

УДК 623.746.34

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2024.2\(42\).76-87](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2024.2(42).76-87)

В. Г. КОЗЛОВ, кандидат технічних наук
<http://orcid.org/0000-0002-7708-6143>

В. І. СЛЮСАР, доктор технічних наук, професор
<http://orcid.org/0000-0002-2912-3149>
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

КОНЦЕПЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ОСНОВНОЇ СКЛАДОВОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ

Проведено аналіз розвитку засобів радіоелектронної боротьби в передових країнах світу.

Обґрунтовано доцільність впровадження технологій штучного інтелекту в засоби радіоелектронної боротьби та визначено основні завдання відповідних засобів.

Розроблено блок-схему та описано модель автоматичного засобу радіоелектронної боротьби з інтегрованою технологією штучного інтелекту, обґрунтовано спроможності мережецентричного підходу автоматичного засобу радіоелектронної боротьби з інтегрованою технологією штучного інтелекту (крос-платформена координація).

Ключові слова: штучний інтелект, радіоелектронна боротьба, адаптація, радіочастота, радіоелектронні засоби, технологія, мережецентричний підхід, крос-платформена координація, безпілотні літальні апарати, інтелектуальні системи, глибинні нейронні мережі, машинне навчання.

ВСТУП

Застосування нових зразків авіаційних засобів ураження, а саме безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА), крилатих ракет, які оснащені сучасними радіоелектронними засобами (далі – РЕЗ), вказує на необхідність в розробленні нових підходів та методів щодо протидії цим засобам. Впровадження технологій штучного інтелекту (далі – ШІ) в засоби радіоелектронної боротьби (далі – РЕБ) надає нових можливостей щодо виявлення та прийняття рішення щодо протидії ворожим РЕЗ.

Збройні Сили України значною мірою залежать від різноманітних технологій, які повинні впроваджуватися в зразки озброєння та військової техніки (далі – ОВТ). На теперішній час особливу увагу приділяють розвитку та вдосконаленню засобів, систем та комплексів РЕБ. Оптимізація використання ресурсів та ефективна підтримка прийняття рішень залишаються основними проблемами при веденні бойових дій, тому застосування ШІ в складі автоматичних засобів РЕБ можливо розглянути як варіант вирішення цієї проблеми.

Перевагою використання засобів РЕБ на основі технології ШІ є можливість ефективної підтримки прийняття рішень, обробки великих обсягів даних, ситуаційної обізнаності, візуалізації сценарію, що розвивається, та генерування відповідних заходів щодо протидії. Крім того, зразки ОВТ, які оснащені ШІ, мають кращий самоконтроль, саморегуляцію та самоприведення в дію завдяки властивим обчислювальним можливостям щодо прийняття відповідних рішень. Технології ШІ в автоматичних засобах РЕБ відкривають нові можливості щодо сучасних шляхів (методів) виявлення, прогнозування та подавлення ворожих РЕЗ противника.

На теперішній час РЕЗ характеризуються високою технологічністю та досконалістю, за своїми якісними характеристиками вони є завадостійкими, скритними та адаптивними. Застосування сучасних зразків ОВТ вказує на необхідність в розробленні нових методів та підходів щодо радіоелектронної протидії, що є актуальним завданням на теперішній час. Тому метою статті є визначення можливостей автоматичних засобів РЕБ з технологією ШІ.

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Передові країни світу впровадили ряд Стратегій та Планів щодо розвитку ШІ [1–7]. Згідно [1], США розглядають можливість переходу від традиційної електромагнітної війни до операцій в електромагнітному спектрі.

При цьому акцент зосереджений на подальших розробках надійних засобів РЕБ, які можуть відстежувати, ідентифікувати, адаптуватись до оперативного середовища, забезпечуючи при цьому динамічне управління операціями в реальному масштабі часу за допомогою машинно-машинної і людино-машинної взаємодії [1–3]. Передбачається автоматизоване коригування операціями за рахунок зміни умов в сучасному електромагнітному середовищі [1].

Майбутні розробки засобів РЕБ включатимуть цифрову модернізацію з впровадженням технологій ШІ, а також інтеграцію в єдину об'єднану систему управління РЕБ, що забезпечить своєчасне надання якісної інформації для прийняття рішень на різних рівнях [1, 2]. Для потреб сухопутних військ (далі – СВ) США створюються комплекси на основі ШІ з можливістю машинного навчання. Ці комплекси планують використовуватися у сфері розвідки та РЕБ.

В рамках проекту під назвою Project Linchpin, який заснований Program Executive Office for Intelligence, Electronic Warfare and Sensors, дослідницькою лабораторією СВ та Центром інтеграції ШІ, планують створити інфраструктуру на основі ШІ, щоб використовувати цифрові платформи для потреб розвідки, кібербезпеки та РЕБ. Усі три компоненти будуть об'єднані в одну мережу [1]. На технологію ШІ США покладають завдання логістики та забезпечення проведення аналізу великих даних, ідентифікації та класифікації цілей [1].

