

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Штучний інтелект в програмному забезпеченні для
роботизованих і безпілотних систем»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело*

	Станіслав ДУБЕНЕЦЬ
<i>(підпис)</i>	<i>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача</i>

Виконав:	здобувач вищої освіти гр. ІСД-43 Станіслав ДУБЕНЕЦЬ
	<i>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ</i>

Керівник:	Ірина Срібна д. т. н.
<i>науковий ступінь, вчене звання</i>	
	<i>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ</i>

Рецензент:	
<i>науковий ступінь, вчене звання</i>	
	<i>Ім'я, ПРІЗВИЩЕ</i>

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інженерії програмного забезпечення

автоматизованих систем

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру ІСТ

_____ Каміла СТОРЧАК

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дубенецю Станіславу Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

- Тема кваліфікаційної роботи: Штучний інтелект в програмному забезпеченні для роботизованих і безпілотних систем

керівник кваліфікаційної роботи Ірина СРІБНА д. т. н.

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій
від «24» лютого 2025 р. №56

- Строк подання кваліфікаційної роботи «30» травня 2024р.

- Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

Актуальні аналітичні звіти (NATO, RAND, SIPRI) про розвиток ШІ у військовій сфері

Нормативні документи та стандарти в сфері безпілотних систем і ШІ

Інформація про подібні реалізовані системи або прототипи

- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- Сучасні підходи до застосування штучного інтелекту у військових роботизованих та безпілотних системах

- Типи військових автономних платформ існують та які функції вони виконують (UGV, БПЛА,

морські системи)

3. Програмно-алгоритмічні рішення на базі ІІІ використовуються для автономного функціонування таких систем
 4. Виклики, загрози та етичні обмеження виникають при впровадженні ІІІ у військовій сфері
 5. Перспективи розвитку військових систем зі штучним інтелектом у найближчому майбутньому
5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
6. Дата видачі завдання «24» лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури, формування теми, постановка мети, завдань, об'єкта і предмета	24.02.25 – 04.03.25	
2	Аналіз сучасного стану ІІІ у військових технологіях	05.03.25 – 14.03.25	
3	Класифікація та опис військових автономних систем (UGV, БПЛА, морські системи)	15.03.25 – 24.03.25	
4	Дослідження архітектури та алгоритмів функціонування ІІІ в таких системах	25.03.25 – 06.04.25	
5	Аналіз етичних, правових питань та потенційних загроз застосування ІІІ	07.04.25 – 17.04.25	
6	Визначення перспектив, трендів і майбутніх напрямів розвитку військового ІІІ	18.04.25 – 27.04.25	
7	Узагальнення матеріалу, написання висновків, оформлення списку джерел, додатків	28.04.25 – 12.05.25	
8	Розробка демонстраційних матеріалів (презентація)	13.05.25 – 03.06.25	

Здобувач(ка) вищої освіти _____

(підпис)

Станіслав ДУБЕНЕЦЬ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник
кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Ірина СРІБНА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 89 с., 3 розділи, 9 підрозділів, 20 джерела.

Об'єкт дослідження: військові роботизовані та безпілотні системи, що використовують технології штучного інтелекту.

Предмет дослідження: програмне забезпечення на базі алгоритмів штучного інтелекту, що забезпечує функціонування роботизованих і безпілотних систем військового призначення.

Мета роботи: комплексне дослідження технологій штучного інтелекту, що використовуються в програмному забезпеченні роботизованих і безпілотних систем військового призначення, аналіз їхніх можливостей, обмежень, правових та етичних аспектів, а також перспектив розвитку.

У роботі проведено системний аналіз впливу штучного інтелекту на сучасну військову справу та визначено ключові напрямки його застосування. Досліджено технологічні основи штучного інтелекту, що становлять фундамент для розвитку автономних військових систем, включаючи методи машинного навчання, комп'ютерного зору та мультисенсорної інтеграції. Розглянуто практичні приклади використання ШІ у військових операціях та оцінено їх ефективність.

Проаналізовано принципи роботи та можливості наземних роботизованих систем (UGV), оснащених технологіями штучного інтелекту, включаючи системи автономної навігації, комп'ютерного зору та прийняття рішень. Досліджено сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА) з точки зору автономності та бойових можливостей, а також виявлення та класифікації цілей. Розглянуто розвиток морських автономних платформ (USV, UUV) та їх застосування для розвідки та бойових дій.

Визначено потенційні загрози та виклики, пов'язані з впровадженням ШІ у військовій сфері, включаючи технічні обмеження, вразливості до адверсаріальних атак та проблеми кібербезпеки. Проаналізовано етичні та правові питання, що виникають у зв'язку з розвитком автономних бойових систем, зокрема щодо відповідальності, гуманності та міжнародного гуманітарного права. Окреслено

тренди та перспективи розвитку військового ШІ на найближчі роки, включаючи нейроморфні обчислення, квантові технології та біоінспіровані підходи.

Результати дослідження можуть бути використані при розробці національних стратегій розвитку військових технологій, формуванні нормативно-правових рамок застосування автономних систем та підготовці фахівців у галузі роботизованих та безпілотних комплексів.

Ключові слова: ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, РОБОТИЗОВАНІ СИСТЕМИ, БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, АВТОНОМНІ МОРСЬКІ ПЛАТФОРМИ, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, АВТОНОМНІСТЬ, ВІЙСЬКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕТИЧНІ АСПЕКТИ, ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ – автоматизовані системи управління

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ВПО – військово-політична обстановка

ЗС – збройні сили

МГП – міжнародне гуманітарне право

РЕБ – радіоелектронна боротьба

ІІІ – штучний інтелект

AIS (Automatic Identification System) – автоматична ідентифікаційна система

ATR (Automatic Target Recognition) – автоматичне розпізнавання цілей

CNN (Convolutional Neural Network) – згорткова нейронна мережа

DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) – Агентство передових оборонних дослідницьких проєктів США

DL (Deep Learning) – глибинне навчання

DQN (Deep Q-Network) – глибинна Q-мережа

FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum) – технологія частотних стрибків

GPS (Global Positioning System) – глобальна система позиціонування

GNSS (Global Navigation Satellite System) – глобальна навігаційна супутникова система

HALE (High Altitude Long Endurance) – висотний БПЛА з великою тривалістю польоту

INS (Inertial Navigation System) – інерціальна навігаційна система

JADC2 (Joint All-Domain Command and Control) – об'єднане міждоменне командування та контроль

LAWS (Lethal Autonomous Weapon Systems) – смертоносні автономні системи озброєння

MALE (Medium Altitude Long Endurance) – середньовисотний БПЛА з великою тривалістю польоту

MCM (Mine Countermeasures) – протимінні заходи

ML (Machine Learning) – машинне навчання

NAS (Neural Architecture Search) – пошук архітектури нейронних мереж

NLP (Natural Language Processing) – обробка природної мови

OODA (Observe-Orient-Decide-Act) – цикл "спостереження-орієнтація-рішення-дія"

PPO (Proximal Policy Optimization) – проксимальна оптимізація політики

RNN (Recurrent Neural Network) – рекурентна нейронна мережа

SAR (Synthetic Aperture Radar) – радар із синтезованою апертурою

SIGINT (Signals Intelligence) – радіотехнічна розвідка

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) – одночасна локалізація та картографування

UGV (Unmanned Ground Vehicle) – безекіпажний наземний транспортний засіб

USV (Unmanned Surface Vessel) – безекіпажне надводне судно

UUV (Unmanned Underwater Vehicle) – безпілотний підводний апарат

XAI (Explainable AI) – пояснюваний штучний інтелект

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ВІЙСЬКОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ.....	12
1.1 Вплив штучного інтелекту на військову справу: огляд ключових аспектів.....	12
1.2 Технологічні основи штучного інтелекту: машинне навчання, комп'ютерний зір та автономні системи	16
1.3 Приклади використання ШІ у військових операціях	22
РОЗДІЛ 2 ВІЙСЬКОВІ РОБОТИ ТА ДРОНИ З ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ ...	35
2.1 Наземні роботизовані системи (UGV)	35
2.2 Безпілотні літальні апарати (БПЛА)	43
2.3 Морські автономні платформи (USV, UUV).....	59
РОЗДІЛ 3 ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВІЙСЬКОВОМУ ЗАСТОСУВАННІ	64
3.1 Потенційні загрози та виклики застосування ШІ у військовій сфері.....	64
3.2 Етичні та правові питання автономних бойових систем	67
3.3 Тренди та майбутні розробки військового ШІ.....	72
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	86

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку військових технологій характеризуються стрімкою інтеграцією штучного інтелекту у системи озброєння, зокрема в роботизовані та безпілотні комплекси. Ця трансформація, яку часто називають революцією у військовій справі, фундаментально змінює характер бойових дій та стратегічного протистояння у XXI столітті. Автономні та напіваавтономні системи поступово переходять від експериментальних розробок до практичного впровадження у військових операціях, демонструючи значні переваги у точності, ефективності та мінімізації ризиків для особового складу.

Актуальність дослідження штучного інтелекту в програмному забезпеченні для роботизованих і безпілотних систем зумовлена кількома факторами. По-перше, спостерігається експоненційне зростання інвестицій провідних держав світу у розвиток військових технологій на базі ШІ, що вказує на їх стратегічну важливість. По-друге, досвід сучасних збройних конфліктів, зокрема російсько-української війни, демонструє зростаючу роль безпілотних систем та автоматизованих комплексів у визначенні успіху бойових дій. По-третє, швидка еволюція алгоритмів штучного інтелекту, особливо в галузі глибинного навчання, комп'ютерного зору та автономного прийняття рішень, відкриває принципово нові можливості для військових застосувань, які потребують комплексного аналізу.

Метою даної дипломної роботи є комплексне дослідження технологій штучного інтелекту, що використовуються в програмному забезпеченні роботизованих і безпілотних систем військового призначення, аналіз їхніх можливостей, обмежень, правових та етичних аспектів, а також перспектив розвитку.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання:

1. Проаналізувати вплив штучного інтелекту на сучасну військову справу та визначити ключові напрямки його застосування.
2. Дослідити технологічні основи штучного інтелекту, що становлять фундамент для розвитку автономних військових систем.

3. Розглянути практичні приклади використання ІІІ у військових операціях та оцінити їх ефективність.

4. Вивчити принципи роботи та можливості наземних роботизованих систем (UGV), оснащених технологіями штучного інтелекту.

5. Дослідити сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА) з точки зору автономності та бойових можливостей.

6. Проаналізувати розвиток морських автономних платформ (USV, UUV) та їх застосування для розвідки та бойових дій.

7. Визначити потенційні загрози та виклики, пов'язані з впровадженням ІІІ у військовій сфері.

8. Розглянути етичні та правові питання, що виникають у зв'язку з розвитком автономних бойових систем.

9. Окреслити тренди та перспективи розвитку військового ІІІ на найближчі роки.

Об'єктом дослідження є військові роботизовані та безпілотні системи, що використовують технології штучного інтелекту.

Предметом дослідження є програмне забезпечення на базі алгоритмів штучного інтелекту, що забезпечує функціонування роботизованих і безпілотних систем військового призначення.

Методологічну основу дослідження складають системний аналіз, порівняльний метод, аналіз документів, метод експертних оцінок та прогнозування. У роботі використано міждисциплінарний підхід, що поєднує знання з галузей інформаційних технологій, військової справи, міжнародних відносин та права.

Теоретична значущість роботи полягає у систематизації знань про технології штучного інтелекту в контексті їх військового застосування, виявленні закономірностей їх розвитку та формулюванні комплексного бачення перспектив автономних військових систем.

Практична значущість дослідження визначається можливістю використання його результатів при розробці національних стратегій розвитку військових

технологій, формуванні нормативно-правових рамок застосування автономних систем та підготовці фахівців у галузі роботизованих та безпілотних комплексів.

Структурно робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. У першому розділі розглядаються загальні аспекти впливу штучного інтелекту на військову справу, технологічні основи ШІ та практичні приклади його використання у військових операціях. Другий розділ присвячено аналізу конкретних типів військових роботизованих і безпілотних систем: наземних (UGV), повітряних (БПЛА) та морських (USV, UUV). У третьому розділі досліджуються потенційні загрози та виклики застосування ШІ у військовій сфері, етичні та правові питання автономних бойових систем, а також тренди і перспективи розвитку військового ШІ.

РОЗДІЛ 1 ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ВІЙСЬКОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

1.1 Вплив штучного інтелекту на військову справу: огляд ключових аспектів

Штучний інтелект (ШІ) став каталізатором фундаментальних перетворень у сфері військових технологій, спричинивши революційні зміни у стратегічному плануванні, тактичних рішеннях та оперативному виконанні бойових завдань. Інтенсивний розвиток та впровадження технологій ШІ в оборонному секторі призвело до якісного стрибка в ефективності військових підрозділів, оптимізації ресурсів та підвищення безпеки військовослужбовців. Експерти зазначають, що сучасні військові операції все більше залежать від систем зі штучним інтелектом, що трансформуює саму парадигму ведення бойових дій у XXI столітті.

Фундаментальною перевагою застосування ШІ у військовій сфері є здатність цих систем обробляти колосальні обсяги даних та приймати рішення зі швидкістю, недосяжною для людини. Аналітичні системи, оснащені алгоритмами машинного навчання, здатні розпізнавати критичні паттерни в розвідувальних даних, аналізувати тактичну ситуацію та генерувати варіанти рішень на основі багатофакторного аналізу. Інтеграція таких систем в командні центри дозволяє військовому керівництву ухвалювати стратегічні рішення з безпрецедентною швидкістю та точністю, забезпечуючи тактичну перевагу в умовах динамічного бойового середовища [1].

