достовірності прийому, яку не здатні

виправити протоколи фізичного і каналного рівня, але за рахунок перемаршрутизації на мережевому рівні ефекти від впливу виправляються);

г) різнорівневий комплексний вплив (по аналогії з попереднім випадком, тільки додаткове використання інформаційного впливу на мережевому рівні призводить до нестабільного функціонування протоколів маршрутизації і доставка пакетів неможлива).

При цьому найбільш імовірним сценарієм є використання на нижніх рівнях некритичних динамічних дій $(Q_1(V_1) \gg Q_1^{необ})$, ефект яких відображається на більш верхні рівні $(V_1 \rightarrow X_1 \rightarrow \Pi_1 \rightarrow Y_1 \rightarrow X_2 \rightarrow \Pi_2 \rightarrow \dots)$ і переводить інформаційну мережу в гранично стійкий стан.

Як показано в роботі [201], ефективність управління багаторівневої системи, якою є інформаційна мережа, залежить від співвідношень між глобальною і локальними цілями функціонування на кожному з рівнів. У зв'язку з цим може виникнути міжрівнева неузгодженість (конфлікт) між локально прийнятими рішеннями. У загальному випадку в багаторівневій системі виникають два види конфліктів [201]: міжрівневі та внутрішньорівневі.

Як показано вище, інформаційна мережа є ефективною у разі, якщо її показники якості верхнього (прикладного) рівня Q_7 , одержувані в результаті згортки $Q_1 \rightarrow Q_2 \rightarrow \dots \rightarrow Q_i \rightarrow \dots \rightarrow Q_7$, мають значення не нижче необхідного, тобто виконується критерій $\forall \{q_7 \geq q_7^{необ}\} \in Q_7$.

За аналогією введемо поняття ефективних умов функціонування - умов $X_{еф} = \bigcup X_l (X_l = \langle R_l \times \chi_l \times V_l \rangle)$, які при управлінні інформаційною мережею $U = \bigcup U_l$ забезпечують виконання критерію ефективності функціонування $\forall \{q_7 \geq q_7^{необ}\}$. Існування таких ефективних умов визначає ділянки неефективних дій – тобто впливів $V_{нееф} = \bigcup V_l$, які при управлінні $U = \bigcup U_l$ не здатні вивести інформаційну мережу за межі ефективного функціонування, тобто

$Q(U, X_{ef}(V_{неef})) \geq Q^{необ}$. Іншими словами ефективні умови функціонування інформаційної мережі відповідають умові неефективних дій.

В даний час в моделі OSI прийнятий класичний принцип незалежності інформаційної мережі на різних рівнях її функціонування. В основу класичного принципу багаторівневого функціонування відповідно до моделі OSI покладені два положення:

1) Протоколи вищих рівнів Π_l і система управління ними повинні забезпечувати виправлення неефективних вихідних параметрів (вихідних умов) нижчих рівнів $Y_{l-1\ неef} \rightarrow Y_{l\ еf}$:

$$\Phi_l : Y_{l-1\ неef} \xrightarrow{\Pi_l} \begin{bmatrix} X_{l\ еf} \\ X_{l\ неef} \end{bmatrix}, \quad (18)$$

$X_{l\ еf}$ – відповідає випадку коли протоколи Π_l виправляють неефективні умови функціонування попереднього рівня; $X_{l\ неef}$ – коли не виправляють. При цьому $X_{l\ неef} = \bigcup_{\Pi_l} X_{l,\pi\ неef}$, $X_{l\ еf} = \bigcup_{\Pi_l} X_{l,\pi\ еf}$ в підсумку $X_l = X_{l\ еf} \bigcup X_{l\ неef}$.

2) На своєму рівні функціонування протоколи Π_l функціонально незалежні від нижчих рівнів Π_{l-1} і повинні забезпечувати необхідну ефективність функціонування:

$$f_l : \langle t, s_l, X_{l\ еf}, U_l, A_l \rangle \xrightarrow{\Pi_l} Q_l \mid Q_l \geq Q_l^{необ}. \quad (19)$$

Вираз (18) дозволяє сформулювати висновок, який на перший погляд здається логічним, якщо вихідні параметри протоколів нижчого рівня є ефективними, то і умови функціонування протоколу вищого рівня є ефективними:

$$Y_{l-1\ еf} \Rightarrow Y_{l\ еf}, \quad (20)$$

звідки, поширюючи даний висновок на всі рівні інформаційної мережі отримуємо, що ефективні умови l -го рівня є причиною ефективних умов всіх наступних рівнів.

$$X_{1\ еf} \Rightarrow Y_{1\ еf} \Rightarrow \dots \Rightarrow Y_{l-1\ еf} \Rightarrow X_{l\ еf} \Rightarrow \dots \Rightarrow Y_{7\ еf}. \quad (21)$$

Разом з тим, з практики відомо, що існують режими функціонування протоколів, які є неефективними, але при цьому дотримуються умов ефективного функціонування 1-го рівня. Таким чином, наслідок (21) не виконується. Як правило, пояснення наявності таких умов лежить в області незалежності функціональних рівнів інформаційної мережі і, нібито, неможливості формування окремих умов поточного рівня з умов функціонування попереднього рівня.