В свою чергу, Китай створив всі умови та можливості для розвитку ШІ, перевершивши США в багатьох напрямках. КНР впроваджує концепцію інтелектуалізації військової модернізації, яка полягає в прискоренні розвитку

військової розвідки, з метою покращення можливості спільних операцій та універсальних бойових можливостей на основі мережових інформаційних систем [3].

При проведенні військової модернізації КНР враховує нові концептуальні підходи щодо ведення бойових дій, які орієнтовані на системному протистоянні, коли бойові дії зосереджені не на знищенні ворожих сил на полі бою, а на порушенні або знищенні операційних спроможностей систем противника. В КНР ШІ розглядається, як критично важлива стратегічна технологія, що вплине на ефективність військового планування оперативного командування та прийняття рішень в рамках «інтелектуалізації» ведення бойових дій [3].

Створення перешкод в електромагнітному спектрі, на думку аналітиків КНР, є ключовою складовою стратегії системного протистояння. Ще у 2020 році державні науково-дослідні інститути КНР уклали контракти на розроблення засобів подавлення, які працюють в різних діапазонах частот з можливістю розміщення їх на БпЛА з метою використання в повітряному просторі противника [3].

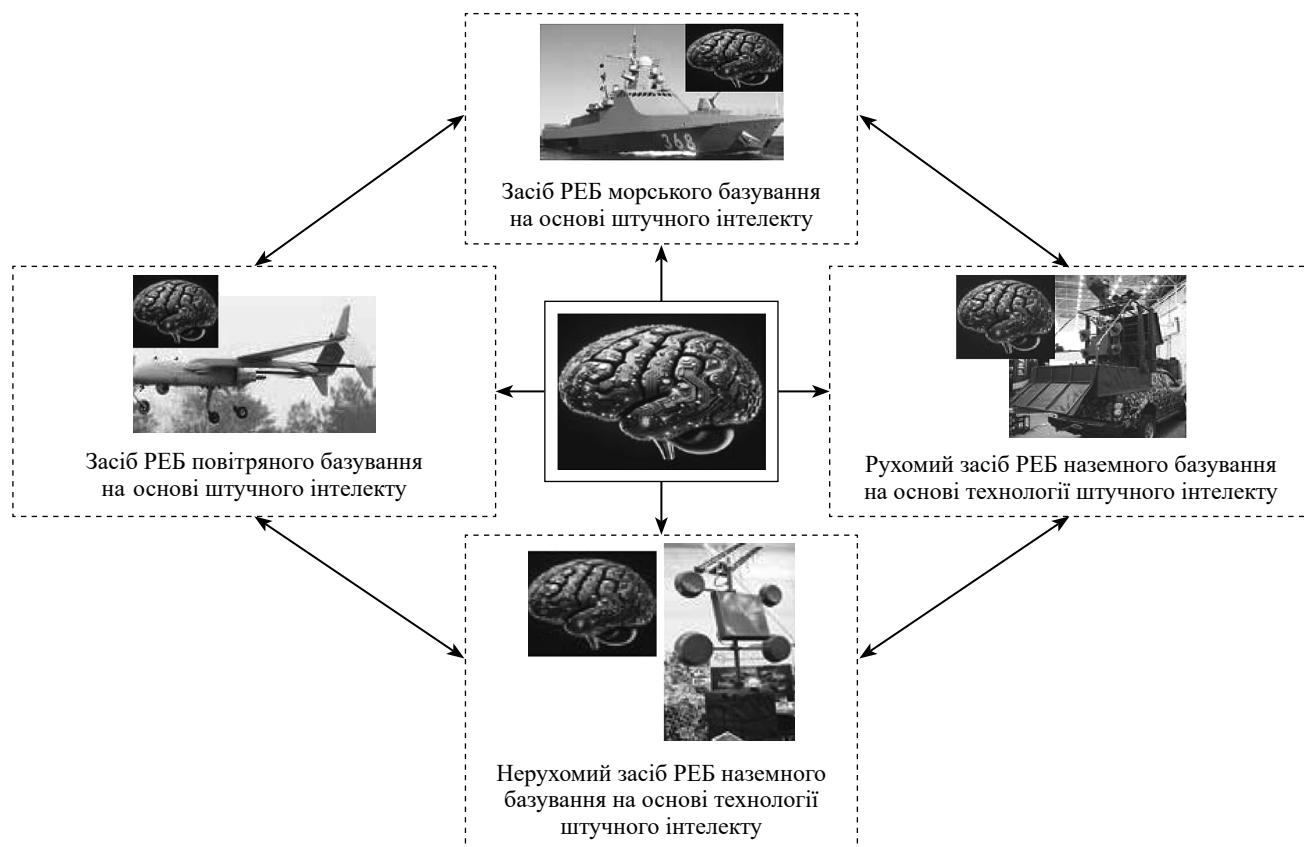
Російська Федерація теж активно впроваджує в озброєння та військову техніку з елементами ШІ, зокрема в роботизовані комплекси, безпілотні літальні апарати й автоматизовані системи управління, а також проводить відповідні роботи та дослідження за даним напрямом [4–7]. Відповідно до інформації з відкритих джерел, рф розробила новий комплекс РЕБ РБ-109 «Біліна» з елементами ШІ, яка має за мету підвищити ефективність застосування засобів РЕБ РФ на 30–40 % [4].