Роботизовані системи з елементами ШІ виконують широкий спектр завдань, які традиційно вважалися виключно людською прерогативою. Сучасні безпілотні апарати здатні не лише проводити розвідувальні місії, а й автономно ідентифікувати цілі, оцінювати супутні ризики та ефективно виконувати бойові завдання. Це суттєво зменшує ризики для військовослужбовців та підвищує точність військових операцій. Завдяки впровадженню роботизованих систем з елементами ШІ, виконання небезпечних завдань, таких як розмінування територій, розвідка в умовах підвищеної небезпеки та логістичне забезпечення в зоні бойових дій, стає більш ефективним та безпечним.

Інтелектуальні системи прийняття рішень дозволяють суттєво вдосконалити процеси командування та контролю. Технології ШІ, інтегровані в командні інформаційні системи, забезпечують автоматизований аналіз бойової обстановки, прогнозування розвитку подій та оптимізацію розподілу ресурсів. Така інтеграція дозволяє командуванню оперативно реагувати на зміни ситуації, ефективніше координувати дії підрозділів та мінімізувати тактичні помилки. В умовах сучасного високоінтенсивного конфлікту з великою кількістю динамічних змінних, системи підтримки прийняття рішень на базі ШІ стають не просто перевагою, а критичною необхідністю.

Револьюційний вплив штучного інтелекту спостерігається і в сфері військової логістики та технічного забезпечення. Інтелектуальні системи прогнозування та оптимізації постачання дозволяють забезпечувати безперебійне функціонування військових підрозділів навіть в складних умовах. Алгоритми машинного навчання аналізують історичні дані про споживання ресурсів, оцінюють поточні потреби та прогнозують майбутні запити, оптимізуючи логістичні ланцюги з врахуванням оперативної обстановки. Системи предиктивного обслуговування техніки на основі ШІ дозволяють виявляти потенційні несправності до їх виникнення, забезпечуючи високий рівень боєготовності.

У сфері військової розвідки та збору інформації штучний інтелект здійснив справжній прорив. Сучасні алгоритми аналізу зображень та відео здатні автоматично ідентифікувати військову техніку, інфраструктуру та переміщення військ на супутникових знімках та відеоматеріалах з БПЛА. Системи обробки природної мови можуть аналізувати комунікації, розпізнавати ключові теми та виявляти приховані взаємозв'язки у великих масивах текстових даних. Це дозволяє розвідувальним підрозділам обробляти набагато більші обсяги даних, ніж раніше, суттєво підвищуючи інформаційну обізнаність військового керівництва.

Кібербезпека військових систем також значно посилилась завдяки впровадженню ШІ. Інтелектуальні системи виявлення атак та аномалій здатні ідентифікувати потенційні загрози у режимі реального часу, аналізуючи мережевий трафік та поведінку користувачів. Алгоритми машинного навчання постійно

вдосконалюються, адаптуючись до нових типів кібератак та забезпечуючи проактивний захист критичної військової інфраструктури. В умовах, коли кіберпростір став повноцінним театром військових дій, ІІІ відіграє ключову роль у забезпеченні інформаційної безпеки та підтримці кіберсуверенітету.

Військова підготовка та навчання також зазнали суттєвих трансформацій під впливом технологій ІІІ. Інтелектуальні симуляційні системи здатні моделювати складні бойові сценарії з високим рівнем реалізму, адаптуючи сценарії під індивідуальні потреби навчання [2]. Віртуальні опоненти на базі ІІІ демонструють тактичні навички, наближені до реальних супротивників, постійно адаптуючись до дій тренуваних військовослужбовців. Системи персоналізованого навчання з елементами ІІІ дозволяють оптимізувати освітній процес, фокусуючись на індивідуальних потребах кожного військовослужбовця та забезпечуючи цільовий розвиток необхідних компетенцій.

Інтеграція штучного інтелекту з системами зв'язку та управління військами дозволила суттєво підвищити ефективність координації підрозділів. Когнітивні радіосистеми з елементами ІІІ здатні автоматично адаптуватись до електромагнітної обстановки, знаходити оптимальні частоти та потужності передачі, забезпечуючи стабільний зв'язок навіть в умовах активного радіоелектронного протидії. Інтелектуальні системи розподілу інформації забезпечують доставку критично важливих даних відповідним підрозділам з урахуванням пріоритетності, доступної пропускної здатності та оперативної обстановки, оптимізуючи інформаційні потоки в бойовому просторі.

Варто відзначити, що вплив штучного інтелекту на військову сферу не обмежується лише технічними аспектами. Впровадження роботизованих систем та автоматизація процесів прийняття рішень вимагають фундаментальних змін у військовій доктрині, організаційній структурі збройних сил та підходах до підготовки військових кадрів. Виникає потреба в спеціалістах нового типу, які поєднують військову підготовку з глибоким розумінням технологій ІІІ та можуть ефективно взаємодіяти з інтелектуальними системами, максимально використовуючи їхній потенціал.

Еволюція військового ШІ призводить до трансформації самої концепції бойового простору. Традиційні домени ведення бойових дій (земля, повітря, море) доповнюються кіберпростором та інформаційним простором, де ШІ відіграє ключову роль. Формується концепція мультидоменних операцій, де інтелектуальні системи забезпечують безперешкодну інтеграцію дій у всіх сферах, створюючи синергетичний ефект [3]. Це вимагає нових підходів до стратегічного планування та оперативного мистецтва, які враховують можливості та обмеження систем зі штучним інтелектом.

Значний вплив технологій ШІ спостерігається у сфері стратегічного стримування та ядерної безпеки. Інтелектуальні системи раннього попередження здатні з високою точністю ідентифікувати потенційні загрози, мінімізуючи ризик хибних спрацювань. Системи моделювання та прогнозування на базі ШІ дозволяють оцінювати ймовірні наслідки різних сценаріїв ескалації конфліктів, сприяючи виваженому прийняттю рішень. Водночас, автоматизація процесів у такій чутливій сфері породжує нові виклики та ризики, потребуючи особливої уваги до питань контролю та людського нагляду за критичними рішеннями.

Незважаючи на очевидні переваги, впровадження ШІ у військовій сфері супроводжується низкою викликів та ризиків. Питання надійності роботи алгоритмів у нестандартних ситуаціях, проблеми вразливості до спеціалізованих атак та етичні аспекти застосування автономних систем у бойових умовах потребують ретельного вивчення та розробки відповідних регуляторних механізмів. Зростає важливість міжнародного діалогу щодо обмежень та принципів відповідального використання військових систем зі штучним інтелектом для забезпечення глобальної безпеки.

У контексті геополітичного протистояння, розвиток військових технологій на базі ШІ стає одним із ключових факторів стратегічного балансу сил. Країни, що лідирують у розробці та впровадженні таких технологій, отримують значні переваги у військовому потенціалі. Це стимулює глобальну гонку озброєнь у сфері ШІ, де успіх залежить не лише від технологічних можливостей, але й від ефективності інтеграції інтелектуальних систем у військову організацію та

доктрину. Експерти прогнозують, що в найближчі десятиліття саме рівень розвитку військового ІІІ стане одним із визначальних факторів у формуванні нового світового порядку та системи міжнародної безпеки.

1.2 Технологічні основи штучного інтелекту: машинне навчання, комп'ютерний зір та автономні системи

Фундаментальні технології штучного інтелекту, що застосовуються у військовій сфері, базуються на широкому спектрі методів та алгоритмів, які дозволяють системам виконувати когнітивні функції, традиційно властиві людині. В основі більшості сучасних військових систем зі штучним інтелектом лежать технології машинного навчання – сукупність методів, що надають комп'ютерним системам здатність вчитися на основі даних без явного програмування. Саме розвиток алгоритмів машинного навчання, зокрема глибинного навчання з використанням нейронних мереж, став каталізатором революційних змін у можливостях військових роботизованих і безпілотних систем, дозволивши їм демонструвати вражаючі здібності до адаптації, розпізнавання та прийняття рішень у складних бойових умовах.

Глибинне навчання (Deep Learning), як підгалузь машинного навчання, відіграє критично головну роль у розвитку військових систем зі штучним інтелектом. Архітектури глибинних нейронних мереж, такі як згорткові нейронні мережі (CNN), рекурентні нейронні мережі (RNN) та трансформери, здатні обробляти та аналізувати різноманітні типи даних, включаючи зображення, відео, аудіо та текст [4]. У військових застосуваннях глибинні нейронні мережі використовуються для розпізнавання об'єктів на супутникових знімках та відео з БПЛА, класифікації радіосигналів, аналізу аномалій у показниках сенсорів та прогнозування поведінки супротивника. Здатність цих мереж автоматично виділяти ієрархічні ознаки з сирих даних забезпечує безпрецедентну точність та ефективність у вирішенні складних завдань військової розвідки та спостереження.

Підкріплюване навчання (Reinforcement Learning) є ще одним потужним підходом, який активно використовується в розробці автономних військових систем. На відміну від навчання з учителем, де модель навчається на розмічених прикладах, у підкріплюваному навчанні агент взаємодіє з середовищем, отримуючи винагороди або штрафи за свої дії, і таким чином оптимізує свою стратегію поведінки. Ця парадигма ідеально підходить для навчання автономних систем прийняттю рішень у динамічних та непередбачуваних умовах бойового простору. Алгоритми підкріплюваного навчання, такі як Deep Q-Network (DQN), Proximal Policy Optimization (PPO) та Soft Actor-Critic (SAC), застосовуються для навчання безпілотних літальних апаратів оптимальним траєкторіям польоту, тактиці уникнення загроз та ефективному виконанню бойових завдань, адаптуючись до конкретних умов операції.

Комп'ютерний зір (Computer Vision) є ключовою технологією для військових систем, що потребують здатності інтерпретувати візуальну інформацію з навколишнього середовища. Сучасні алгоритми комп'ютерного зору, побудовані на основі глибинних нейронних мереж, здатні з високою точністю виявляти, класифікувати та відстежувати об'єкти на зображеннях та відео в режимі реального часу. Військові застосування комп'ютерного зору включають системи автоматичного виявлення та розпізнавання цілей (ATR), моніторинг периметра безпеки, ідентифікацію змін на місцевості та виявлення замаскованих об'єктів [5]. Особливо потужними є алгоритми сегментації зображень, які дозволяють точно визначати межі об'єктів, та системи виявлення об'єктів, такі як YOLO (You Only Look Once) та SSD (Single Shot Detector), що забезпечують виявлення та класифікацію об'єктів з мінімальною затримкою – критично необхідний фактор для систем наведення та прицілювання.

Обробка природної мови (Natural Language Processing, NLP) є технологією, що дозволяє комп'ютерним системам розуміти, інтерпретувати та генерувати людську мову. У військовому контексті, системи NLP використовуються для аналізу великих обсягів неструктурованих текстових даних, включаючи розвідувальні звіти, комунікації, відкриті джерела інформації та соціальні медіа.

Сучасні моделі обробки природної мови, побудовані на архітектурі трансформерів, такі як BERT, GPT та T5, здатні розуміти семантичні нюанси тексту, виявляти приховані взаємозв'язки та генерувати змістовні аналітичні звіти. Військові системи NLP можуть автоматично класифікувати документи за рівнем важливості, виділяти ключову інформацію, виявляти дезінформацію та навіть прогнозувати потенційні загрози на основі текстових патернів.

Мультисенсорна інтеграція є критично головною технологією для військових роботизованих систем, які повинні ефективно функціонувати в складних та динамічних середовищах. Ця технологія передбачає комбінування даних з різних типів сенсорів – оптичних, інфрачервоних, радарних, лідарних, акустичних та інших – для формування цілісного та точного сприйняття оточення. Алгоритми сенсорної фузії, такі як розширений фільтр Калмана (Extended Kalman Filter) та методи імовірнісного програмування, дозволяють об'єднувати дані з різних джерел, враховуючи їх невизначеності та кореляції. Це забезпечує стійкість системи до часткової відмови сенсорів або деградації їх характеристик в умовах радіоелектронної протидії, що особливо головне для військових застосувань.

Ключовою складовою автономних військових систем є технології планування шляху та навігації. Сучасні алгоритми планування, такі як A*, RRT (Rapidly-exploring Random Tree) та їх оптимізовані варіанти, дозволяють безпілотним системам ефективно прокладати маршрути в складному тривимірному просторі, уникаючи перешкод та загроз. Алгоритми SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) забезпечують здатність автономних систем одночасно будувати карту невідомого середовища та визначати своє положення в ньому. У військовому контексті особливо головною є здатність функціонувати в умовах обмеженої видимості, відсутності GPS-сигналу та високої динаміки змін оточення. Саме тому розробляються спеціалізовані алгоритми, що поєднують класичні методи локалізації з технологіями машинного навчання для підвищення надійності навігації в складних бойових умовах.

Системи мультиагентної координації та рою дозволяють ефективно управляти групами автономних військових платформ. Алгоритми

децентралізованого узгодження дій, такі як консенсусні протоколи та методи аукціонного розподілу завдань, забезпечують здатність групи автономних систем координувати свої дії без постійного централізованого контролю. Це критично важливо для підтримання ефективності операцій в умовах порушення зв'язку або радіоелектронної боротьби. Концепція роїння, інспірована поведінкою біологічних систем, таких як зграї птахів або колонії комах, дозволяє реалізувати складну колективну поведінку на основі простих правил взаємодії між агентами. Військові рої БПЛА можуть виконувати масовані розвідувальні місії, створювати динамічні комунікаційні мережі або проводити координовані атаки, демонструючи високу стійкість до протидії завдяки розподіленій природі системи.

У сфері оборонних систем особливе місце займають технології виявлення та класифікації загроз. Сучасні алгоритми виявлення аномалій, побудовані на основі автоенкодерів, одновимірних згорткових нейронних мереж та рекурентних нейронних мереж, здатні ідентифікувати відхилення від нормальної поведінки в різноманітних даних – від радіосигналів до мережевого трафіку. Це дозволяє виявляти потенційні загрози, такі як маловисотні БПЛА, замасковані транспортні засоби або кібератаки, на ранніх стадіях їх розвитку. Системи виявлення загроз у військових застосуваннях зазвичай поєднують методи машинного навчання з експертними знаннями та правилами, формуючи гібридний підхід, що забезпечує як високу чутливість, так і низький рівень хибних спрацювань.