Для навмисної реалізації вищенаведених умов неефективного функціонування інформаційної мережі можна запропонувати три базових варіанти впливу:

1) Вплив на нижчому рівні V_i , який є неефективним на i -му рівні (тобто не веде до зниження $Q_i < Q_i^{необ}$), але за рахунок впливу $V_{i\text{ неэф}} \rightarrow X_{i\text{ еф}} \rightarrow Y_{i\text{ еф}} \rightarrow \dots \rightarrow X_{j\text{ неэф}} \rightarrow Y_{j\text{ неэф}}$ на вищестоящий j -ий рівень інформаційної мережі формує його неефективну середу $X_{j\text{ неэф}}$, що приводить до критичного падіння якості функціонування цього рівня;

2) Сукупність впливів $V = \bigcup V_i$ на різних рівнях які окремо неефективні, але за рахунок їх впливу на вищі рівні створює неефективні умови середовища $X_{j\text{ неэф}}$ на вищому j -му рівні

$$\begin{array}{ccccccc} & & V_{i-1\text{ неэф}} & & V_{i\text{ неэф}} & & \\ & & \downarrow & & \downarrow & & \\ X_{1\text{ еф}} & \rightarrow & Y_{1\text{ еф}} & \rightarrow & \dots & \rightarrow & X_{i-1\text{ еф}} \rightarrow Y_{i-1\text{ еф}} \rightarrow X_{i\text{ еф}} \rightarrow Y_{i\text{ еф}} \dots \rightarrow X_{j\text{ неэф}} \rightarrow Y_{j\text{ неэф}} \cdot; \end{array}$$

3) Поодинокий вплив V_i або їх сукупність $V = \bigcup V_i$ на різних рівнях, що призводять до виникнення і розвитку внутрішньосистемних конфліктів в інформаційній мережі як усередині окремого рівня, так і між рівнями функціонування.

7.2.2 Метод самоорганізації інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих впливів

Оптимізація є складним процесом визначення множини рішень для різноманітних функції. Багато розрахункових завдань сьогодення належать саме

до завдань оптимізації [183-185]. При вирішенні завдань оптимізації змінні рішення визначаються таким чином, щоб інформаційні мережі працювали в своїй найкращій по визначеному критерію оптимізації точці (режимі).

Проблеми оптимізації інформаційних мереж є розривними, недиференційованими, а також мультимодальними. Таким чином класичні градієнтні детерміновані алгоритми [186-188] для вирішення завдань самоорганізації інформаційних мереж використовувати недоцільно.

Щоб подолати недоліки класичних алгоритмів оптимізації для вирішення проблем самоорганізації інформаційних мереж, була створена значна кількість алгоритмів стохастичної оптимізації, відомих як метаввристичні алгоритми [189-191].

Одним із різновидів алгоритмів стохастичної оптимізації інформаційних мереж є алгоритми ройового інтелекту (ройові алгоритми). Алгоритми ройового інтелекту базуються на русі рою і імітують взаємодію рою та його оточення, щоб покращити знання про навколишнє середовище, наприклад нові джерела їжі. Найвідомішими ройовими алгоритмами є алгоритм оптимізації рою частинок, алгоритм штучної бджолоїної колонії, алгоритм оптимізації мурашиної колонії, алгоритм оптимізації зграї вовків, а також алгоритм зграї горобців [194-200].

Нажаль, більшість згаданих вище базових метаввристичних алгоритмів не в змозі збалансувати дослідження та використання, що призводить до незадовільної продуктивності для реальних завдань самоорганізації інформаційних мереж.

Це спонукає до впровадження різноманітних стратегій для покращення швидкості, збіжності та точності метаввристичних алгоритмів. Один з варіантів підвищення оперативності прийняття рішень з використанням метаввристичних алгоритмів є їх комбінування, тобто додавання базових процедур одного алгоритму в інший.

Враховуючи зазначене, актуальним науковим завданням є розробка методу самоорганізації інформаційних мереж в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів з використанням штучного інтелекту, який б дозволив

підвищити оперативність прийнятих рішень щодо управління параметрами самоорганізації інформаційних мереж з заданою достовірністю.