Автоматизована система управління РЕБ «Біліна» [5, 6] об'єднує в одну мережу і координує роботу в реальному масштабі часу засоби РЕБ «Леєр-2», «Леєр-3», «Р-330 “Житель”», «Тирада-2», «Лорандит», «Діабазол», «Палантин» та ін. АСУ РЕБ «Біліна» має можливість виявлення та проведення аналізу спектрів радіосигналів за рахунок використання сформованої бібліотеки радіоспектрів. Це спрощує придушення ворожих РЕЗ противника шляхом вибору найкращих засобів РЕБ з відповідними спеціальними сигналами [6].

Як одну з головних переваг «Біліни» відзначають її здатність в реальному часі прогнозувати радіоелектронну обстановку в заданому районі (секторі) її дії, та створювати ефективні перешкоди, планувати найбільш ефективну відповідь для придушення засобів розвідки та зв'язку противника. За результатом проведеного аналізу публікацій [1–7] необхідно відмітити, що основним напрямом розвитку засобів РЕБ з технологією ШІ є поєднання всіх складових частин, як повітряної, так наземної та інших компонент в єдиний комплекс, який керується спільною мережею (мережецентричний підхід, рис. 1).

З метою створення єдиної мережі на основі ШІ існує необхідність в розробленні нових методів та підходів щодо функціонування зазначених засобів, що мали б певну низку специфічних властивостей. Зокрема, кожен засіб РЕБ зі складу мережі має бути оснащений власною системою управління, що надає змогу самостійно ухвалювати рішення на основі одержуваної інформації.

Засоби РЕБ зі складу мережі необхідно розгорнути на значних кутових відстанях один від одного, що надає



Р и с . 1. Мережецентричний підхід для створення автоматичного комплексу РЕБ з інтегрованою технологією ШІ (крос-платформена координація)

зможу створити широку зону покриття перешкодами в умовах просторового рознесення. Система РЕБ на основі технології ШІ повинна контролювати в єдиному пункті управління роботу всіх засобів РЕБ, які входять до складу мережі, оптимізуючи розподіл ресурсів між засобами залежно від зміни тактичної обстановки;

Наявність ШІ в системі РЕБ дозволяє адаптуватися до змін у радіоелектронній обстановці, автоматично налаштовувати відповідні параметри засобів РЕБ в єдиній мережі для максимального впливу на РЕЗ противника. Адаптація до змін навколишнього середовища відбувається за рахунок наявних механізмів зворотного поширення помилок та навчання з метою вдосконалення стратегії протидії в реальному часі [8]:

$$\begin{aligned} W_{\text{онов}} &= W_{\text{поточ}} - \alpha \frac{\partial L}{\partial W}; \\ b_{\text{онов}} &= b_{\text{поточ}} - \alpha \frac{\partial L}{\partial b}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $W_{\text{онов}}, b_{\text{онов}}$ – оновлені ваги та зсуви в моделі; $W_{\text{поточ}}, b_{\text{поточ}}$ – поточні ваги та зсуви; α – швидкість навчання; L – функція втрат; $\frac{\partial L}{\partial W}, \frac{\partial L}{\partial b}$ – градієнти функції втрат L відносно ваг та зсувів відповідно.

Тобто, автоматичний засіб РЕБ з технологією ШІ може аналізувати результати своєї роботи та автоматично адаптуватись з метою покращення протидії. Навчання в реальному часі дозволяє швидко реагувати на динамічні зміни у радіочастотному середовищі та ефективно протистояти загрозам РЕЗ противника.

З точки зору масштабності, кількість засобів РЕБ в мережі та інтенсивність перешкод повинні змінюватись в залежності від завдань, а також у разі втрати одного або декількох засобів РЕБ. Можливість переналаштування мережі збільшує загальну живучість системи та робить

її стійкою до зовнішніх впливів. Розглянемо розроблену блок-схему засобу РЕБ з технологією ШІ та призначення її складових частин (рис. 2).

Як відомо, ведення радіоелектронної розвідки спрямовано на перехоплення, ідентифікацію та проведення аналізу сигналів від РЕЗ противника з метою розпізнавання та прийняття рішення щодо ефективного радіоелектронного подавлення [10].

Система радіоелектронної розвідки на основі ШІ аналізує та класифікує (ідентифікує) сигнали РЕЗ противника за наступними ознаками (параметрами): шириною отриманих імпульсів, частотою повторення імпульсів, типом і швидкістю сканування простору та спектру, амплітудою сигналів, потужністю, часом прибуття, напрямком надходження сигналу, за поляризацією та ін. До складу системи радіоелектронної розвідки входять наступні компоненти: антенна система, приймачі, процесори первинної обробки сигналів, комп'ютерна складова з бібліотекою бази сигналів РЕЗ противника [11].