Технології імітаційного моделювання та цифрових двійників відіграють головну роль у розробці та тестуванні автономних військових систем. Високоточні фізичні моделі, що симулюють динаміку транспортних засобів, аеродинаміку, балістику та інші фізичні процеси, інтегруються з моделями сенсорів, систем управління та навколишнього середовища, створюючи комплексні симуляційні платформи. Ці платформи використовуються для навчання алгоритмів ШІ, тестування їх поведінки в різноманітних сценаріях та оцінки ефективності в умовах, що імітують реальні бойові ситуації. Концепція цифрового двійника, що передбачає створення віртуальної копії фізичної системи, дозволяє проводити віртуальні випробування нових конфігурацій обладнання та програмного

забезпечення, значно прискорюючи цикл розробки та зменшуючи витрати на фізичне тестування.

Архітектури систем прийняття рішень для автономних військових платформ поєднують детерміністичні та ймовірнісні підходи. Ієрархічні системи управління розділяють процес прийняття рішень на кілька рівнів – від стратегічного планування місії до тактичного реагування на безпосередні загрози та операційного управління підсистемами. На стратегічному рівні часто використовуються методи символічного ШІ та логічного програмування, що забезпечують інтерпретованість та пояснюваність рішень. На тактичному рівні застосовуються методи машинного навчання, зокрема підкріплюване навчання та глибинні нейронні мережі, що забезпечують адаптивність та швидке реагування. Операційний рівень реалізується з використанням класичних алгоритмів управління та оптимізації. Такий багаторівневий підхід забезпечує баланс між надійністю, адаптивністю та пояснюваністю рішень, що критично необхідно для військових застосувань.

Технології людино-машинної взаємодії мають особливе значення для військових систем, де ефективна співпраця людей та автономних платформ є критично головною. Інтуїтивні інтерфейси, що використовують природні модальності взаємодії, такі як голосові команди, жести та доповнена реальність, дозволяють операторам ефективно контролювати складні роботизовані системи навіть в стресових умовах бойової обстановки. Методи адаптивної автоматизації, що динамічно розподіляють функції між людиною та машиною залежно від ситуації та когнітивного навантаження оператора, підвищують загальну ефективність системи "людина-машина". Технології пояснюваного ШІ (Explainable AI) забезпечують прозорість рішень, що приймаються автономними системами, дозволяючи операторам розуміти логіку їх дій та ефективно здійснювати нагляд за їх функціонуванням.

Надійність та робастність алгоритмів ШІ є критично головними для військових застосувань, де відмови або непередбачувана поведінка систем можуть мати катастрофічні наслідки. Методи підвищення робастності включають технології виявлення невизначеності (uncertainty quantification), що дозволяють

системам оцінювати ступінь впевненості у своїх рішеннях та передавати контроль людині у ситуаціях з високою невизначеністю. Технології формальної верифікації та валідації, що математично доводять відповідність поведінки системи заданим специфікаціям, застосовуються для критичних компонентів автономних систем. Методи захисту від змагальних атак (adversarial attacks), які можуть призвести до помилкових класифікацій або рішень у системах машинного навчання, включають змагальне навчання, дистиляцію моделей та техніки регуляризації, що підвищують стійкість систем до цілеспрямованих маніпуляцій.

Енергоефективність та обчислювальна оптимізація є головними аспектами реалізації систем ШІ для військових застосувань, особливо для мобільних платформ з обмеженим енергоресурсом. Технології квантизації та компресії нейронних мереж, такі як квантизація з низькою бітовою точністю, прорідження ваг (weight pruning) та знаходження архітектур з мінімальними обчислювальними витратами, дозволяють запускати складні алгоритми ШІ на енергоефективних вбудованих системах. Спеціалізовані апаратні прискорювачі, такі як нейроморфні процесори та тензорні прискорювачі, оптимізовані для ефективного виконання операцій, характерних для алгоритмів машинного навчання, дозволяють значно знизити енергоспоживання та підвищити швидкодію систем ШІ в автономних військових платформах.

Забезпечення безпеки та захисту технологій ШІ від несанкціонованого доступу є критичним аспектом розробки військових автономних систем. Методи криптографічного захисту, включаючи шифрування моделей та даних, захищені протоколи оновлення програмного забезпечення та механізми аутентифікації команд, забезпечують захист від несанкціонованого втручання в роботу систем ШІ. Технології відмовостійкого проектування, такі як апаратна та програмна надлишковість, ізоляція критичних компонентів та механізми безпечної деградації, забезпечують здатність системи продовжувати функціонування або безпечно припиняти роботу у випадку часткових відмов або кібератак [6]. Розвиток технологій безпеки ШІ є особливо головними у контексті зростаючої складності автономних систем та розширення спектру потенційних векторів атаки на них.

1.3 Приклади використання ШІ у військових операціях

Практичне застосування штучного інтелекту у військових операціях останнього десятиліття демонструє широкий спектр можливостей цих технологій та їх потенціал для трансформації сучасного бойового простору. Яскравим прикладом є система Project Maven (також відома як Algorithmic Warfare Cross-Functional Team), розроблена Міністерством оборони США для аналізу даних спостереження з безпілотних літальних апаратів. Запущена у 2017 році, ця система використовує алгоритми комп'ютерного зору та глибинного навчання для автоматичного виявлення, класифікації та відстеження об'єктів на відеоматеріалах, зібраних з БПЛА. Завдяки Project Maven аналітики отримали можливість обробляти значно більші обсяги відеоданих, зосереджуючись на аналізі вже виявлених системою ШІ потенційних цілей замість ручного перегляду багатогодинних записів. Під час операцій проти терористичних угруповань на Близькому Сході ця система продемонструвала здатність значно підвищувати ефективність розвідки та точність ідентифікації цілей, скорочуючи час між виявленням загрози та прийняттям рішення щодо відповідних дій (рис. 1.1).



Рис. 1.1 - Project Maven (Algorithmic Warfare Cross-Functional Team)

Системи протиракетної оборони представляють собою ще один вагомий приклад застосування ШІ у високодинамічних бойових сценаріях. Ізраїльська система Iron Dome (Залізний купол), яка забезпечує захист цивільного населення від ракетних атак, використовує складні алгоритми машинного навчання для аналізу траєкторій вхідних ракет, прогнозування їх точок падіння та автоматичного прийняття рішень щодо перехоплення. Система здатна розрізняти ракети, що загрожують населеним пунктам, від тих, що впадуть у незаселених районах, оптимізуючи використання перехоплювачів. Під час конфліктів із бойовиками Сектору Газа Iron Dome продемонструвала ефективність перехоплення понад 90%, що є надзвичайно високим показником для систем такого класу. Ключовим елементом успіху цієї системи є саме інтеграція ШІ для надшвидкого аналізу ситуації та прийняття рішень в умовах критичного дефіциту часу — від виявлення ракети до необхідності її перехоплення проходить менше 15 секунд (рис. 1.2).



Рис. 1.2 - Система Iron Dome (Залізний купол)

У сфері військової логістики та технічного обслуговування системи зі штучним інтелектом також демонструють значні успіхи. Програма Condition Based

Maintenance Plus (CBM+) Збройних сил США використовує алгоритми машинного навчання для аналізу даних із сенсорів, встановлених на військовій техніці, з метою прогнозування потенційних відмов та оптимізації технічного обслуговування. Під час розгортання в Афганістані ця система дозволила підвищити боєготовність вертольотів AH-64 Apache на 24%, зменшити кількість незапланованих ремонтів на 30% та знизити витрати на обслуговування приблизно на 25%. Алгоритми предиктивної аналітики, що лежать в основі CBM+, виявляють аномалії в роботі обладнання, які можуть передувати серйозним відмовам, дозволяючи проводити ремонт до виникнення критичних пошкоджень. Це особливо важливо в умовах віддалених театрів військових дій, де доступність запчастин та ремонтних можливостей є обмеженою (рис. 1.3).



Condition Based Maintenance Plus (CBM+) Overview

Greg Kilchenstein

Office of the Deputy Assistant Secretary of
Defense for Maintenance

01 November 2011

Рис. 1.3 - Система Condition Based Maintenance Plus (CBM+)

Розвиток морських автономних систем зі штучним інтелектом яскраво демонструє проєкт Sea Hunter — безпілотного корабля для протичовнової боротьби, розробленого DARPA (Агентством передових оборонних дослідницьких проєктів США). Цей 40 метровий безекіпажний надводний корабель здатний автономно плавати на великі відстані, виявляти та відстежувати підводні човни противника. Під час випробувань Sea Hunter продемонстрував здатність пересуватися з Сан-Дієго до Перл-Харбору і назад без жодного втручання людини, подолавши понад 4000 морських миль. Система автономної навігації корабля

використовує алгоритми комп'ютерного зору та машинного навчання для виявлення інших суден, дотримання правил морської навігації та адаптації до мінливих погодних умов. Успіх цього проєкту показав потенціал ШІ для створення флотів автономних військових кораблів, здатних виконувати тривалі місії з мінімальним втручанням людини (рис. 1.4).



Рис. 1.4 - Безпілотний корабель Sea Hunter

У сфері бойового застосування безпілотних літальних апаратів значним проривом стало використання роїв дронів з елементами штучного інтелекту. Програма OFFSET (OFFensive Swarm-Enabled Tactics) DARPA продемонструвала можливість координації діяльності сотень малих дронів для виконання складних тактичних завдань у міському середовищі. Під час випробувань роботи OFFSET показали здатність автономно розосереджуватися для пошуку цілей, формувати мережі зв'язку для передачі даних, адаптивно реагувати на протидію та виконувати скоординовані атаки на виявлені цілі. Критично головним елементом системи є алгоритми розподіленого прийняття рішень, які дозволяють рою функціонувати навіть при втраті частини дронів або порушенні централізованого управління. Цей підхід демонструє потенціал використання масованих роїв дешевих автономних платформ як асиметричної відповіді на традиційні високовартісні системи озброєння (рис. 1.5).



Рис. 1.5 - Програма OFFSET та рої дронів

Системи радіоелектронної розвідки та боротьби також активно інтегрують технології ШІ. Система Cognitive Electronic Warfare, що розробляється компанією BAE Systems для ВПС США, використовує алгоритми машинного навчання для аналізу, класифікації та адаптивної протидії радіоелектронним системам противника. На відміну від традиційних систем РЕБ, які використовують попередньо запрограмовані бібліотеки сигнатур, когнітивні системи здатні в реальному часі виявляти та аналізувати невідомі сигнали, визначати їхнє призначення та розробляти ефективні методи протидії. Під час випробувань система продемонструвала здатність виявляти та подавляти нові типи радарів та систем зв'язку без попереднього програмування. Такі когнітивні системи РЕБ особливо ефективні в умовах конфліктів з технологічно розвиненим противником, де постійно з'являються нові засоби радіоелектронної боротьби та захисту (рис. 1.6).



Рис. 1.6 - Система Cognitive Electronic Warfare

Використання ШІ в командно-інформаційних системах бойового управління демонструє проєкт DCGS-A (Distributed Common Ground System-Army) Сухопутних військ США. Ця система використовує алгоритми машинного навчання та обробки природної мови для аналізу величезних масивів розвідувальних даних з різноманітних джерел — від супутникових знімків до перехоплених комунікацій та доповідей з поля бою. Під час операцій в Іраку та Афганістані DCGS-A допомагала аналітикам виявляти закономірності в активності повстанців, передбачати ймовірні місця встановлення саморобних вибухових пристроїв та виявляти зв'язки між окремими осередками терористичних угруповань. Особливо цінною виявилась здатність системи інтегрувати та аналізувати різноманітні дані, встановлюючи зв'язки, які могли бути пропущені при традиційному аналізі, що дозволило запобігти десяткам терористичних атак та врятувати сотні життів (рис. 1.7).

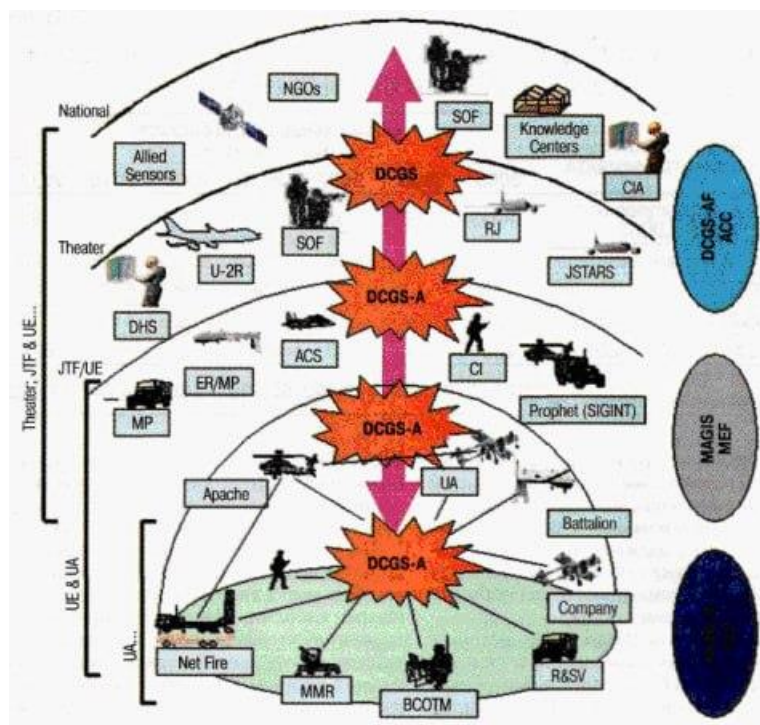


Рис. 1.7 - Система DCGS-A

Розвиток автономних наземних бойових платформ ілюструє проєкт Робак (Robotic Combat Vehicle) Армії США та подібні розробки інших країн. Ці системи поєднують автономну навігацію, ситуаційну обізнаність на основі комп'ютерного зору та адаптивні алгоритми прийняття рішень для виконання різноманітних бойових завдань. Під час випробувань у Форт Карсон, штат Колорадо, автономні бойові машини продемонстрували здатність самостійно пересуватися пересіченою місцевістю, виявляти та класифікувати потенційні загрози, координувати дії з іншими бойовими одиницями та забезпечувати вогневу підтримку піхотних підрозділів. Необхідно зазначити, що в цих системах рішення про застосування зброї все ще залишається за людиною-оператором, проте автоматизується процес виявлення цілей, наведення та відстеження. Такі системи дозволяють суттєво зменшити ризики для особового складу під час проведення небезпечних операцій, таких як прорив укріплених позицій противника або розвідка в умовах високої загрози (рис. 1.8).