Проведений аналіз праць [191-204] показав, що спільними недоліками вищезазначених досліджень є: відсутність можливості формування ієрархічної системи показників щодо процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність врахування обчислювальних ресурсів системи, що здійснюють аналіз процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність механізмів корегування системи показників в ході оцінювання процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність врахування типу невизначеності та зашумленості даних про процес самоорганізації інформаційних мереж, що створює відповідні похибки при оцінюванні їх реального стану; відсутність механізмів глибокого навчання баз знань, що характеризують процес самоорганізації інформаційних мереж; велика обчислювальна складність, при проведенні розрахунку процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність врахування обчислювальних (апаратних) ресурсів, доступних в системі, яка проводить оцінку процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність можливості визначення пріоритетності пошуку рішення, в певному напрямку, щодо стану процесу самоорганізації інформаційних мереж.

Метою дослідження є розробка методу самоорганізації інформаційних мереж в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів. Це дозволить підвищити оперативність оцінки процесу самоорганізації інформаційних мереж з заданою достовірністю та вироблення послідовних управлінських рішень. Це дасть можливість розробити програмне забезпечення для інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що здійснюють аналіз стану складних динамічних об'єктів.

З метою деталізації процесу самоорганізації інформаційних мереж визначимо параметри, за якими здійснюється самоорганізація по рівням взаємодії відкритих систем (табл. 1).

Таблиця 1 – Орієнтовний взаємозв'язок між параметрами та управляючими змінними за рівнями моделі OSI

Рівень OSI	Об'єкти управління	Основні параметри оптимізації	Управляючий вплив вузла
Фізичний	Канал в межах зв'язності з сусідніми вузлами	Пропускна здатність, час передачі в каналі, витрати енергії батарей, потужність передачі тощо	Потужність (спрямованість) передачі, вид модуляції, тип корегуючого коду, параметри тощо
Канальний	Канали в межах зв'язності з сусідніми вузлами	Пропускна здатність та час передачі в каналі, витрати енергії батарей, обсяг службової інформації тощо	Алгоритми обміну канального рівня: детерміновані, випадкові, гібридні; розміри пакетів та квитанцій
Мережевий	Один або декілька маршрутів передачі	Обсяг службової інформації, параметри маршруту (час побудови та існування, кількість, пропускна здатність, час доставки, витрати енергії батарей тощо).	Алгоритми обміну мережевого рівня: табличні, зондові, гібридні, хвильові асиметричні, ієрархічні тощо. Алгоритми управління топологією
Транспортний	Інформаційний напрямок зв'язку	Пропускна здатність, час та варіація його передачі в напрямку	Алгоритми управління чергами. Розмір вікна перевантаження, час тайм-ауту тощо
Прикладний	Вузол, вузли-сусіди, зона мережі, вся мережа	Пропускна здатність, час та варіація часу передачі, витрати енергії батарей, безпека передачі	Алгоритми (протоколи) інформаційного обміну прикладного рівня, координація та інтелектуалізація за рівнями OSI

Як видно з таблиці 1, термін самоорганізація інформаційних мереж включає в себе в основному параметри 1–4 рівнів взаємодії відкритих систем. Отже, в даному дослідженні, нами будуть розглянуті саме зазначені рівні взаємодії відкритих систем та основні параметри, які в них використовуються.

Комбінований алгоритм складається з трьох основних дій (процедур): дослідження, експлуатації та перехідні процеси від дослідження до експлуатації. Метод самоорганізації інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих факторів складається з наступної послідовності дій:

Дія 1. Введення вихідних даних. На даному етапі вводяться вихідні дані, що наявні про інформаційну мережу, що самоорганізується.

Дія 2. Виставлення особин комбінованої зграї на площині пошуку.

Всі перелічені особини, а саме яструби та лиски утворюють популяцію комбінованого алгоритму, яку можна змодельовати з математичної точки зору за допомогою матриці відповідно до рівняння. Виставлення особин комбінованого алгоритму здійснюється з урахуванням невизначеності щодо інформаційної мережі, що самоорганізується та проводиться ініціалізація базової моделі її стану [184, 201, 203] (3.1).

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix}_{N \times m} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \times l_{1,1} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1,d} \times l_{1,d} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1,m} \times l_{1,m} \\ \cdot & \cdot & & & \cdot & & & \cdot & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ x_{i,1} \times l_{i,1} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{i,d} \times l_{i,d} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{i,m} \times l_{i,m} \\ \cdot & & & \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ x_{N,1} \times l_{N,1} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{N,d} \times l_{N,d} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{N,m} \times l_{N,m} \end{bmatrix}_{N \times m} \quad (22)$$

Основна позиція зграї комбінованого алгоритму ініціалізується на початку виконання алгоритму за допомогою рівняння (23):

$$x_{i,d} = lb_d + r \cdot (ub_d - lb_d), \quad (23)$$

Тут X – популяційна матриця особин комбінованого алгоритму, X_i – i -й член особин комбінованого алгоритму (кандидат рішення), $x_{i,d}$ – d -й вимір у просторі пошуку (змінна рішення), N – кількість особин комбінованого алгоритму, m – кількість змінних рішення, $r \in$ випадковим числом в інтервалі $[182,183]$, lb_d і ub_d нижньою та верхньою межею d -их змінних рішення, відповідно.