На основі визначення основних параметрів сигналів РЕЗ противника та їх прогнозованих змін приймається рішення щодо радіоелектронного подавлення шляхом постановки [12]:

- шумової перешкоди (білий шум високої потужності на частотах роботи РЕЗ противника);
- гармонійної (полігармонійної) перешкоди (одночастотне або модульоване гармонійне колювання на частотах корисного сигналу, наприклад N-OFDM (Non-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) сигналів, тощо) [13, 14];
- прицільної імітуючої перешкоди, яка імітує структуру сигналів РЕЗ противника із частотною і часовою узгодженістю;
- слідууючої імітуючої перешкоди, що імітує структуру сигналів РЕЗ противника, але зі змінною початковою фазою маніпулюючої функції, закон зміни

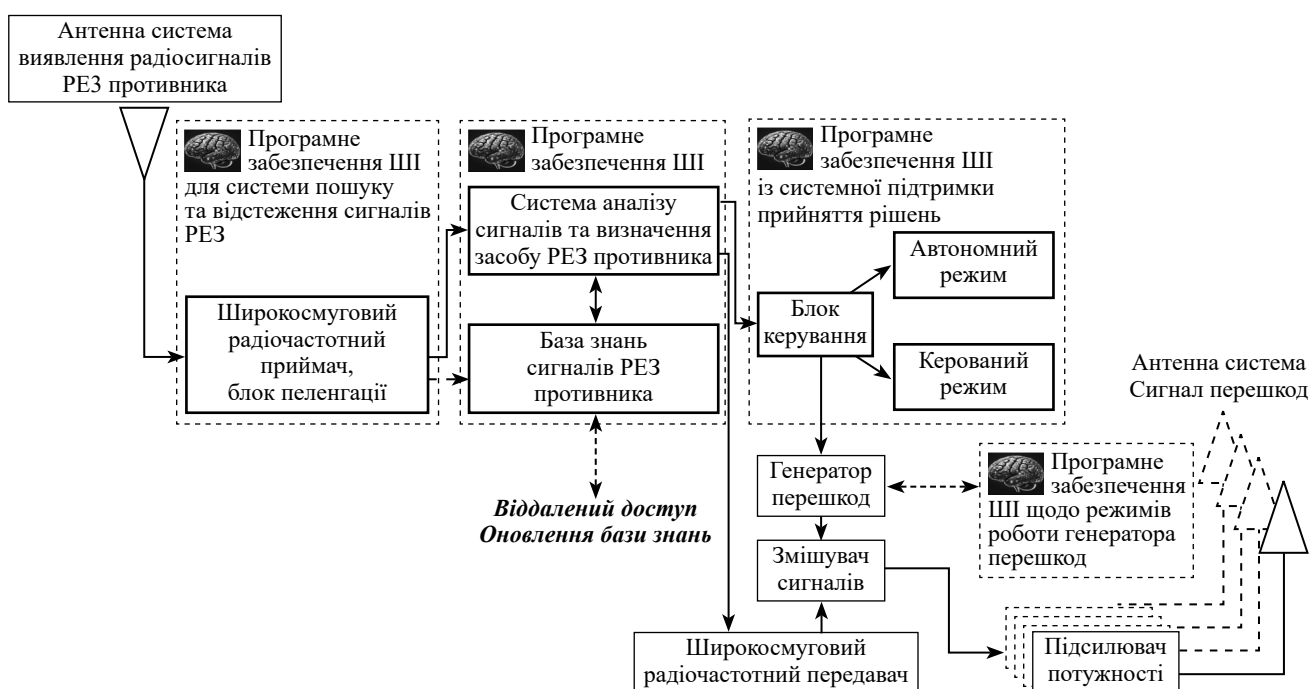


Рис. 2. Блок-схема засобу РЕБ з технологією ШІ

єдиного інформаційного простору, що має широкі комунікативні функції та надає змогу поєднати переваги штучного інтелекту у розв'язанні як «простих», так і «складних» завдань з аналізу тактичної, оперативної, стратегічної обстановки, супроводження, цілерозподілу між засобами РЕБ, глибокого маневру в електромагнітному домені за спектром, у часі та просторі.

Впровадження ІІІ в автоматичні засоби РЕБ надасть технічній системі спроможність імітувати когнітивні функції людини, що забезпечить збільшення бойової ефективності підрозділів РЕБ. Однією з особливостей автоматичних засобів РЕБ з технологією ІІІ, побудованих на основі нейромереж, є здатність до самонавчання на основі отриманих раніше результатів (навчатись шляхом адаптації, оптимізації) [16, 17].