Рис. 1.8 - Robotic Combat Vehicle (проект Робак)

Інноваційне використання ШІ в системах індивідуального екіпірування військовослужбовців демонструє проєкт IVAS (Integrated Visual Augmentation System) Армії США. Ця система, розроблена на базі технології Microsoft HoloLens, використовує доповнену реальність, комп'ютерний зір та алгоритми машинного навчання для підвищення ситуаційної обізнаності бійців. IVAS проєктує тактичну інформацію безпосередньо на окуляри солдата, відображаючи місцезнаходження товаришів по команді, виявлені загрози, навігаційні маркери та дані з тепловізорів. Під час польових випробувань система продемонструвала здатність значно підвищувати ефективність піхотних підрозділів, особливо в умовах обмеженої видимості та складній місцевості. Алгоритми комп'ютерного зору IVAS здатні виявляти та виділяти потенційні загрози, такі як замаскований особовий склад противника або снайперські позиції, які можуть бути пропущені звичайним людським зором (рис. 1.9).



Рис. 1.9 - Система IVAS (Integrated Visual Augmentation System)

Системи автоматизованого аналізу розвідувальних даних на основі ШІ демонструють свою ефективність під час міжнародних конфліктів останніх років. Під час російсько-української війни технології ШІ активно використовувались обома сторонами для аналізу супутникових знімків, відео з БПЛА та соціальних медіа для виявлення переміщень військ, ідентифікації військової техніки та оцінки пошкоджень інфраструктури. Українські сили використовували програмне забезпечення на основі ШІ для аналізу даних з краудсорсингових платформ, де цивільні громадяни повідомляли про рухи російських військ. Аналітичні системи на основі машинного навчання автоматично валідували ці повідомлення, співставляючи їх з іншими джерелами даних, та інтегрували підтверджену інформацію в оперативну картину бойових дій. Ці приклади демонструють, як ШІ може значно підвищувати ефективність розвідки навіть за умов обмежених ресурсів (рис. 1.10).



Рис. 1.10 - Системи аналізу розвідувальних даних на основі ШІ

Застосування алгоритмів машинного навчання для оптимізації ланцюгів постачання демонструє проєкт Армії США спільно з AI компанією Palantir. Ця система аналізує історичні дані про споживання ресурсів, поєднуючи їх з оперативною інформацією про поточні та плановані операції для прогнозування потреб у різних типах матеріально-технічного забезпечення. Під час розгортання в європейському театрі операцій система дозволила зменшити запаси критичних запасних частин на 22%, одночасно підвищивши рівень забезпеченості на 15%, оптимально розподіляючи ресурси між різними підрозділами відповідно до їх оперативних потреб. Особливо ефективним виявилось використання цієї системи в умовах обмежених транспортних можливостей та ресурсів, коли оптимальне планування поставок стає критично головним для підтримки боєздатності підрозділів (рис. 1.11).



Рис. 1.11 - Системи оптимізації ланцюгів постачання армії США

Використання штучного інтелекту в системах кіберзахисту військової інфраструктури ілюструє проєкт JAIC (Joint Artificial Intelligence Center) Міністерства оборони США. Розроблені в рамках цього проєкту системи здатні в режимі реального часу аналізувати мережевий трафік, виявляти аномалії та потенційні кібератаки, застосовуючи алгоритми машинного навчання для ідентифікації нових типів загроз, які можуть бути пропущені традиційними системами захисту. Під час масштабних військових навчань Cyber Flag ці системи продемонстрували здатність виявляти складні багатовекторні атаки, адаптуватися до нових тактик кіберпротивника та автоматично ізолювати скомпрометовані частини мережі для запобігання подальшому поширенню загрози. З урахуванням критичної важливості інформаційних систем для сучасних військових операцій, такі інтелектуальні системи кіберзахисту стають необхідним елементом забезпечення національної безпеки (рис. 1.12).



Рис. 1.12 - Системи кіберзахисту JAIC

Безпрецедентним прикладом використання ШІ в операціях спеціального призначення є система ISR (Intelligence, Surveillance, Reconnaissance) на базі технологій машинного навчання, що використовувалась під час операції з ліквідації лідера ІДІЛ Абу Бакра аль-Багдаді в 2019 році. Ця система інтегрувала дані з різноманітних джерел — від аналізу комунікацій та соціальних мереж до супутникових знімків та SIGINT (радіоелектронної розвідки) — для виявлення місцезнаходження цілі та планування операції. Алгоритми машинного навчання аналізували патерни пересування, комунікацій та діяльності оточення аль-Багдаді, поступово звужуючи коло пошуку. Під час самої операції ШІ використовувався для аналізу тактичної ситуації в реальному часі, забезпечуючи командування найактуальнішою інформацією для прийняття рішень. Успіх цієї операції продемонстрував, як інтеграція ШІ в розвідувально-аналітичні системи може кардинально підвищувати ефективність високоточних операцій проти високоцінних цілей.

У сфері навчання та бойової підготовки військ показовим є проєкт Synthetic Training Environment (STE) Армії США, який використовує технології штучного інтелекту для створення високореалістичних симуляцій бойових дій. Ця система поєднує віртуальну та доповнену реальність з алгоритмами машинного навчання

для моделювання поведінки противника, цивільного населення та середовища проведення операцій. Під час навчань алгоритми ШІ динамічно адаптують сценарії відповідно до дій тренуваних підрозділів, забезпечуючи високий рівень складності та реалізму. Віртуальні опоненти, керовані ШІ, демонструють тактичну поведінку, характерну для різних типів противників — від регулярних армій до терористичних угруповань. Використання таких систем дозволяє забезпечити високоякісну підготовку військ до різноманітних сценаріїв бойових дій без необхідності проведення масштабних та дорогих польових навчань [7].

Застосування ШІ в системах протидії безпілотним літальним апаратам демонструє система DroneHunter компанії Fortem Technologies, що використовується для захисту критичної інфраструктури та військових об'єктів. Ця автономна система поєднує радари з поверхневим фазованими ґратками, алгоритми машинного зору та мережі нейронного управління для виявлення, класифікації та нейтралізації ворожих БПЛА. DroneHunter здатний автономно злітати при виявленні потенційної загрози, використовувати алгоритми комп'ютерного зору для ідентифікації типу БПЛА та його характеристик, а потім застосовувати оптимальний метод нейтралізації — від захоплення спеціальною сіткою до радіоелектронного придушення системи управління. Під час демонстрацій для військових система показала ефективність понад 85% при нейтралізації різноманітних типів дронів, включаючи високошвидкісні та маневрені моделі. З урахуванням зростаючої загрози використання БПЛА для атак на критичну інфраструктуру та військові об'єкти, такі інтелектуальні системи протидії стають критично необхідним елементом сучасної протиповітряної оборони.

РОЗДІЛ 2 ВІЙСЬКОВІ РОБОТИ ТА ДРОНИ З ШІ

2.1 Наземні роботизовані системи (UGV)

Наземні роботизовані системи (Unmanned Ground Vehicles, UGV) представляють собою автономні або дистанційно керовані платформи, здатні виконувати широкий спектр військових завдань без безпосередньої присутності людини на борту. Принципи роботи сучасних UGV ґрунтуються на інтеграції передових технологій штучного інтелекту з робототехнічними системами, сенсорами та комунікаційним обладнанням. Базова архітектура типового військового UGV включає п'ять ключових компонентів: механічну платформу з системою пересування, сенсорний комплекс для сприйняття навколишнього середовища, обчислювальний модуль з алгоритмами ШІ для обробки даних та прийняття рішень, системи зв'язку та управління, а також функціональне обладнання відповідно до призначення системи (озброєння, маніпулятори, спеціалізовані датчики тощо). Саме ефективна інтеграція цих компонентів з використанням технологій ШІ визначає здатність системи автономно діяти в складних та непередбачуваних умовах бойового простору.

Технології автономної навігації та локалізації становлять фундамент функціонування сучасних UGV. Для забезпечення ефективного пересування в динамічному середовищі використовується комплексний підхід, що поєднує різні методи локалізації та картографування. Алгоритми SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) дозволяють роботизованим системам одночасно будувати карту невідомої місцевості та визначати своє положення на ній. Сучасні реалізації SLAM, такі як Visual-SLAM та LiDAR-SLAM, використовують глибокі нейронні мережі для обробки візуальної інформації та даних лазерного сканування, забезпечуючи точну локалізацію навіть за відсутності GPS-сигналу [8]. Для підвищення надійності навігації в складних умовах (міська забудова, ліси, підземні споруди) використовується мультисенсорний підхід, що комбінує дані з інерціальних навігаційних систем (INS), одометрії, візуальної одометрії, LiDAR,

радарів та інших датчиків. Алгоритми злиття даних, такі як розширений фільтр Калмана (Extended Kalman Filter) або фільтр часток (Particle Filter), забезпечують інтеграцію цих різнорідних даних для отримання точної оцінки положення та орієнтації UGV.

Системи сприйняття та розуміння оточення, що базуються на комп'ютерному зорі та обробці сенсорних даних, є ключовими для забезпечення ситуаційної обізнаності UGV. Сучасні військові наземні роботизовані системи використовують комплекс різноманітних сенсорів для формування повної картини навколишнього середовища. Багатоспектральні камери (що працюють у видимому, інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазонах), системи LiDAR, радари, акустичні датчики та спеціалізовані сенсори (такі як детектори радіаційного, хімічного та біологічного забруднення) забезпечують збір різноманітних даних про оточення. Для обробки цих даних використовуються алгоритми комп'ютерного зору на базі глибинних нейронних мереж, такі як Mask R-CNN, YOLO та DeepLab, які забезпечують детектування, класифікацію та семантичну сегментацію об'єктів із високою точністю. Особливо необхідним є розвиток алгоритмів 3D-сприйняття, які будують об'ємну модель оточення та забезпечують точне позиціонування виявлених об'єктів у просторі. Це критично головне для надійного виявлення перешкод, прохідної місцевості, потенційних загроз та цілей у складному тривимірному середовищі бойових дій.

Системи планування шляху та прийняття рішень складають інтелектуальне ядро автономних UGV. Ієрархічна архітектура прийняття рішень зазвичай включає три рівні: стратегічний (планування місії), тактичний (визначення оптимальних маршрутів та дій для досягнення цілей місії) та операційний (безпосереднє керування рухом та обладнанням). На стратегічному рівні використовуються методи символічного штучного інтелекту та автоматизованого планування, такі як ієрархічні мережі завдань (HTN) та методи планування на основі часових логік [9]. Тактичний рівень реалізується з використанням алгоритмів підкріплюваного навчання, таких як Deep Q-Networks (DQN) та Proximal Policy Optimization (PPO), які дозволяють системі адаптуватися до динамічних змін ситуації. На операційному

рівні використовуються реактивні методи управління та локального планування шляху, такі як алгоритми штучних потенційних полів, Dynamic Window Approach (DWA) та Timed Elastic Bands (TEB). Ключовою особливістю сучасних систем є здатність до адаптивного перепланування в реальному часі при виявленні нових перешкод, загроз або змін у тактичній ситуації.

Інтеграція штучного інтелекту в бойові UGV ставить особливі вимоги до надійності, безпеки та етики застосування таких систем. Для забезпечення надійної роботи в критичних сценаріях використовуються багаторівневі системи безпеки, що включають постійний моніторинг стану системи, виявлення аномалій та механізми безпечної деградації. Архітектури з високою відмовостійкістю, що використовують апаратну та програмну надлишковість, забезпечують функціонування системи навіть при виході з ладу окремих компонентів. Процедури верифікації та валідації алгоритмів ШІ, включаючи формальні методи перевірки, тестування на граничних випадках та стрес-тестування в симульованих бойових сценаріях, гарантують передбачуваність поведінки системи. Критично головним аспектом є забезпечення належного рівня людського контролю над автономними системами, особливо в питаннях застосування зброї. Сучасні бойові UGV реалізують концепцію "людини-в-контурі" (human-in-the-loop), де рішення про застосування летальної сили залишаються за людиною-оператором, а система лише пропонує рекомендації та забезпечує ситуаційну обізнаність.

У сегменті важких бойових UGV одним із найбільш передових зразків є російська роботизована бойова платформа "Уран-9". Ця система масою близько 12 тонн оснащена 30-мм автоматичною гарматою, кулеметом, протитанковими керованими ракетами "Атака" та вогнеметами "Шмель". Сенсорний комплекс "Уран-9" включає оптико-електронну систему з тепловізійним каналом, лазерний далекомір та систему виявлення цілей. Попри амбіційну концепцію, бойове застосування системи в Сирії виявило ряд технічних проблем, включаючи ненадійний зв'язок, обмежену автономність та недосконалі алгоритми розпізнавання цілей, що істотно обмежило її практичну ефективність. Це підкреслює розрив між теоретичними можливостями та практичною реалізацією

систем такого класу в реальних бойових умовах. Новітня версія "Уран-9М" покликана усунути виявлені недоліки через вдосконалення системи зв'язку, інтеграцію більш потужних алгоритмів комп'ютерного зору та розширення можливостей автономної навігації.