Оскільки позиція кожної особини комбінованого алгоритму в просторі рішення завдання представляє варіант вирішення проблеми, значення цільової функції може бути оцінено відповідно для кожної особини комбінованого алгоритму. Відповідно до цього набір оцінених значень для цільової функції можна записати відповідно до рівняння (24):

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_N \end{bmatrix}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} F(X_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F(X_i) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F(X_N) \end{bmatrix}_{N \times 1} . \quad (24)$$

де F – вектор оціненої цільової функції, F_i – оцінена цільова функція на основі i -го члена зграї комбінованого алгоритму.

Оцінені значення цільової функції надають цінну інформацію про якість варіантів рішень, запропонованих членами зграї комбінованої популяції. Найкраще значення, отримане для цільової функції, відповідає найкращому члену зграї комбінованого алгоритму (тобто найкращому можливому рішення), а найгірше значення, отримане для цільової функції, відповідає найгіршому члену зграї комбінованого алгоритму (тобто найгіршому можливому рішення).

Оскільки на кожній ітерації положення зграї особин комбінованого алгоритму у просторі вирішення проблеми оновлюється, найкращий член також повинен оновлюватися на основі порівняння оновлених значень для цільової функції. Наприкінці реалізації алгоритму позиція найкращого члена зграї

комбінованого алгоритму, отримана під час ітерацій алгоритму, представлена як рішення завдання.

Дія 3. Нумерація особин в зграї комбінованого алгоритму, $i, i \in [0, S]$. На даному етапі кожній особині зграї комбінованого алгоритму присвоюється порядковий номер.

Дія 4. Визначення початкової швидкості особин зграї комбінованого алгоритму.

Початкова швидкість v_0 кожної особини комбінованої алгоритму визначається наступним виразом:

$$v_i = (v_1, v_2 \dots v_S), v_i = v_0. \quad (25)$$

У плануванні запропонованого підходу комбінованого алгоритму позиція членів популяції в просторі вирішення проблем оновлюється на основі моделювання стратегії полювання особин комбінованої зграї у дикій природі.

Дія 5. Попереднє оцінювання ділянки пошуку (харчування) особинами комбінованої зграї. Харчування особин комбінованої зграї різноманітне, для зграї яструбів – це їжа тваринного походження, а для зграї лисок – це якраз їжа рослинного походження. вони харчуються зайцями, птахами. Тому доцільно провести сортування якості їжі. Вибір місця харчування здійснюється з урахуванням ступеню зашумленості вихідних даних, що запропонований в роботі [228].

Дія 6. Класифікація джерел їжі для агентів комбінованої зграї.

Місцезнаходження найкращого джерела їжі (тобто мінімальна придатність) вважаються зайці – для агентів-яструбів, дрібна риба – для агентів-лисок (FS_{ht}), локації з наступних трьох джерел їжі дрібні птахи (агенти-яструби), ряска (агенти-лиски) (FS_{at}), а решта вважаються звичайною їжею (FS_{nt}):

$$FS_{ht} = FS(\text{sorte_index}(1)), \quad (26)$$

$$FS_{at}(1:3) = FS(\text{sorte_index}(2:4)), \quad (27)$$

$$FS_{nt}(1:NP-4) = FS(\text{sorte_index}(5: NP)). \quad (28)$$

Дія 7. Сортування найкращих особин зграї комбінованого алгоритму.

Відбір найкращих особин зграї комбінованого алгоритму здійснюється з

використанням удосконаленого генетичного алгоритму, запропонованого в роботі [206]. При пошуку їжі найсильніші особини зграї комбінованого алгоритму із найбільшими розмірами направляє іншу особину з комбінованої зграї в групі шукати їжу. Така пошукова поведінка агентів комбінованої зграї призводить до різних областей сканування простору пошуку, що покращує дослідницьку здатність агентів в глобальному пошуку.

Дії 1–7, 10–15 є загальними для всіх особин комбінованого алгоритму. Решта процедур є унікальними для кожного з алгоритмів ройової оптимізації.

Дія 8. Процедура оптимізації зграї агентів-яструбів.

Дія 8.1 Виконання процедури розвідки алгоритму зграї агентів-яструбів.