Оптимізація параметрів засобу РЕБ з технологією ІІІ включає налаштування тензорів ваги W та зсувів b у мережі для мінімізації функції втрат L на навчальному наборі даних [8–12]:

$$\min_{W,b} L(Y_{icm}, f(W * X + b)). \quad (2)$$

Відповідно виразу (2) задача оптимізації полягає в знаходженні таких параметрів моделі – ваги W та зсуву b , які мінімізують втрату функції L , оцінюючи розбіжність між істинними вихідними даними Y_{true} та прогнозованими даними $f(W * X + b)$,

де $\min_{W,b}$ – позначає оптимізаційний процес з мінімізацією відносно W та b ;

$L(Y_{icm}, f(W * X + b))$ – функція втрат, яка вимірює відмінності між прогнозованими значеннями та істинними мітками в навчальному наборі даних;

Y_{icm} – істинні мітки;

$f(W * X + b)$ – прогноуюча нейромережна модель штучного інтелекту, що базується на вхідних даних X , вагах W та зсувах b .

Для вирішення оптимізаційної задачі використовуються ітеративні методи [17, 18], як приклад градієнтний спуск, де параметри моделі поступово коригуються в напрямку зменшення функції втрат. В автоматичних засобах РЕБ такі оптимізаційні методи дозволяють системі адаптуватись та оптимально реагувати на різноманітні сигнали в радіочастотному спектрі, покращувати здатність до ефективного виявлення, класифікації та подавлення сигналів РЕЗ противника.

Здатність інтегрувати окремі дані для визначення закономірностей та пролонгації результатів дозволяє після навчання на одних даних застосовувати отримані знання для інших даних згідно з концепцією Transfer Learning [19].

На рис. 4 представлена для розгляду пропонується структура автоматичного засобу радіоелектронної боротьби з інтегрованою технологією ІІІ. В ній запропоновано використання мультиагентних моделей дій на основі великих мовних моделей (далі – LLM) для керування роботизованими засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ). Основні завдання мультиагентних моделей на основі LLM полягають в наступному [20]:

– проведенні аналізу радіочастотних сигналів РЕЗ противника;

- координації дій агентів між собою для оптимального придушення;
- адаптації стратегії придушення на основі змін у радіоелектронній обстановці;
- застосуванні контрзаходів, таких як адаптивне фільтрування та зміна частоти;
- підтриманні резервних каналів зв'язку та швидкому переході на них;
- генерації повідомлень та рекомендацій для оперативного персоналу.

Роботизовані засоби РЕБ з технологією ІІІ на основі мультиагентних моделей мають можливість ведення обміну інформацією та координації з наземними, повітряними та морськими силами для проведення комплексних дій, операцій. Також особливістю даних мультиагентних моделей є проведення навчальних операцій з симуляцією бойових дій та генерацією реалістичних сценаріїв роботи РЕЗ противника, надання оцінки за результатом проведених навчань у формі звітів та рекомендацій. Такі LLM можуть виступати в якості асистентів командирів та операторів засобів РЕБ.

В моделі пропонується використовувати метод машинного навчання, що вивчає патерни вхідних сигналів без попередньо маркованих даних. Підкріплення допомагає системі покращувати свої результати на основі зворотного зв'язку про її роботу. Передбачено, що система автоматично оновлює свою базу даних за результатами отримання нових сигналів, які присутні в навколишньому середовищі, це забезпечує актуальність та ефективність алгоритмів виявлення та класифікації.