Американський підхід до розробки бойових UGV представлений програмою Robotic Combat Vehicle (RCV), яка передбачає створення сімейства роботизованих бойових машин різних вагових категорій. RCV-Light (до 10 тонн), RCV-Medium (10-20 тонн) та RCV-Heavy (20-30 тонн) призначені для різних тактичних ролей — від розвідки та цілевказання до безпосередньої вогневої підтримки. Особливістю програми є фокус на мережецентричному підході, де роботизовані системи інтегруються в єдину мережу з пілотованою технікою та піхотними підрозділами, забезпечуючи синергетичний ефект. Алгоритми ШІ в RCV фокусуються на автономній навігації пересіченою місцевістю, виявленні та класифікації цілей, а також колаборативному плануванні дій групи різнорідних систем. Прототипи RCV, розроблені компаніями QinetiQ North America та Textron, пройшли серію польових випробувань у 2020-2022 роках, демонструючи здатність автономно пересуватися по бездоріжжю, долати перешкоди та виконувати базові тактичні маневри при збереженні людського контролю над застосуванням зброї.

Ізраїльський підхід до розробки UGV яскраво ілюструє безекіпажна платформа Jaguar, розроблена компанією Israel Aerospace Industries для патрулювання кордонів та охорони периметрів. Ця компактна система, озброєна 7,62-мм кулеметом, поєднує автономні навігаційні можливості з елементами дистанційного керування. Особливістю Jaguar є розвинена система ситуаційної обізнаності, що включає панорамні камери з високою роздільною здатністю, тепловізори та акустичні датчики. Алгоритми комп'ютерного зору забезпечують автоматичне виявлення та розпізнавання людей, транспортних засобів та інших об'єктів на відстані до 2 км. Система успішно використовується для охорони кордону Ізраїлю з сектором Газа, де демонструє здатність ефективно виявляти несанкціоновані перетини кордону та потенційні загрози. Джерела в ізраїльських військових відзначають, що впровадження Jaguar дозволило знизити ризики для

персоналу при патрулюванні небезпечних ділянок кордону та підвищити ефективність виявлення порушників.

У категорії середніх багатоцільових UGV визначне місце займає американська система MUTT (Multi-Utility Tactical Transport), розроблена компанією General Dynamics. Ця гусенична або колісна платформа вагою близько 2 тонн призначена для підтримки піхотних підрозділів у різноманітних місіях — від перевезення вантажів до забезпечення вогневої підтримки. MUTT може оснащуватися різними модулями озброєння, включаючи кулемети, гранатомети та протитанкові ракетні комплекси. Система характеризується високим рівнем автономності пересування, здатністю слідувати за позначеним оператором маршрутом або автоматично слідувати за підрозділом в режимі "електронного повідця". Інтелектуальні алгоритми забезпечують автоматичне виявлення та об'їзд перешкод, вибір оптимального маршруту на пересіченій місцевості та адаптацію до несподіваних змін у середовищі. Тактичні випробування MUTT у складі піхотних підрозділів Корпусу морської піхоти США продемонстрували значне підвищення мобільності, вогневої потужності та витривалості підрозділів при інтеграції цих систем у тактичні групи.

Для виконання спеціалізованих завдань з розмінування та нейтралізації саморобних вибухових пристроїв (СВП) розроблені системи UGV з високим рівнем інтеграції штучного інтелекту. Показовим прикладом є сімейство роботів Talon, розроблених компанією QinetiQ North America та широко використовуваних американськими військами в Іраку та Афганістані. Новітні версії цих систем, такі як Talon V, оснащуються алгоритмами комп'ютерного зору для автоматичного виявлення потенційних СВП, розпізнавання їх типу та оцінки рівня загрози. Система здатна ідентифікувати характерні ознаки саморобних вибухових пристроїв на зображеннях — неприродні об'єкти на дорогах, сліди земляних робіт, дроти та інші підозрілі елементи. Маніпулятор з 7 ступенями свободи під управлінням інтелектуальних алгоритмів здатний обережно досліджувати виявлені об'єкти, брати зразки та проводити нейтралізацію відповідно до типу виявленого пристрою. Статистика застосування таких систем у зонах конфліктів показує, що

їх використання дозволило значно знизити втрати серед саперів та підвищити ефективність операцій з розмінування.

Розвиток логістичних UGV демонструє іншу важливу область застосування штучного інтелекту в наземних роботизованих системах. Американська програма Autonomous Ground Resupply (AGR) спрямована на створення автономних конвоїв для забезпечення підрозділів на передовій. Системи Leader-Follower, розроблені в рамках цієї програми, дозволяють одному транспортному засобу з екіпажем вести колону з 5-10 безекіпажних вантажівок, які автоматично повторюють траєкторію руху лідера. Алгоритми комп'ютерного зору та машинного навчання забезпечують виявлення та об'їзд перешкод, дотримання безпечної дистанції між машинами та адаптацію до змін дорожніх умов. Польові випробування системи в умовах, наближених до бойових, продемонстрували здатність автономних конвоїв долати сотні кілометрів по дорогах різної якості з мінімальним втручанням оператора. Впровадження таких систем дозволяє значно зменшити кількість персоналу, задіяного в логістичних операціях, та знизити ризики для особового складу при постачанні підрозділів у зонах високої загрози.

Інтеграція міні- та мікро-UGV із системами фронтової розвідки представляє собою перспективний напрямок застосування роботизованих систем на тактичному рівні. Показовим прикладом є система FirstLook, розроблена компанією iRobot (тепер частина FLIR Systems). Цей компактний гусеничний робот вагою менше 2 кг оснащується набором камер, мікрофонів та інших сенсорів і призначений для розвідки будівель, підземних споруд та інших потенційно небезпечних об'єктів. Новітні версії системи використовують алгоритми комп'ютерного зору для автоматичного створення тривимірних мап приміщень, виявлення людей та зброї, а також розпізнавання потенційних загроз. Особливо цінною є функція автономного повернення у випадку втрати зв'язку з оператором, що реалізується через запам'ятовування пройденого маршруту та ключових орієнтирів. Для операцій міського бою та антитерористичних операцій такі системи стають незамінним інструментом, що дозволяє отримувати критично важливу інформацію про ситуацію в будівлях без ризику для особового складу.

Розвиток методів групової взаємодії UGV представляє особливий інтерес для військових застосувань. Проєкт OFFSET (OFFensive Swarm-Enabled Tactics) DARPA демонструє можливості координації гетерогенних груп роботизованих систем, включаючи наземних роботів різних класів та БПЛА. Алгоритми децентралізованого прийняття рішень, натхнені біологічними роями, дозволяють групі роботів автономно розподіляти завдання, координувати дії та адаптуватися до змін оперативної обстановки. Архітектура рою забезпечує високу стійкість системи до втрати окремих агентів та порушень зв'язку. Під час демонстрацій у міському середовищі група з наземних та повітряних роботів демонструвала здатність автономно проводити розвідку будівель, виявляти та супроводжувати цілі, створювати мережі передачі даних та забезпечувати тактичну підтримку підрозділів спеціального призначення. Роботизовані рої представляють собою потужний інструмент асиметричної відповіді на традиційні військові загрози, особливо в складних оперативних середовищах, таких як щільна міська забудова.

Інтеграція UGV із системами доповненої реальності та інтелектуального управління бойовим простором демонструє новий рівень взаємодії людини з роботизованими системами. Проєкт Squad X Корпусу морської піхоти США поєднує наземних роботів, дрони та системи індивідуального екіпірування бійців у єдину інформаційну мережу. Алгоритми ШІ аналізують дані з усіх доступних сенсорів, формуючи інтегровану картину бойового простору та проектуючи релевантну інформацію на окуляри доповненої реальності військовослужбовців. Оператори можуть керувати роботизованими системами за допомогою інтуїтивних жестових або голосових команд, отримуючи при цьому візуальний зворотний зв'язок через систему доповненої реальності. Таке безшовне поєднання людей та роботів створює якісно нові тактичні можливості, дозволяючи невеликим підрозділам контролювати значно більші території та ефективно протистояти численнішому противнику.

Новітні розробки у сфері енергозабезпечення UGV відкривають перспективи для значного розширення автономності та тривалості місій. Системи гібридного енергозабезпечення, що поєднують акумуляторні батареї з паливними елементами

або малогабаритними двигунами внутрішнього згоряння, забезпечують суттєве збільшення запасу ходу порівняно з чисто електричними системами. Алгоритми інтелектуального управління енергоспоживанням оптимізують розподіл енергії між різними підсистемами робота залежно від поточних завдань та умов експлуатації. Особливо перспективними є системи автономного підзаряджання, що дозволяють UGV самостійно знаходити джерела енергії — від спеціальних док-станцій до імпровізованих джерел у польових умовах. Експериментальні зразки UGV з сонячними панелями та алгоритмами оптимізації положення для максимального збору сонячної енергії демонструють потенціал для створення систем з надзвичайно високою автономністю, здатних функціонувати тижнями без втручання людини.

Застосування наземних роботизованих систем у реальних бойових операціях останніх років надає важливі уроки щодо ефективності та обмежень сучасних технологій. Досвід використання UGV у конфліктах в Сирії, Іраку, Україні та інших гарячих точках виявив ряд типових проблем, включаючи вразливість систем зв'язку до радіоелектронної протидії, обмежену автономність у складних середовищах та недостатню надійність в екстремальних умовах експлуатації. Водночас, засвідчено високу ефективність UGV у специфічних задачах, таких як розмінування, розвідка в зонах високого ризику та логістичне забезпечення. Аналіз бойового досвіду дозволяє визначити ключові напрямки вдосконалення систем: підвищення стійкості до радіоелектронної протидії, розвиток алгоритмів автономної навігації в умовах відсутності GPS, вдосконалення систем комп'ютерного зору для надійного функціонування в складних погодних та освітлювальних умовах, а також підвищення фізичної стійкості платформ до пошкоджень [10]. Вагомим трендом є також розвиток систем з повним дистанційним управлінням до частково автономних і далі до систем з високим рівнем автономності, де роль оператора зводиться до загального нагляду та прийняття критичних рішень.

2.2 Безпілотні літальні апарати (БПЛА)

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) за останнє десятиліття стали невід'ємним елементом сучасного бойового простору, суттєво розширивши свої можливості завдяки інтеграції передових технологій штучного інтелекту. Еволюція БПЛА трансформувала їх із простих дистанційно керованих повітряних платформ у складні автономні системи, здатні виконувати широкий спектр бойових і розвідувальних завдань з мінімальним втручанням оператора. Сучасні військові БПЛА класифікуються за кількома основними категоріями: стратегічні БПЛА великої тривалості польоту (HALE – High Altitude Long Endurance); тактичні БПЛА середньої тривалості польоту (MALE – Medium Altitude Long Endurance); тактичні БПЛА малого радіусу дії; міні-БПЛА; мікро-БПЛА та дрони-камікадзе (баражуючі боєприпаси). Кожна категорія має свої особливості конструкції, системи управління та спектр виконуваних завдань, проте всі вони все більшою мірою покладаються на алгоритми ШІ для підвищення ефективності та автономності функціонування.

Автономність БПЛА визначається здатністю системи самостійно виконувати поставлені завдання з мінімальним людським втручанням. Сучасні підходи до реалізації автономності базуються на багаторівневій архітектурі з різним ступенем залучення штучного інтелекту. На найнижчому рівні знаходиться стабілізація польоту та базова навігація, де використовуються алгоритми відфільтрованого машинного навчання та класичні методи управління. Ці системи забезпечують автоматичне підтримання заданої висоти, швидкості та курсу, а також базову компенсацію погодних умов. Наступний рівень включає системи маршрутизації та навігації, які дозволяють БПЛА автономно пересуватися за попередньо визначеними шляховими точками або вздовж запрограмованих маршрутів, з можливістю динамічної адаптації у випадку виникнення перешкод або загроз. Найвищий рівень автономності передбачає здатність БПЛА самостійно приймати рішення щодо виконання місії, включаючи вибір цілей, планування оптимальних маршрутів розвідки, адаптацію до непередбачуваних ситуацій та навіть

координацію з іншими безпілотними або пілотованими системами. Саме на цьому рівні технології штучного інтелекту, зокрема підкріплюване навчання та глибинні нейронні мережі, відіграють ключову роль.

Технології ситуаційної обізнаності для БПЛА представляють собою комплекс сенсорів та алгоритмів обробки даних, що забезпечують повне розуміння навколишнього середовища. Сучасні військові БПЛА оснащуються різноманітними датчиками: електрооптичними та інфрачервоними камерами високої роздільної здатності, радарми з синтезованою апертурою (SAR), лазерними далекомірами та цілевказівниками, системами радіотехнічної розвідки (SIGINT), багатоспектральними та гіперспектральними сенсорами. Для обробки цього різноманітного потоку даних використовуються алгоритми комп'ютерного зору, що базуються на згорткових нейронних мережах (CNN). Новітні архітектури, такі як Faster R-CNN, YOLO v4 та EfficientDet, дозволяють в режимі реального часу виявляти, класифікувати та відстежувати наземні цілі з високою точністю навіть в складних умовах (часткове закриття цілі, погана видимість, маскування). Особливо необхідним є розвиток алгоритмів мультисенсорного злиття даних, які інтегрують інформацію з різних типів датчиків для формування цілісної картини оперативної обстановки, значно підвищуючи ефективність розвідки та цілевказання.

Системи автономної навігації та управління польотом сучасних БПЛА використовують комбінацію класичних методів та алгоритмів машинного навчання. Базову навігацію забезпечують інерціальні навігаційні системи (INS) в поєднанні з глобальними супутниковими навігаційними системами (GNSS), такими як GPS, ГЛОНАСС, Galileo. Для підвищення надійності в умовах радіоелектронної протидії або відсутності GNSS-сигналу впроваджуються системи візуальної одометрії та візуальної інерціальної одометрії (VIO), що використовують комп'ютерний зір для оцінки переміщення БПЛА відносно наземних орієнтирів. Алгоритми синхронної локалізації та картографування (SLAM) дозволяють БПЛА будувати карту невідомої місцевості та одночасно визначати своє положення на ній. Для планування траєкторій використовуються методи підкріплюваного навчання, що дозволяють оптимізувати маршрути з

урахуванням множини факторів: економії палива, мінімізації радіолокаційної помітності, уникнення зон ППО противника, оптимізації розвідувального покриття території. Особливо ефективними є гібридні підходи, що поєднують класичні методи оптимізації з нейронними мережами для адаптивного планування маршрутів в режимі реального часу при зміні оперативної обстановки.