Формула для оновлення позиції яструбів на цьому етапі виглядає наступним чином.

$$X(t+1) = \begin{cases} X_{вин}(t) - r_1 \cdot |X_{вин}(t) - 2r_2 X(t)|, & q \geq 0.5 \\ (X_{жерт}(t) - X_m(t)) - r_3(LB + r_4(UB - LB)), & q < 0.5 \end{cases} \quad (29)$$

де $X(t)$ та $X(t+1)$ представляють вектор позиції агентів-яструбів в поточній і наступній ітераціях. t представляє поточну кількість ітерацій. $X_{жерт}$ – це позиція жертви, яка також вважається оптимальним рішенням. $X_{вин}(t)$ – вектор позиції випадкової особини зі зграї агентів-яструбів в поточній популяції. r_1, r_2, r_3, r_4 і q є випадковими числами між $[0, 1]$. LB та UB – нижня і верхня межі змінних. $X_m(t)$ є середня позицію всіх агентів-яструбів у популяції, яка розраховується наступним чином:

$$X_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(t), \quad (30)$$

де N – чисельність популяції, $X_i(t)$ – вектор поточного положення i -го агента-яструба зі зграї.

8.2 Фаза дослідження для алгоритму зграї агентів-яструбів.

В алгоритмі енергія втечі жертви E змушує алгоритм переключатися між фазами глобального дослідження та локальної експлуатації. Енергія здобичі поступово зменшується протягом процесу втечі, який можна імітувати, як у рівняння (31):

$$E = 2E_0 \left(\frac{T-t}{T} \right), \quad (31)$$

де E_0 – випадкове число між $[1, 1]$, що представляє початковий стан енергії здобичі, T – максимальна кількість ітерацій. Коли $|E| \geq 1$, агент-яструб продовжить пошук місцезнаходження здобичі в цільовій зоні, визначеній як фаза дослідження. У випадку $|E| < 1$, агент-яструб почне полювати на здобич, знайдену на попередньому етапі, і перейде на стадію експлуатації.

На етапі експлуатації існують чотири можливі стратегії, включаючи м'яку облогу, жорстку облогу, м'яку облогу з поступовими швидкими зануреннями та жорстку облогу з поступовими швидкими зануреннями, щоб імітувати процес атаки яструба на свою жертву. r представляє собою ймовірність того, чи зможе жертва уникнути небезпеки до нападу яструба, яка є випадковим числом між $[0,1]$. Якщо $r < 0,5$ означає, що здобич успішно пройшла через небезпечну ситуацію, $r \geq 0.5$ означає випадок невдалої втечі. Різні комбінації r -значення та енергії втечі E відповідають різним стратегіям полювання. Коли $|E| < 0.5$, виконується жорстка облога. В іншому випадку ведеться м'яка облога.

8.3 Виконання стратегії м'яка облога особинами зі зграї агентів-яструбів.

М'яка облога виконується, коли $r \geq 0.5$ і $|E| \geq 0.5$. На цьому етапі положення агента-яструба оновлюється таким чином:

$$X(t+1) = \Delta X(t) - E |JX_{жертв}(t) - X(t)|, \quad (32)$$

$$\Delta X(t) = X_{жертв}(t) - X(t), \quad (33)$$

$$J = 2(1-r_5), \quad (34)$$

де $\Delta X(t)$ – відстань між позицією агента-яструба та жертвою. r_5 – це випадкове число між $[0, 1]$, J – випадкова інтенсивність стрибка здобичі.

8.4 Виконання стратегії жорсткої облоги агентами-яструбами.

Агент-яструб візьме жорстку облогу, коли $r \geq 0.5$ і $|E| < 0.5$. Математичний опис такої поведінки можна представити наступним чином:

$$X(t+1) = X_{жертв}(t) - E |\Delta X(t)|. \quad (35)$$

8.5 Виконання стратегії м'якої облоги з поступовими швидкими зануреннями для зграї агентів-яструбів.

Коли $r < 0,5$ і $|E| \geq 0.5$, агент-яструб візьме м'яку облогу з поступовими швидкими зануреннями. Політ Леві інтегровано в процедуру пошуку алгоритму зграї яструбів, а математична модель описаної вище поведінки така:

$$Y = X_{\text{жерт}}(t) - E |JX_{\text{жерт}}(t) - X(t)|, \quad (36)$$

$$Z = Y + S \times LF(D), \quad (37)$$

$$X(t+1) \begin{cases} Y, \text{ якщо } F(Y) < F(X(t)) \\ Z, \text{ якщо } F(Z) < F(X(t)) \end{cases}, \quad (38)$$

де D – розмірність проблеми, S – випадковий вектор, розмір якого дорівнює $1 \times D$, $F(\cdot)$ – цільова функція.

Лише краща позиція між Y і Z вибирається наступною позицією. $LF(\cdot)$ – функція польоту Леві, яка обчислюється наступним чином:

$$LF(x) = 0.01 \times \frac{u \times \sigma}{|v|^{\frac{1}{\beta}}},$$

$$\sigma = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma(1+\beta) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{1/\beta}, \quad (39)$$

де u і v – два випадкових числа між $[0, 1]$, β – константа з фіксованим значення 1,5, $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функція.