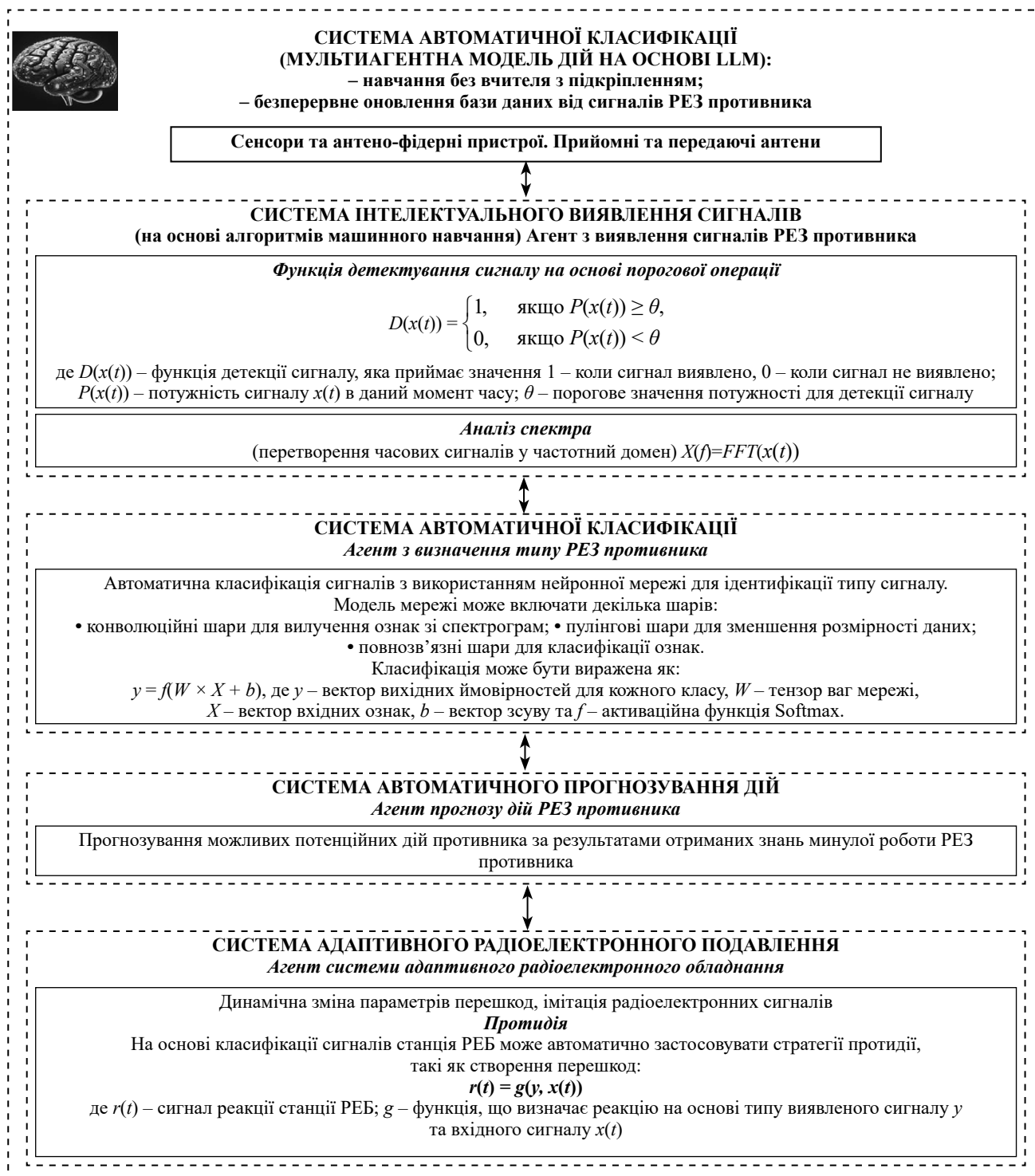
Система використовує результати аналізу попередніх сигналів для прогнозування майбутніх дій противника, що допомагає у швидкому реагуванні та прийнятті рішень. В моделі передбачено можливість в даній системі автоматично змінювати параметри перешкод на основі результатів класифікації сигналів, також запропоновано використовувати різні стратегії для ефективного подавлення різних типів сигналів.

Протидія є ключовим компонентом систем РЕБ, що забезпечує ефективне реагування на виявлені загрози шляхом генерації перешкод або інших активних дій. В основі цього процесу лежить функція «реакції», що визначає тип і параметри сигналу протидії на основі класифікованого сигналу РЕЗ противника. Це робить систему РЕБ більш ефективною та гнучкою у складних і швидкозмінних умовах.

Впровадження технологій ІІІ надасть можливість створити перспективні комплекси РЕБ принципово нової архітектури.

ВИСНОВКИ

Автоматичний засіб РЕБ на основі технології штучного інтелекту має можливість мультидоменної інтеграції з іншими системами РЕБ для обміну даними та координації дій в реальному масштабі часу. Крім того, ІІІ може забезпечити інтеграцію системи РЕБ з іншими зразками (системами) ОВТ, такими, як системи командування та управління, розвідувальні системи тощо. Це дозволить підвищити інформативність щодо комплексної оперативної обстановки та координувати дії для досягнення максимального ефекту.



Р и с . 4. Структура автоматичного засобу радіоелектронної боротьби з інтегрованою технологією штучного інтелекту у вигляді мультиагентної моделі дій на основі LLM

Єдиний інтелектуально-інформаційний простір РЕБ надасть змогу поєднати переваги штучного інтелекту у розв'язанні як «простих», так і «складних» завдань аналізу тактичної, оперативної, стратегічної обстановки, супроводження, цілерозподілу між засобами РЕБ. Впровадження технологій ШІ забезпечить підвищення бойових спроможностей автоматичних засобів РЕБ, а також накопичення практичного досвіду застосування технології ШІ при виконанні бойових завдань з РЕБ.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Department of Defense Electromagnetic Spectrum Superiority Strategy. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1113597>.
2. Science & Technology Trends 2023–2043 Across the Physical, Biological and Information Domains. NATO Science & Technology Organization. Vol. 1: Overview. 2023. 142 p.
3. Струкова П.Э. Искусственный интеллект в Китае: современное состояние отрасли и тенденции разви-