Алгоритми виявлення та розпізнавання цілей для БПЛА за останні роки зробили значний прогрес завдяки використанню глибокого навчання. Сучасні системи ATR (Automatic Target Recognition) здатні ідентифікувати та класифікувати широкий спектр об'єктів, включаючи різні типи військової техніки, фортифікаційні споруди, скупчення живої сили противника та критичні елементи інфраструктури. Необхідною інновацією є алгоритми виявлення замаскованих та прихованих об'єктів, що використовують аналіз аномалій на зображеннях та виявлення незначних відхилень, які можуть свідчити про спроби маскування. Для навчання таких систем використовуються великі датасети, що включають зображення військової техніки в різних умовах спостереження, з різних ракурсів та в різноманітних середовищах. Особливо цінними є алгоритми, що потребують мінімального обсягу даних для донавчання при виявленні нових типів техніки, реалізовані через методи few-shot learning та transfer learning. Складною, але критично вагомою задачею є виявлення та оцінка важливості цілей в умовах застосування противником засобів маскування, дезінформації та імітації.

Бойові можливості сучасних БПЛА суттєво розширилися, перетворивши їх із платформ розвідки та спостереження на потужні ударні системи. Стратегічні БПЛА, такі як американський MQ-9 Reaper та китайський Wing Loong II, здатні нести різноманітне озброєння: керовані ракети класу "повітря-земля" (AGM-114 Hellfire, AGM-176 Griffin), керовані бомби (GBU-12 Paveway II, GBU-38 JDAM), а також спеціалізовані боеприпаси для високоточних ударів із мінімальними супутніми пошкодженнями (AGM-114R9X). Розробка спеціалізованих боеприпасів для БПЛА, оптимізованих за масогабаритними характеристиками та дальністю дії, дозволяє максимізувати бойову ефективність при збереженні тривалості польоту. Інтеграція штучного інтелекту в системи наведення озброєння дозволяє

реалізувати концепцію "вистрелив та забув" з можливістю автономного пошуку, ідентифікації та відстеження цілі після запуску боєприпасу. Критично головним елементом таких систем є надійні алгоритми верифікації цілей та запобігання помилковим атакам, які реалізують концепцію "людини-в-контурі" при прийнятті рішення про застосування зброї.

Тактичні БПЛА середньої тривалості польоту (MALE), такі як ізраїльський IAI Heron, турецький Bayraktar TB2 та американський MQ-1C Gray Eagle, продемонстрували свою високу ефективність у сучасних конфліктах. Ці системи поєднують значну тривалість польоту (до 24-36 годин) з можливістю нести корисне навантаження для розвідки та ураження цілей. Успіх Bayraktar TB2 у конфліктах в Нагірному Карабаху, Сирії та Україні продемонстрував нову парадигму використання БПЛА середнього класу для нанесення точних ударів по броньованій техніці, системах ППО та іншим високоцінним цілям. Вагомим фактором успіху стала інтеграція систем розвідки, управління та ураження в єдиний комплекс з високим рівнем автоматизації. Мережецентрична архітектура дозволяє оперативно передавати розвідувальні дані з БПЛА до центрів управління та інших бойових одиниць, скорочуючи цикл "виявлення-рішення-ураження" до кількох хвилин. Розвиток захищених систем зв'язку та протоколів роботи в умовах радіоелектронної протидії стає критичним фактором для забезпечення ефективності таких БПЛА в умовах протидії технологічно розвиненого противника.

Особливу категорію складають баражуючі боєприпаси (loitering munitions), які поєднують характеристики БПЛА та керованих ракет. Системи, такі як ізраїльський IAI Harop, американський AeroVironment Switchblade та турецький STM Kargu, здатні тривалий час (від десятків хвилин до кількох годин) патрулювати заданий район, виявляти та атакувати цілі з мінімальним людським втручанням. Інтеграція алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання дозволяє таким системам автономно виявляти та ідентифікувати цілі за визначеними критеріями. Наприклад, Kargu-2 використовує нейронні мережі для розпізнавання типів військової техніки та навіть конкретних осіб за їхніми

біометричними характеристиками. При виявленні цілі система може автоматично атакувати її або запитати підтвердження оператора, залежно від встановлених правил застосування. Компактні розміри та відносно низька вартість цих систем дозволяють використовувати їх масово, створюючи розподілені мережі розвідки та ураження на великих територіях. Масове застосування баражуючих боєприпасів у конфлікті в Нагірному Карабаху продемонструвало їхню високу ефективність проти броньованої техніки, систем ППО та фортифікаційних споруд, значно змінивши динаміку бойових дій.

Технології роїння БПЛА представляють собою один з найбільш перспективних напрямків розвитку безпілотної авіації. Концепція рою передбачає координовану дію великої кількості (від десятків до сотень) відносно простих та недорогих БПЛА, які за рахунок колективної поведінки здатні виконувати складні завдання. Програма OFFSET (OFFensive Swarm-Enabled Tactics) агентства DARPA демонструє можливості автономної координації рою для проведення розвідки, створення тимчасових комунікаційних мереж та нанесення ударів у міському середовищі. Алгоритми колективної поведінки, натхнені біологічними системами (зграї птахів, колонії комах), дозволяють рою адаптуватися до протидії противника, підтримувати функціональність при втраті окремих дронів та ефективно розподіляти завдання без централізованого управління. Ключовими технологіями для реалізації роїння є децентралізовані алгоритми прийняття рішень, локальні методи комунікації між агентами рою, системи відносного позиціонування та алгоритми колаборативного сприйняття середовища. Випробування демонструють здатність роїв БПЛА насичувати та перевантажувати системи ППО противника, виявляти та атакувати цілі з різних напрямків одночасно, а також проводити координовану розвідку великих територій з оптимальним покриттям.

Протидія системам радіоелектронної боротьби (РЕБ) стає критично необхідним аспектом функціонування сучасних БПЛА. В умовах активної радіоелектронної протидії БПЛА стикаються з різноманітними загрозами: придушення навігаційних систем (GPS/ГЛОНАСС jamming), блокування каналів управління та передачі даних, спуфінг (підміна GPS-сигналів для введення в оману

системи навігації). Для забезпечення стійкості до таких загроз впроваджуються різноманітні технології: системи альтернативної навігації на основі візуальної одометрії, інерціальних навігаційних систем та астрономічної навігації; когнітивні радіосистеми, здатні автоматично виявляти та обходити завади; захищені протоколи зв'язку з шифруванням та часто-стрибкоподібною зміною частот (FHSS). Особливо перспективними є системи автономного прийняття рішень, що дозволяють БПЛА продовжувати виконання місії навіть при повній втраті зв'язку з оператором. Алгоритми ШІ в таких системах здатні розпізнавати факт радіоелектронної атаки, ідентифікувати її тип та автоматично адаптувати стратегію протидії, переходячи в режим підвищеної автономності або змінюючи параметри комунікації.

Малопомітність та виживаність БПЛА забезпечуються комбінацією конструктивних рішень та інтелектуальних систем захисту. Сучасні БПЛА військового призначення проектуються з використанням технологій зниження радіолокаційної, інфрачервоної та акустичної помітності. Форма планера оптимізується для мінімізації ефективної площі розсіювання (ЕПР), використовуються радіопоглинаючі матеріали та спеціальні покриття, двигуни оснащуються системами зниження інфрачервоної сигнатури та шумопоглинаючими пристроями. Алгоритми планування маршруту із застосуванням технологій ШІ дозволяють оптимізувати траєкторію польоту з урахуванням розташування систем ППО противника, рельєфу місцевості та інших факторів, максимізуючи ймовірність проникнення в захищений повітряний простір. Системи оповіщення про радіолокаційне опромінення та обстріл (MAWS – Missile Approach Warning System) у поєднанні з алгоритмами ухилення від протиповітряних ракет підвищують шанси БПЛА на виживання при виявленні. Новітні розробки включають системи активного радіоелектронного захисту, здатні створювати хибні цілі та перешкоджати наведенню ракет.

Специфічним класом БПЛА є мікро-безпілотники для військового використання, які демонструють зростаючу інтеграцію технологій ШІ. Системи, такі як американська FLIR Black Hornet PRS, представляють собою мініатюрні

вертольоти вагою менше 33 грамів, оснащені камерами та системами передачі даних, що використовуються для тактичної розвідки на рівні піхотних підрозділів. Попри обмежені обчислювальні можливості, такі системи все частіше оснащуються спрощеними алгоритмами комп'ютерного зору для автоматичного виявлення та розпізнавання цілей, стабілізації зображення та автономної навігації. Особливістю мікро-БПЛА є здатність проникати в приміщення через вікна та інші отвори, виконувати розвідку в обмежених просторах та наближатися до цілей непомітно. Розвиток біоінспірованих БПЛА, що імітують комах або птахів, дозволяє створювати системи з виключно низькою помітністю, здатні виконувати спеціалізовані розвідувальні місії в густонаселених районах або захищених об'єктах. Застосування таких систем у міських умовах створює нові можливості для розвідки та цілевказання, особливо в контексті асиметричних конфліктів та антитерористичних операцій.

Інтеграція БПЛА в мережецентричні системи бойового управління дозволяє максимізувати їх ефективність у рамках загальної військової стратегії. Сучасні концепції, такі як американська JADC2 (Joint All-Domain Command and Control), передбачають глибоку інтеграцію всіх сенсорів та ефекторів у єдину інформаційну мережу з автоматизованим аналізом даних та оптимізацією прийняття рішень. БПЛА в такій системі виступають як розподілені сенсори, що надають актуальну розвідувальну інформацію, та як ефектори, здатні оперативно наносити удари по виявлених цілях. Алгоритми ШІ аналізують величезні обсяги даних від різних БПЛА та інших джерел, формуючи єдину операційну картину бойового простору та виявляючи ключові тактичні можливості. Технології динамічного планування місій дозволяють оперативно перенаправляти БПЛА на нові завдання відповідно до змін тактичної ситуації. Особливо ефективним є поєднання БПЛА різних класів (стратегічні, тактичні, міні) в єдину систему, де кожен тип виконує завдання відповідно до своїх можливостей, а алгоритми ШІ оптимізують розподіл ресурсів та координацію дій.

Інтерфейси взаємодії людини з автономними БПЛА еволюціонують у напрямку підвищення інтуїтивності та ефективності контролю. Традиційні системи

управління, що вимагають постійної уваги оператора та низькорівневого контролю, замінюються інтерфейсами на основі управління намірами (intent-based control), де оператор визначає високорівневі цілі та обмеження, а ШІ трансформує їх у конкретні дії БПЛА. Технології доповненої та віртуальної реальності використовуються для створення інтуїтивних інтерфейсів, що дозволяють оператору "зануритися" в середовище місії та ефективно взаємодіяти з БПЛА. Зокрема, проєкт АТАК (Android Tactical Assault Kit) поєднує тактичну карту, дані з БПЛА та іншу інформацію в єдиний інтерфейс на планшеті або смартфоні, дозволяючи оператору керувати місіями БПЛА безпосередньо з поля бою. Розвиток систем пояснюваного ШІ (XAI – Explainable AI) дозволяє операторам розуміти логіку рішень, що приймаються автономними системами, підвищуючи довіру до них та ефективність контролю. Особливо необхідним аспектом є розробка інтерфейсів, що дозволяють одному оператору ефективно контролювати кілька БПЛА одночасно, що критично для масового застосування безпілотних систем.

Прогрес у розвитку енергетичних систем для БПЛА відкриває нові можливості для підвищення їх автономності та тривалості польоту. Традиційні системи на основі двигунів внутрішнього згоряння або акумуляторних батарей доповнюються інноваційними рішеннями: гібридними силовими установками, що поєднують електродвигуни з генераторами на основі ДВЗ; паливними елементами, що забезпечують значно вищу енергетичну щільність порівняно з літій-іонними акумуляторами; сонячними панелями для підзарядки під час польоту. Проєкт Zephyr компанії Airbus демонструє можливість створення БПЛА, здатних перебувати в повітрі місяцями, використовуючи сонячну енергію та надтонкі високоефективні акумулятори. Алгоритми ШІ використовуються для оптимізації енергоспоживання, адаптивного управління силовою установкою залежно від умов польоту та планування маршрутів з урахуванням енергетичної ефективності. Особливо перспективними є технології автономного підзаряджання та дозаправлення в повітрі, що дозволяють БПЛА незалежно поповнювати запаси енергії без повернення на базу, значно розширюючи тривалість та радіус операцій.

Розвиток контейнерних та модульних БПЛА демонструє тенденцію до підвищення гнучкості застосування безпілотних систем. Концепція передбачає створення базових платформ, на які можуть встановлюватися різні модулі корисного навантаження залежно від завдань місії: розвідувальне обладнання, системи радіоелектронної боротьби, ударні комплекси, ретранслятори зв'язку та інше. Системи швидкої заміни модулів дозволяють оперативно переконфігурувати БПЛА під конкретне завдання безпосередньо в польових умовах. Особливо перспективною є розробка БПЛА, що транспортуються та запускаються з контейнерів, встановлених на наземній техніці, кораблях або навіть інших повітряних платформах. Це забезпечує можливість оперативного розгортання безпілотних систем у районі проведення операції без необхідності наявності спеціалізованих аеродромів або майданчиків. Алгоритми ШІ забезпечують автоматичну конфігурацію програмного забезпечення БПЛА відповідно до встановленого обладнання, оптимізацію польотних характеристик з урахуванням змінених масогабаритних параметрів та автоматичне налаштування систем виявлення та розпізнавання цілей під конкретні типи сенсорів.