8.5 Виконання стратегії жорсткої облоги агентів-яструбів з поступовими швидкими зануреннями

Коли $r < 0,5$ і $|E| < 0.5$, агент-яструб виконає жорстку облогу, щоб наблизитися до здобичі, а потім здійснить раптовий напад. Математична модель цієї поведінки записується наступним чином:

$$Y = X_{\text{жерт}}(t) - E |JX_{\text{жерт}}(t) - X_m(t)|, \quad (40)$$

$$Z = Y + S \times LF(D), \quad (41)$$

$$X(t+1) \begin{cases} Y, \text{ якщо } F(Y) < F(X(t)) \\ Z, \text{ якщо } F(Z) < F(X(t)) \end{cases}, \quad (42)$$

де $X_m(t)$ обчислюється за допомогою рівняння (30). Лише краща позиція між Y та Z вибирається як наступна позиція.

Дія 9. Виконання алгоритму оптимізації зграї лиски.

Оптимізація зграї пташок лиски – це техніка оптимізації, заснована на популяції та без градієнтів, що імітує колективну поведінку американської лиски (невеликого водяного птаха) на поверхні води. У даному алгоритмі реалізовано чотири різні нерегулярні та регулярні рухи: випадковий рух, ланцюговий рух, коригування позиції на основі лідерів групи та рух лідера.

Зазвичай лиски живуть групою і створюють структуру ланцюга, щоб рухатися до цільової зони (їжі). Попереду групи є кілька лисок, також відомих як лідери групи, які направляють напрямок і беруть на себе відповідальність за всю зграю. Тому, відповідно до звичок лиски, вихідна популяція ділиться на дві частини: лиска-вожак і лиска-послідовниця. Якщо N є розміром популяції, то кількість лідерів лиски розраховується як відсоток від загальної популяції, що дорівнює L , а інші члени $(N - L)$ вважаються послідовниками лиски. Відзначається, що всі лідери вибираються з популяції випадковим чином. Потім виконуються згадані чотири рухи.

9.1 Випадковий рух агентів-лисок.

На цьому етапі випадкова позиція Q визначається за допомогою рівняння (43). Послідовники-лиски переміщуються до цієї випадкової позиції, щоб досліджувати різні частини домену пошуку.

$$Q = \text{rand}(1, D) \cdot (UB - LB) + LB, \quad (43)$$

де D – розмірність проблеми, LB і UB – нижня і верхня межі змінних. Випадковий рух дає алгоритму кращу ефективність глобального пошуку та посилює здатність алгоритму виходити з локального оптимуму. Нова позиція лиски оновлена таким чином:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + A \times r_6 \times (Q - X_i(t)), \quad (44)$$

де $X_i(t+1)$ – позиція i -го послідовника в наступній ітерації t , r_6 – випадкове число в діапазоні $[0, 1]$, а параметр A обчислюється відповідно до зрівняння (45):

$$A = 1 - \frac{t}{T}, \quad (45)$$

де t – кількість поточних ітерацій, а T – максимальна кількість ітерацій.

9.2 Ланцюговий рух агентів-лисок.

В алгоритмі зграї агентів-лисок для виконання ланцюжкових рухів використовується середнє положення двох осіб. Нова позиція лиски-послідовника обчислюється наступним чином:

$$X_i(t+1) = \frac{1}{2} \times (X_{i-1}(t) + X_i(t)), \quad (46)$$

де $X_{i-1}(t)$ – позиція $(i-1)$ -го послідовника агента-лиски в поточній ітерації t .

9.3 Налаштування позиції на основі лідерів груп.

Як правило, усю групу очолює хтось із лідерів групи, які стоять попереду, а всі лиски, що залишаються, повинні змінити свою позицію на основі лідерів і рухатися до них. Однак серйозна проблема, яку необхідно вирішити, полягає в тому, що кожна лиска повинна оновлювати свою позицію відповідно до лідера, з використанням рівняння (47), призначене для вибору лідера наступним чином:

$$k = 1 + (i \bmod L), \quad (47)$$

де i – індекс поточного послідовника, L – кількість лідерів, а k – індексний номер лідера.

Наступна позиція послідовника-лиски на основі вибраного лідера k обчислюється за допомогою рівняння (48).

$$X_i(t+1) = LeaderX_k(t) + 2 \times r_7 \times \cos(2R\pi) \times (LeaderX_k(t) - X_i(t)), \quad (48)$$

де $LeaderX_k(t)$ – позиція обраного лідера, r_7 – випадкове число в інтервалі $[0, 1]$, а R позначає випадкове число в інтервалі $[-1, 1]$.