- тия. Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. 2022. Т. 12. Вып. 4 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-kitae-sovremennoe-sostoyanie-otrasli-i-tendentsii-razvitiya?ysclid=lv0yqt9npj575009126>.
4. «Былина» сможет атаковать противника без участия оператора. 18 апреля 2020. Известия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hi-tech.mail.ru/news/48710-bylina-smozhet-atakovat/?ysclid=lv0zlj32hz785731055>.
 5. Системы РБ-109А «Былина» готовятся к развёртыванию в зоне СВО. 30.10.2023. Русское оружие. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2023/10/30/sistemy-rb-109a-bylina-gotoviatsia-k-razvertyvaniu-v-zone-svo.html?ysclid=lv0zkgjcc9845493537>.
 6. Россия внедряет передовую систему управления РЭБ РБ-109А «Былина». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://avia.pro/news/rossiya-vnedryaet-peredovuyu-sistemu-upravleniya-reb-rb-109a-bylina?ysclid=lv0zxssp9c480496250>.
 7. ГОСТ Р 59276-2020. Национальный стандарт российской федерации. Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения. Artificial intelligence systems. Methods for ensuring trust. General. [Дата введ. 2021-03-01]. М.: Стандартинформ. 2021. 10 с.
 8. Шевченко А.І., Барановський С.В., Білокобильський О.В. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні: монографія; за заг. ред. А.І. Шевченка. Інст. проблем штучного інтелекту М-ва освіти і науки України і Нац. акад. наук України. Київ. 2023. 305 с.
 9. Слюсар В.І. Штучний інтелект як основа перспективних мереж управління. Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки: зб. матер. VII міжнар. наук.-практ. конф. Київ. 2019. С. 89–90. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30247.50087>.
 10. Purabi Sharma, Kandarpa Kumar & Nikos Mastorakis. Artificial Intelligence Aided Electronic Warfare Systems – Recent Trends and Evolving Applications. Available at: https://www.researchgate.net/publication/347631413_Artificial_Intelligence_Aided_Electronic_Warfare_Systems-Recent_Trends_and_Evolving_Applications.
 11. Никольский Б.А. Основы теории систем и комплексов радиоэлектронной борьбы: учебное пособие. Самара. 2012. 174 с.
 12. Макаренко С.И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Ч. 3. Радиоэлектронное подавление систем навигации и радиосвязи. Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 2. С. 101–175. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2020-10205>.
 13. Слюсар В.И. Неортогональное частотное мультиплексирование (N-OFDM) сигналов. Ч. 1. Технологии и средства связи. 2013. № 5. С. 61–65.
 14. Слюсар В.И. Неортогональное частотное мультиплексирование (N-OFDM) сигналов. Ч. 2. Технологии и средства связи. 2013. № 6. С. 60–65.
 15. Сидорин А.Н. Безродный А.Н. Перспективы применения технологий искусственного интеллекта в радиоэлектронной борьбе. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-tehnologiy-iskusstvennogo-intellekta-v-radioelektronnoy-borbe?ysclid=lv0z4qw8jm847378375>.
 16. Иванченко Г.Ф. Системы штучного інтелекту: навч. посіб. Київ: КНЕУ. 2011. 382 с.
 17. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. Стереотип. М.: Горячая линия – Телеком. 2002. 382 с.
 18. Терейковский І.А., Бушуєв Д.А., Терейковська Л.О. Штучні нейронні мережі: базові положення: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022. 123 с.
 19. Transfer Learning: как быстро обучить нейросеть на своих данных. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/binarydistrict/articles/428255/>.
 20. Slyusar, V., Kondratenko, Y., Shevchenko, A. & Yeroshenk, T. Some Aspects of Artificial Intelligence Development Strategy for Mobile Technologies. Available at: https://www.researchgate.net/publication/380376179_Some_Aspects_of_Artificial_Intelligence_Development_Strategy_for_Mobile_Technologies.