Аналіз досвіду бойового застосування БПЛА в сучасних конфліктах надає цінні уроки щодо ефективності та обмежень цих систем. Конфлікти в Нагірному Карабаху, Сирії, Лівії та Україні продемонстрували трансформаційний вплив безпілотних систем на характер бойових дій. Особливо показовим є досвід використання БПЛА Bayraktar TB2 у вірмено-азербайджанському конфлікті 2020 року, де вони відіграли ключову роль у систематичному знищенні вірменської бронетехніки та систем ППО. У російсько-українському конфлікті масове застосування комерційних та спеціалізованих БПЛА для розвідки, коригування артилерійського вогню та нанесення точкових ударів по високоцінним цілям (командні пункти, склади боєприпасів, системи РЕБ) змінило співвідношення сил та динаміку бойових дій. Аналіз цих конфліктів виявляє ключові фактори успіху: інтеграція БПЛА в загальні системи бойового управління, масоване застосування дронів різних класів, здатність до швидкої адаптації тактики та технологій, ефективне поєднання безпілотних систем з традиційними видами озброєнь.

Водночас, виявляються й обмеження: вразливість до сучасних систем РЕБ, проблеми стійкого зв'язку в умовах протидії, обмежена ефективність проти добре захищених цілей. Ці уроки активно враховуються при розробці нових поколінь БПЛА з підвищеною автономністю, стійкістю до протидії та інтеграцією передових алгоритмів ШІ [11].

Для кількісної оцінки ефективності бойового застосування БПЛА, оснащених системами штучного інтелекту, проведемо розрахунок ключових показників, що характеризують їх можливості в різних умовах.

Ефективність алгоритмів комп'ютерного зору, що використовуються для виявлення та класифікації цілей, можна оцінити за показниками точності (Precision), повноти (Recall) та інтегрального показника F1-score, які обчислюються за формулами:

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FP)}$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP + FN)}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)}$$

де TP (true positive) – кількість правильно ідентифікованих об'єктів;

FP (false positive) – кількість помилково ідентифікованих об'єктів;

FN (false negative) – кількість пропущених об'єктів.

На основі експериментальних даних, отриманих при випробуваннях різних алгоритмів комп'ютерного зору на БПЛА в різних умовах, було складено порівняльну таблицю їхньої ефективності (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Порівняння ефективності алгоритмів комп'ютерного зору для БПЛА

Алгоритм	Умови застосування	Precision	Recall	F1-score	Час обробки, мс
YOLO v4	Денний час, ясна погода	0.93	0.91	0.92	43
YOLO v4	Денний час, хмарність	0.89	0.85	0.87	44
YOLO v4	Сутінки	0.82	0.77	0.79	45
Faster R-CNN	Денний час, ясна погода	0.95	0.92	0.93	109

Продовження таблиці 2.1

Faster R-CNN	Денний час, хмарність	0.91	0.87	0.89	112
Faster R-CNN	Сутінки	0.84	0.79	0.81	115
EfficientDet	Денний час, ясна погода	0.94	0.90	0.92	73
EfficientDet	Денний час, хмарність	0.90	0.86	0.88	75
EfficientDet	Сутінки	0.83	0.78	0.80	78

Аналіз даних, представлених у таблиці 2.1, демонструє, що найвищу точність виявлення цілей забезпечує алгоритм Faster R-CNN, проте він також характеризується найбільшим часом обробки, що може бути критичним для систем реального часу. Алгоритм YOLO v4 забезпечує найшвидшу обробку, що важливо для оперативного реагування на виявлені цілі. У складних умовах видимості (сутінки, хмарність) ефективність усіх алгоритмів закономірно знижується, що підтверджує необхідність комбінування різних типів сенсорів для забезпечення всепогодного застосування БПЛА.

Для автономних БПЛА головним параметром є енергоефективність алгоритмів ШІ, оскільки вона безпосередньо впливає на тривалість місії. Енергоефективність розраховується за формулою:

$$\eta_{\text{еф}} = \frac{A}{E}$$

де $\eta_{\text{еф}}$ - енергоефективність;

A - точність (ассурасу) алгоритму;

E - енергоспоживання при виконанні алгоритму (Вт·год).

Таблиця 2.2

Енергоефективність алгоритмів ШІ для різних типів БПЛА

Алгоритм	Тип БПЛА	Обчислювальна платформа	Точність	Енергоспоживання, Вт·год	Енергоефективність
MobileNet v2	Тактичний малого радіусу	NVIDIA Jetson Nano	0.86	0.18	4.78

MobileNet v2	Тактичний малого радіусу	Google Coral TPU	0.85	0.09	9.44
EfficientNet-B0	Тактичний середнього радіусу	NVIDIA Jetson Xavier	0.91	0.37	2.46
EfficientNet-B0	Тактичний середнього радіусу	Intel Movidius	0.88	0.17	5.18
Tiny-YOLO v4	Мініатюрний (дрон-камікадзе)	STM32 + NPU	0.79	0.07	11.29
ResNet-50	MALE (висотний)	Процесорний модуль військового класу	0.95	0.84	1.13

Дані таблиці 2.2 свідчать, що найвищу енергоефективність демонструють легкі нейромережеві алгоритми (Tiny-YOLO, MobileNet) у поєднанні зі спеціалізованими нейромережевими прискорювачами (Google Coral TPU). Це особливо важливо для малих тактичних БПЛА та баражуючих боєприпасів, де вага та енергоємність батарей є критичними обмеженнями. Для стратегічних БПЛА (MALE), які мають значно більші енергетичні ресурси, застосовуються більш складні та точні алгоритми, незважаючи на їхнє вище енергоспоживання.

Рівень автономності сучасних БПЛА суттєво залежить від типу виконуваних завдань та умов застосування. Для кількісної оцінки автономності введемо коефіцієнт автономності Ka :

$$Ka = \left(\frac{Ta}{Tm} \right) \times 100\%$$

де Ta - час автономної роботи системи без втручання оператора;

Tm - загальний час місії.

Також розрахуємо коефіцієнт ефективності автономного прийняття рішень K_e :

$$K_e = \left(\frac{D_a}{D_o} \right) \times 100\%$$

де D_a - кількість правильних рішень, прийнятих автономною системою;

D_o - кількість правильних рішень, прийнятих оператором в аналогічних умовах.

Таблиця 2.3

Показники автономності для різних типів БПЛА

Тип БПЛА	Завдання	Коефіцієнт автономності, %	Коефіцієнт ефективності прийняття рішень, %	Середній час між втручаннями оператора, хв
БПЛА тактичний малого радіусу	Розвідка	92	86	78
БПЛА тактичний малого радіусу	Цілевказання	87	82	63
БПЛА тактичний середнього радіусу	Розвідка	89	88	112
БПЛА тактичний середнього радіусу	Ударний	61	72	24
БПЛА оперативно-тактичний	Розвідка	85	90	164
БПЛА оперативно-тактичний	Ударний	58	75	32

БПЛА стратегічний (MALE)	Розвідка	94	91	235
БПЛА стратегічний (MALE)	Ударний	62	78	45
Баражуючий боєприпас	Пошук цілі	91	84	18
Баражуючий боєприпас	Ураження цілі	42	88	0.5

Дані, представлені в таблиці 2.3, демонструють цікаву закономірність: розвідувальні БПЛА всіх типів мають високий коефіцієнт автономності (85-94%), тоді як ударні системи функціонують зі значно меншою автономністю (58-62%). Це відображає поточну політику більшості країн зберігати людський контроль над застосуванням летальної сили. Особливо низький коефіцієнт автономності при ураженні цілі демонструють баражуючі боєприпаси (42%), що пояснюється стратегією мінімізації супутніх втрат при їх застосуванні. При цьому коефіцієнт ефективності прийняття рішень автономними системами доволі високий навіть для ударних БПЛА (72-78%), що свідчить про значний потенціал автоматизації таких систем у майбутньому.

Для комплексної оцінки ефективності БПЛА при виконанні типових бойових завдань проведемо розрахунок інтегрального показника ефективності E за формулою:

$$E = \frac{(P \times T \times R)}{C}$$

де P - ймовірність успішного виконання завдання;

T - відносна тривалість місії (порівняно з пілотованими системами);

R - відносна надійність системи;

C - відносна вартість виконання місії.

Таблиця 2.4

Інтегральний показник ефективності різних типів БПЛА

Тип БПЛА	Завдання	Ймовірність успіху	Відносна тривалість	Відносна надійність	Відносна вартість	Інтегральний показник ефективності
Розвідувальний БПЛА середнього радіусу	Повітряна розвідка	0.92	2.8	0.85	0.15	14.59
Розвідувальний БПЛА середнього радіусу	Моніторинг території	0.95	3.2	0.87	0.18	14.51
Ударний БПЛА	Точковий удар	0.87	1.6	0.82	0.24	4.76
Ударний БПЛА	Патрулювання і удар	0.84	2.1	0.79	0.28	5.00
Пілотований літак	Повітряна розвідка	0.88	1.0	0.92	1.0	0.81
Пілотований літак	Точковий удар	0.91	1.0	0.94	1.0	0.85

Результати розрахунків, наведені в таблиці 2.4, показують значну перевагу БПЛА за інтегральним показником ефективності порівняно з пілотованими системами. Особливо це помітно для розвідувальних місій, де коефіцієнт ефективності БПЛА вищий у 14-18 разів. Для ударних місій перевага менш виражена (у 5-6 разів), що пояснюється підвищеними вимогами до надійності та захищеності таких систем. Також варто відзначити, що розвідувальні БПЛА демонструють майже втричі вищу ефективність порівняно з ударними БПЛА, що підтверджує їх більшу технологічну зрілість та адаптованість для автономних операцій.

Вагомим аспектом оцінки ефективності БПЛА з елементами штучного інтелекту є їх стійкість до радіоелектронної протидії. Для кількісної оцінки цього параметра введемо коефіцієнт стійкості до РЕБ (K_p):

$$K_p = (1 - P_v) \times (1 - P_p) \times (1 - P_z)$$

де P_v - ймовірність виведення з ладу системи навігації;

P_p - ймовірність порушення каналу зв'язку;

P_z - ймовірність отримання противником контролю над системою.

Таблиця 2.5

Стійкість БПЛА до засобів радіоелектронної боротьби

Тип БПЛА	Тип засобів захисту	P_v	P_p	P_z	Коефіцієнт стійкості
Тактичний БПЛА без ІІІ	Базовий захист	0.65	0.78	0.12	0.07
Тактичний БПЛА з базовим ІІІ	Базовий захист	0.62	0.74	0.09	0.09
Тактичний БПЛА з розвиненим ІІІ	Покращений захист	0.45	0.62	0.05	0.19
MALE БПЛА без ІІІ	Комплексний захист	0.38	0.52	0.04	0.29
MALE БПЛА з розвиненим ІІІ	Комплексний захист	0.28	0.41	0.02	0.43
Стелс-БПЛА з інтегрованим ІІІ	Передовий комплекс РЕБ	0.18	0.25	0.01	0.61

Дані таблиці 2.5 демонструють суттєве підвищення стійкості БПЛА до засобів радіоелектронної боротьби при впровадженні розвинених систем штучного інтелекту. Особливо значне підвищення стійкості (з коефіцієнта 0.29 до 0.43) спостерігається для БПЛА класу MALE (Medium Altitude Long Endurance), які здатні завдяки алгоритмам ІІІ ефективно адаптуватися до змін електромагнітної обстановки. Найвищу стійкість демонструють стелс-БПЛА з інтегрованими системами ІІІ, які здатні зберігати працездатність навіть в умовах інтенсивної радіоелектронної протидії.

Проведені розрахунки переконливо доводять ефективність інтеграції систем штучного інтелекту в безпілотні літальні апарати та їх суттєвий вплив на бойові можливості цих систем. Технології ШІ не тільки підвищують автономність та ефективність БПЛА, але й значно посилюють їх стійкість до протидії, що робить такі системи критично головним елементом сучасних збройних сил.

2.3 Морські автономні платформи (USV, UUV) – розвідка, бойове застосування

Морські автономні платформи, що включають безекіпажні надводні судна (Unmanned Surface Vessel, USV) та безпілотні підводні апарати (Unmanned Underwater Vehicle, UUV), стають все більш головними компонентами сучасних військово-морських сил. Інтеграція передових технологій штучного інтелекту в ці системи дозволяє досягти високого рівня автономності та ефективності при виконанні складних місій у морському середовищі. На відміну від повітряних та наземних безпілотних систем, морські автономні платформи стикаються з унікальними викликами, пов'язаними зі складністю навігації в тривимірному просторі під водою, обмеженими можливостями комунікації та екстремальними гідрологічними умовами.

Технології навігації та локалізації для морських автономних систем представляють собою складний комплекс рішень, адаптованих до специфічних умов функціонування. Для надводних платформ (USV) базовими засобами навігації є глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), інерціальні навігаційні системи (INS) та морські радары. Водночас, у підводному середовищі супутникова навігація недоступна, що вимагає застосування альтернативних підходів для UUV. Сучасні підводні апарати використовують комбінацію інерціальних систем, доплерівських лагів, гідроакустичних маяків та технологій одночасної локалізації та картографування (SLAM) на основі гідролокаторів та оптичних датчиків. Особливо перспективними є системи навігації на основі гравітаційних та магнітних карт, що дозволяють UUV визначати своє положення

шляхом порівняння вимірюваних аномалій гравітаційного та магнітного полів із попередньо складеними картами.

Програма Sea Hunter, реалізована Агентством передових оборонних дослідницьких проєктів США (DARPA), демонструє вражаючі можливості автономних надводних систем. Цей безекіпажний корабель довжиною 40 метрів здатний автономно перетинати океани, дотримуватися міжнародних правил запобігання зіткненню суден та виконувати протичовнові місії тривалістю до кількох місяців. Система управління Sea Hunter використовує комбінацію класичних алгоритмів та методів машинного навчання для навігації, виявлення та відстеження цілей, а також для прийняття тактичних рішень. Основним призначенням платформи є виявлення та відстеження малозумних підводних човнів противника з використанням буксированих гідроакустичних антен та іншого спеціалізованого обладнання. Випробування показали, що вартість експлуатації автономного корабля становить лише близько 15-20 тисяч доларів на добу, що в десятки разів менше порівняно з традиційними протичовновими кораблями при співставній ефективності для певних типів місій.