9.4 Лідерський рух агентів-лисак

Група повинна бути орієнтована на оптимальну територію, тому в деяких випадках лідерам доводиться залишати поточну оптимальну позицію в пошуках кращої. Формула оновлення позиції лідера записується наступним чином:

$$\begin{aligned} LeaderX_i(t+1) = \\ = \begin{cases} B \times r_8 \times \cos(2R\pi) \times (gBest(t) - LeaderX_i(t)) + gBest(t), r_9 < 0.5, \\ B \times r_8 \times \cos(2R\pi) \times (gBest(t) - LeaderX_i(t)) - gBest(t), r_9 \geq 0.5 \end{cases} \end{aligned} \quad (49)$$

В рівнянні (49), $gBest$ – поточна оптимальна позиція, r_8 і r_9 – випадкові числа в інтервалі $[0, 1]$, а R – випадкове число в інтервалі $[1, 1]$. В r_8 генерує більш значний стохастичний рух, щоб допомогти алгоритму усунути локальні оптимальні рішення. А $\cos(2R\pi)$ призначений для пошуку найкращої особи з різним радіусом для отримання вищої позиції. Значення B розраховується за допомогою рівняння (50).

$$B = 2 - t \times \left(\frac{1}{T} \right), \quad (50)$$

де t – кількість поточних ітерацій, а T – максимум ітерацій.

Дія 10. Об'єднання окремих алгоритмів оптимізації в змішаний.

Для об'єднання різнотипних алгоритмів природної оптимізації використовується стратегія ансамблевої мутації, яка може генерувати різноманітних індивідуумів для покращення можливостей глобального пошуку гібридного алгоритму, яка записується наступним чином:

$$V_{i1} = \begin{cases} X_{R1} + F_1 \times (X_{R2} - X_{R3}), r_{10} < C_1, \\ X_i, r_{10} \geq C_1 \end{cases}, \quad (51)$$

$$V_{i2} = \begin{cases} X_{R4} + F_2 \times (X_{R5} - X_{R6}) + F_2 \times (X_{R7} - X_{R8}), r_{11} < C_2, \\ X_i, r_{11} \geq C_2 \end{cases}, \quad (52)$$

$$V_{i3} = \begin{cases} X_i + F_3 \times (X_{R9} - X_i) + F_3 \times (X_{R10} - X_{R11}), r_{12} < C_3, \\ X_i, r_{12} \geq C_3 \end{cases}, \quad (53)$$

де V_{i1} , V_{i2} і V_{i3} – щойно згенеровані мутантні позиції i -го агента пошуку. $R_1 \square R_{11}$ – різні цілі показники в діапазоні $[1, N]$. F_1 , F_2 і F_3 – масштабні коефіцієнти зі значеннями 1,0, 0,8 і 1,0 відповідно, $r_{10} \square r_{12}$ – випадкові числа в діапазоні $[0,1]$.

Крім того, параметри C_1 , C_2 і C_3 дорівнюють 0,1, 0,2 і 0,9, що позначає швидкість кросинговеру.

Після створення мутантних позицій-кандидатів V_{i1} , V_{i2} і V_{i3} буде вибрано найкращу позицію V_i з найнижчим значенням придатності для порівняння з придатністю вихідної посади X_i , а потім кращу позицію буде збережено як нову X_i для взяти участь у наступному ітераційному обчисленні. Ці процеси можна описати за допомогою рівняння (54).

$$X_i = \begin{cases} V_i, & \text{якщо } F(V_i) < F(X_i) \\ X_i, & \text{інакше} \end{cases}, \quad (54)$$

де $F(\cdot)$ – функція витрат.

Дія 11. Перевірка наявності хижака агентів комбінованої зграї. На даному етапі агенти перевіряють наявність хижаків. При наявності хижаків перехід до дії 12. При відсутності хижаків перехід до дії 11.

Дія 12. Втеча та боротьба з хижаками агентів комбінованої зграї. Стратегія втечі та боротьби з цими хижаками призводить до зміни позиції агентів комбінованого алгоритму поблизу позиції, на якій вони знаходяться. Симуляція цієї природної поведінки агентів комбінованого алгоритму покращує потужність використання комбінованого алгоритму в локальному пошуку в просторі вирішення проблем навколо потенційних рішень. Оскільки цей процес відбувається поблизу положення кожного агента комбінованої зграї, передбачається, що цей діапазон зміни положення агентів відбувається у відповідній зоні з центром на кожного агента комбінованої зграї з певним радіусом. На початкових ітераціях алгоритму пріоритет надається глобальному пошуку для виявлення оптимальної області в просторі пошуку, радіус цього оточення вважається змінним. Спочатку встановлюється найвище значення, а потім стає меншим під час ітерацій алгоритму. З цієї причини локальні нижні/верхні межі були використані для створення змінного радіуса з повторенням алгоритму. Для моделювання цього явища передбачається околиця навколо кожного агента комбінованої зграї, який спочатку випадково генерує нову позицію в цій околиці за допомогою (55) і (56). Тоді, якщо значення цільової