REFERENCES

- Artificial Intelligence Systems. Methods for Ensuring Trust. General Provisions]. Effective Date: March 1. 2021. M.: Standartinform. 10 p.
8. Shevchenko, A.I., Baranovsky, S.V. & Bilokobylskyi, O.V. (2023) "Strategiia rozvytku shturnogo intelektu v Ukraini" [Strategy for the Development of Artificial Intelligence in Ukraine]. Monograph. Ed. by A.I. Shevchenko. Inst. of Artificial Intelligence Problems of the Ministry of Education and Science of Ukraine and Nat. Acad. of Sciences of Ukraine. K. 305 p.
 9. Slyusar, V.I. (2019). "Shtuchnyi intelekt yak osnova perspektyvnykh mrezh upravlinnia" [Artificial Intelligence as the Basis for Advanced Management Networks], coll. of mater. of VII Intern. Scientific and Practical Conf. «Problems of Coordination of Military-Technical and Defense-Industrial Policy in Ukraine. Prospects for the Development of Weapons and Military Equipment». K. Pp. 89–90. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30247.50087>.
 10. Purabi Sharma, Kandarpa Kumar & Nikos Mastorakis. Artificial Intelligence Aided Electronic Warfare Systems – Recent Trends and Evolving Applications. Available at: https://www.researchgate.net/publication/347631413_Artificial_Intelligence_Aided_Electronic_Warfare_Systems-Recent_Trends_and_Evolving_Applications.
 11. Nikolsky, B.A. (2012). "Osnovy teorii system i kompleksov radioelektronnoi borby: uchebnoe posobie" [Fundamentals of the Theory of Systems and Complexes in Electronic Warfare: Textbook]. Samara. 174 p.
 12. Makarenko, S.I. (2020). "Analiz sredstv i sposobov protivodeistviia bespilotnym letatelnykh apparatam. Ch. 3. Radioelektronnoe podavlenie system navigatsii i radiosv'язi" [Analysis of means and methods of counteraction to unmanned aerial vehicles. P. 3. Electronic Warfare against Navigation and Radio Connection Subsystems of Unmanned Aerial Vehicles], Systems of Control, Communication and Security. № 2. Pp. 101–175 (in russian). <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2020-10205>.
 13. Slyusar, V.I. (2013). "Neortogonalnoe chastotnoe multipleksirovanie (N-OFDM) signalov. Ch. 1. Technologii i sredstva sv'язi" [Non-Orthogonal Frequency Division Multiplexing (N-OFDM) Signals. P. 1. Technologies and Communication Means]. № 5. Pp. 61–65.
 14. Slyusar, V.I. (2013). "Neortogonalnoe chastotnoe multipleksirovanie (N-OFDM) signalov. Ch. 2. Technologii i sredstva sv'язi" [Non-Orthogonal Frequency Division Multiplexing (N-OFDM) Signals. P. 2. Technologies and Communication Means]. № 6. Pp. 60–65.
 15. Sidorin, A.N. & Bezrodny, A.N. "Perspektivy primeneniia tekhnologii iskusstvennogo intelekta v radioelektronnoi borbe" [Prospects for the Application of Artificial Intelligence Technologies in Electronic Warfare]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-tehnologiy-iskusstvennogo-intellekta-v-radioelektronnoy-borbe?ysclid=lv0z4qw8jm847378375>.
 16. Ivanchenko, G.F. (2011). "Sistemy shturnogo intelektu: navch. posibn." [Artificial Intelligence Systems: Textbook]. K.: KNEU. 382 p.
 17. Kruglov, V.V. & Borisov, V.V. (2002). "Iskusstvennye neironnye seti. Teoriia i praktika. Stereotip" [Artificial Neural Networks: Theory and Practice. Stereotype]. M.: Hot Line – Telecom. 382 p.
 18. Tereikovskiy, I.A., Bushuyev, D.A. & Tereikovska, L.O. (2022). "Shtuchni neironni mrezhzi: bazovi polozhennia: navch. posib." [Artificial Neural Networks: Basic Principles: Textbook]. K.: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Inst. 123 p.
 19. "Transfer Learning: kak bystro obuchit neiroset na svoikh danykh". [Transfer Learning: how to quickly train a neural network using your own data]. Available at: <https://habr.com/ru/companies/binarydistrict/articles/428255/>.
 20. Slyusar, V., Kondratenko, Y., Shevchenko, A. & Yeroshenk, T. Some Aspects of Artificial Intelligence Development Strategy for Mobile Technologies. Available at: https://www.researchgate.net/publication/380376179_Some_Aspects_of_Artificial_Intelligence_Development_Strategy_for_Mobile_Technologies.

Kozlov V.G., Slyusar V.I.

THE CONCEPT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES AS A KEY COMPONENT OF ELECTRONIC WARFARE

An analysis of the development of electronic warfare means in the advanced countries of the world is carried out. The expediency of introducing artificial intelligence technologies into electronic warfare means is substantiated and the main tasks and capabilities of the relevant means are determined.

A flowchart is developed and the structure of an automatic electronic warfare system with integrated artificial intelligence technology using multi-agent action models based on large language models (hereinafter referred to as LLM) to control robotic electronic warfare systems is described. The main tasks of multi-agent action models based on LLM in the context of electronic warfare are considered.

The capabilities of the network-centered approach of an automatic electronic warfare vehicle with integrated artificial intelligence technology (cross-platform coordination) are substantiated. The main provisions of the general concept with other combat control systems regarding the possibility of multi-domain integration with other electronic warfare systems are considered.

Keywords: artificial intelligence, electronic warfare, adaptation, radio frequency, electronic tools, technology, network-centric approach, cross-platform coordination, unmanned aerial vehicles, intelligent systems, deep neural networks, machine learning, large language model LLM, multi-domain integration.

Відомості про авторів:**Козлов Вадим Геннадійович**

докторант науково-організаційного відділу
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<http://orcid.org/0000-0002-7708-6143>
e-mail: kozlovvadim@ukr.net

Слюсар Вадим Іванович

доктор технічних наук, професор
головний науковий співробітник – начальник групи
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<http://orcid.org/0000-0002-2912-3149>

Information about the authors:**Vadym Kozlov**

Candidate of Technical Sciences
Doctoral Student of Scientific and Organizational Department
of Central Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-7708-6143>
e-mail: kozlovvadim@ukr.net

Vadym Slyusar

Doctor of Technical Sciences, Professor
Chief Researcher – Researcher Head Group of Central
Scientific Research Institute of Armament and Military
Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-2912-3149>

Стаття надійшла до редколегії 15.05.2024.