функції покращується, ця нова позиція замінює попередню позицію відповідно до (57):

$$x_{i,j}^{P_3} = x_{i,j} + \left(lb_{local,j}^t + \left(ub_{local,j}^t - rand \cdot lb_{local,j}^t \right) \right), \quad (55)$$

$$Local \ bounds: \begin{cases} lb_{local,j}^t = \frac{lb_j}{t}, \\ ub_{local,j}^t = \frac{ub_j}{t}, \end{cases} \quad (56)$$

$$X_i = \begin{cases} X_i^{P_3}, F_i^{P_3} \langle F_i; \\ X_i, else, \end{cases} \quad (57)$$

де $X_i^{P_3}$ – нова згенерована позиція i -го агента комбінованої зграї, $x_{i,j}^{P_3}$ – j -й розмір агента комбінованої зграї, $F_i^{P_3}$ – значення цільової функції, t – ітераційний контур, lb_j та ub_j – нижня та верхня межі j -ї змінної. $lb_{local,j}^t$ та $ub_{local,j}^t$ – локальна нижня та локальна верхня межі, допустимими для j -ї змінної, відповідно, для імітації локального пошуку в околицях кандидатських рішень.

Дія 13. Перевірка критерію зупинки. Алгоритм завершується, якщо виконано максимальну кількість ітерацій. В іншому випадку поведінка генерації нових місць і перевірки умов повторюється.

Дія 14. Навчання баз знань агентів комбінованої зграї.

В зазначеному дослідженні для навчання баз знань кожного агента комбінованої зграї використовується розроблений у дослідженні [184] метод навчання на основі штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Метод використовується для зміни характеру пересування кожного агента комбінованої зграї, для більш точних результатів аналізу в подальшому.

Дія 15. Визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів, інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

З метою недопущення зациклювання обчислювань на діях 1–14 даної методики, 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 [213].

Висновки

1. В ході дослідження запропоновано математичну модель інформаційного інформаційної мережі.

Переваги зазначеної моделі обумовлені врахуванням більшої кількості дестабілізуючих факторів, у порівнянні з відомими. Модель враховує у комплексі навмисні завади адитивного та мультиплікативного характеру, дестабілізуючі фактори, що обумовлені наявністю кібератак.

Недоліками запропонованої математичної моделі слід вважати більшу обчислювальну складність у порівнянні з більш простими математичними моделями. Модель інформаційного конфлікту інформаційної мережі може бути використана для розробки нових стратегій управління інформаційними мережами з урахуванням протидії комплексному впливу засобів радіоелектронного придушення та засобів інформаційно-технічного впливу. Також модель може бути використана для обґрунтування нових видів впливів, що реалізують приховане функціональне придушення інформаційної мережі за рахунок створення і розвитку внутрішньосистемних суперечностей між її окремими протоколами.

2. В дослідженні запропонований метод самоорганізації інформаційних мереж спеціального призначення, який завдяки додатковим та удосконаленим процедурам що дозволяє: враховується тип невизначеності та зашумленості даних; реалізувати адаптивні стратегії пошуку джерел харчування; об'єднати окремі ройові стратегії пошуку в єдину стратегію; врахувати присутність хижака при виборі джерел харчування; врахувати наявні обчислювальні ресурси системи при здійсненні самоорганізації інформаційних мереж; здійснити зміну площі пошуку окремими агентами зграї комбінованого алгоритму; змінювати швидкість руху агентів зграї комбінованого алгоритму; врахувати пріоритетність пошуку агентів зграї комбінованого алгоритму; провести

початкове виставлення особин зграї комбінованого алгоритму з урахуванням типу невизначеності; провести точне навчання особин зграї комбінованого алгоритму; провести визначення найкращих особин зграї комбінованого алгоритму за допомогою удосконаленого генетичного алгоритму; провести локальний та глобальний пошук з урахуванням ступеню зашумленості даних в процесі самоорганізації інформаційних мереж; провести навчання баз знань, що здійснюється шляхом навчання синаптичних ваг штучної нейронної мережі, типу та параметрів функції належності, а також архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому; застосовувати як універсальний інструмент вирішення завдання самоорганізації інформаційних мереж за рахунок ієрархічності опису їх процесу самоорганізації; перевірити адекватність отриманих результатів; уникнути проблеми локального екстремуму; провести налаштування процедур локального та глобального пошуку, що дозволяє здійснювати адаптацію даного методу під різні інформаційні мережі.

3. Проведено моделювання роботи зазначеного методу на прикладі самоорганізації інформаційної мережі оперативного угруповання військ (сил). Зазначений приклад показав підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 12–17 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур додавання корегувальних коефіцієнтів щодо невизначеності та зашумленості даних, відбору агентів комбінованої зграї, схрещування різнотипних підходів ройової оптимізації, а також навчання агентів комбінованої зграї