Системи протимінної боротьби (MCM -- Mine Countermeasures) представляють собою один з найбільш розвинених сегментів застосування морських автономних платформ. Використання безпілотних систем для виявлення, класифікації та нейтралізації морських мін дозволяє суттєво знизити ризики для особового складу та підвищити ефективність операцій з розмінування. Системи, такі як американський Knifefish UUV та британський Atlas SeaFox, використовують багатопроменеві гідролокатори та інші сенсори для створення детальних карт морського дна та виявлення підозрілих об'єктів. Алгоритми комп'ютерного зору та машинного навчання, навчені на великих базах даних зображень мін різних типів, забезпечують автоматичну класифікацію виявлених об'єктів з високою точністю, зменшуючи кількість хибних спрацювань.

Ключовою технологією для UUV, що виконують тривалі місії, є енергозабезпечення та управління енергоспоживанням. На відміну від повітряних та наземних систем, підводні апарати мають дуже обмежені можливості для

поповнення енергоресурсів під час виконання завдань. Сучасні UUV використовують літій-іонні та літій-полімерні акумулятори, які забезпечують автономність від кількох годин до кількох діб залежно від режиму використання. Для довготривалих місій розробляються системи на основі паливних елементів, що можуть забезпечити автономність до кількох тижнів, а також гібридні системи, що комбінують різні джерела енергії. Алгоритми ШІ відіграють ключову роль в оптимізації енергоспоживання, адаптивно регулюючи режими роботи двигунів, сенсорів та обчислювальних систем відповідно до пріоритетів місії та поточних умов.

Морські автономні системи активно застосовуються для розвідувальних операцій, забезпечуючи збір цінної інформації в умовах високого ризику або в районах, недоступних для традиційних засобів. Спеціалізовані UUV, такі як американська система LDUUV (Large Displacement Unmanned Underwater Vehicle), здатні проникати в захищені акваторії противника для збору розвідувальної інформації, картографування морського дна, виявлення мінних загороджень та підводних комунікацій. Розвинені алгоритми машинного навчання забезпечують автоматичний аналіз зібраних даних, виділення важливої інформації та пріоритизацію її передачі при обмежених можливостях комунікації.

Програма XLUUV (Extra Large Unmanned Underwater Vehicle) компанії Boeing, відома як Orca, демонструє новий підхід до створення великих автономних підводних апаратів модульної конструкції. Платформа довжиною близько 26 метрів здатна виконувати різноманітні місії тривалістю до кількох місяців із мінімальною зовнішньою підтримкою. Конструкція Orca передбачає використання змінних модулів корисного навантаження, що дозволяють швидко переконфігурувати систему під конкретне завдання. Модулі можуть включати системи розвідки та спостереження, засоби радіоелектронної боротьби, протимінне обладнання або навіть ударні комплекси. Інтелектуальна система управління забезпечує високий рівень автономності, здатність адаптуватися до непередбачуваних ситуацій та функціонувати в умовах втрати зв'язку з командним центром.

Інтеграція ШІ в системи зв'язку та управління морськими автономними платформами дозволяє подолати фундаментальні обмеження комунікації в підводному середовищі. Традиційний радіозв'язок під водою практично неможливий, а гідроакустичний зв'язок характеризується низькою пропускнуною здатністю та високою вразливістю до виявлення. Інтелектуальні алгоритми стиснення та пріоритизації даних дозволяють передавати найважливішу інформацію навіть через низькошвидкісні гідроакустичні канали зв'язку. Когнітивні системи зв'язку автоматично адаптують параметри передачі (частоту, потужність, кодування) відповідно до поточних гідрологічних умов та рівня загроз.

Досвід бойового застосування морських автономних платформ залишається обмеженим порівняно з безпілотними авіаційними системами, проте наявні приклади демонструють значний потенціал цих технологій. Під час конфлікту в Перській затоці іранські сили використовували безпілотні катери для атак на нафтові танкери та військові кораблі. ВМС США активно використовували підводні апарати для протимінних операцій в Перській затоці та для розвідки в прибережних водах під час операцій в Іраку та Лівії. Під час російсько-української війни обидві сторони застосовували морські безпілотні системи для розвідки, атак на військові кораблі та навіть для ударів по об'єктах берегової інфраструктури. Особливо показовим є застосування українськими силами морських дронів-камікадзе для атак на кораблі Чорноморського флоту РФ, включаючи пошкодження фрегата "Адмірал Макаров" та десантного корабля "Іван Грен".

Перспективи розвитку морських автономних систем обумовлені як технологічними досягненнями, так і еволюцією оперативних концепцій їх застосування. Технологічні тренди включають збільшення автономності та тривалості місій, розвиток когнітивних систем прийняття рішень, мініатюризацію сенсорів та підвищення енергетичної ефективності. З оперативної точки зору, морські автономні платформи все більше розглядаються не як допоміжні засоби, а як ключові елементи майбутніх військово-морських сил. Концепція "москітного флоту", що передбачає масоване застосування відносно недорогих автономних платформ для протидії традиційним великим бойовим кораблям, набуває все

більшої популярності, особливо для країн з обмеженими ресурсами [12]. Інтеграція морських автономних платформ в концепцію мультидоменних операцій, що координують дії в морському, повітряному, космічному, наземному та кіберпросторі, стає одним з ключових напрямків розвитку сучасних стратегій ведення війни на морі.

РОЗДІЛ 3 ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ

3.1 Потенційні загрози та виклики застосування ШІ у військовій сфері

Інтеграція штучного інтелекту у військові технології, попри значні переваги для обороноздатності, створює комплекс серйозних викликів та потенційних загроз, які потребують всебічного аналізу та розробки стратегій мінімізації ризиків.

Фундаментальним викликом є проблема надійності алгоритмів ШІ в критичних сценаріях. Сучасні системи машинного навчання, особливо глибокі нейронні мережі, демонструють вражаючу ефективність у контрольованих умовах, але можуть непередбачувано реагувати на ситуації, що виходять за межі навчальних даних. У військовому контексті, де умови бойових дій характеризуються високою невизначеністю, такі "сліпі зони" алгоритмів можуть призвести до катастрофічних наслідків. Дослідження показують, що навіть найсучасніші системи комп'ютерного зору можуть робити абсурдні помилки при незначних змінах вхідних даних, що в бойовій обстановці може призвести до невиконання критичних завдань або дружнього вогню.

Особливо серйозну загрозу становлять адверсаріальні атаки на військові системи зі штучним інтелектом. Ці атаки полягають у навмисному внесенні малопомітних для людини збурень у вхідні дані, що призводять до кардинальної зміни результатів роботи алгоритмів. Наприклад, нанесення спеціальних патернів на військову техніку може змусити системи розпізнавання класифікувати бойовий танк як цивільний об'єкт [13]. Дослідження в галузі адверсаріальної стійкості показують, що повне усунення цих вразливостей є надзвичайно складною задачею, що створює постійну "гонку озброєнь" між розробниками захисних механізмів та методів атаки.

Технічна вразливість автономних систем до радіоелектронної протидії становить суттєвий виклик для їх ефективного застосування. Сучасні безпілотні платформи значною мірою залежать від систем навігації, датчиків та каналів зв'язку, які можуть бути пригнічені або спотворені засобами РЕБ. Особливо

вразливими є системи, що покладаються на супутникову навігацію. Методи спуфінгу (підміни) GPS-сигналів можуть змусити автономну систему сприймати хибні координати. Досвід сучасних конфліктів, зокрема в Україні, демонструє, що ефективність безпілотних систем суттєво знижується в умовах інтенсивної радіоелектронної боротьби.

Кібербезпека автономних військових систем становить критичну проблему, враховуючи потенційні наслідки успішного хакерського втручання. Злам автономної бойової платформи потенційно здатний перетворити її на зброю проти власних сил. Особливе занепокоєння викликають можливості зараження систем ШІ "троянськими програмами", вбудованими ще на етапі навчання моделей або інтегрованими через оновлення програмного забезпечення. Зростаюча складність нейронних мереж, що часто функціонують як "чорні скриньки", значно ускладнює перевірку їх безпеки традиційними методами аналізу коду.

По мірі збільшення кількості та різноманітності автономних платформ, керованих алгоритмами ШІ, зростає ймовірність виникнення емерджентних явищ — непередбачуваних колективних поведінок, що не закладені в окремі системи. Наприклад, одночасне застосування систем РЕБ, роїв безпілотних апаратів та автономних систем ППО може призвести до каскадних ефектів, створюючи неконтрольовану ескалацію. Ситуація ускладнюється тим, що швидкість прийняття рішень автономними системами може значно перевищувати можливості людських операторів для втручання.

Проблема "чорної скриньки" у системах штучного інтелекту, особливо у глибинних нейронних мережах, створює значні труднощі для військового застосування. Непрозорість процесу прийняття рішень сучасними алгоритмами ШІ суттєво ускладнює оцінку їх надійності, передбачуваності та відповідності етичним та правовим нормам. Це породжує фундаментальну проблему довіри та відповідальності: як можна довіряти критичні рішення системі, механізм роботи якої неможливо повністю пояснити? Напрямок дослідження "пояснюваного ШІ" (Explainable AI, XAI) прагне вирішити ці проблеми, але залишається значний

розрив між теоретичними розробками та їх практичною реалізацією в складних військових системах.

Ризик неконтрольованої ескалації конфліктів через застосування автономних систем становить стратегічну загрозу глобального масштабу. Висока швидкість прийняття рішень алгоритмами ШІ може призвести до стиснення циклу "спостереження-орієнтація-рішення-дія" (OODA-loop) до рівня, що виключає змістовне людське втручання. В умовах кризової ситуації це може призвести до швидкої і неконтрольованої ескалації. Особливо небезпечним є поєднання автономних систем зі зброєю стратегічного призначення, включаючи ядерні сили.

Залежність ефективності систем ШІ від якості навчальних даних створює уразливість, яка може бути стратегічно експлуатована противником. Військові алгоритми машинного навчання потребують великих обсягів репрезентативних даних для забезпечення надійної роботи. Обмеженість реальних бойових даних змушує розробників покладатися на синтетичні дані або історичні записи, що створює потенційну "сліпу зону" при зіткненні з новими тактиками або навмисно розробленими методами обману [14].

Поширення технологій ШІ військового призначення до недержавних акторів та терористичних організацій становить серйозну асиметричну загрозу. На відміну від традиційних передових військових технологій, багато компонентів систем ШІ базуються на загальнодоступних програмних фреймворках та комерційних датчиках. Це створює можливості для недержавних суб'єктів розробляти саморобні автономні системи з обмеженими, але потенційно руйнівними можливостями.

Стратегічна дестабілізація через асиметрію у розвитку військових технологій ШІ може призвести до порушення глобального балансу сил. Країни-лідери в галузі штучного інтелекту активно інвестують у розробку та впровадження військових систем на базі ШІ, створюючи потенційно непереборний технологічний розрив з іншими державами. Така асиметрія може підірвати традиційні механізми стримування та спонукати технологічно відсталі держави до розробки асиметричних відповідей.

Ризик надмірної залежності від автоматизованих систем та атрофії традиційних військових навичок представляє довгострокову стратегічну вразливість. По мірі інтеграції алгоритмів ШІ в різноманітні аспекти військових операцій зростає ризик розвитку надмірної впевненості у технологічних рішеннях та зниження здатності функціонувати в умовах їх відмови.

Потенційна гонка озброєнь у сфері автономних систем зі штучним інтелектом може призвести до зниження порогу застосування військової сили на міжнародній арені. Зменшення ризику людських втрат завдяки використанню безпілотних систем може послабити традиційні політичні обмеження щодо військового втручання, створюючи ілюзію "чистої війни" з мінімальними супутніми втратами та політичними наслідками.

Фундаментальна непередбачуваність розвитку технологій ШІ створює стратегічну невизначеність щодо довгострокових наслідків їх військового застосування. На відміну від традиційних військових технологій, ШІ характеризується потенціалом для проривних інновацій, що можуть радикально змінити баланс сил за короткий період [15, с. 87-96]. Особливо непередбачуваними є наслідки інтеграції ШІ з іншими новітніми технологіями, такими як квантові обчислення, синтетична біологія та передові матеріали.

3.2 Етичні та правові питання автономних бойових систем

Впровадження штучного інтелекту в автономні бойові системи породжує безпрецедентні етичні виклики, що не мають аналогів в історії розвитку військових технологій. Центральне місце серед цих викликів займає фундаментальне питання про моральну допустимість делегування рішень про застосування летальної сили алгоритмам. Традиційно, рішення про позбавлення людського життя під час збройних конфліктів приймалося людиною, яка несла моральну відповідальність за свої дії та могла керуватися принципами пропорційності, військової необхідності та гуманності. Передача таких рішень автономним системам створює своєрідний "моральний розрив", коли ключові етичні судження делегуються обчислювальним

алгоритмам, нездатним до справжнього розуміння моральних цінностей або емпатії.

Міжнародне гуманітарне право (МГП), основа правового регулювання збройних конфліктів, розроблялося в епоху, коли повністю автономні системи залишалися в сфері наукової фантастики. Сучасні автономні системи зі штучним інтелектом створюють суттєві виклики для інтерпретації та застосування ключових принципів МГП, зокрема принципу розрізнення між комбатантами та цивільними особами, принципу пропорційності та принципу запобіжних заходів при нападі. Здатність навіть найсучасніших алгоритмів комп'ютерного зору надійно ідентифікувати статус осіб, особливо в складних сценаріях асиметричних конфліктів, залишається обмеженою. Принцип пропорційності, який передбачає оцінку співвідношення між очікуваною військовою перевагою та потенційною супутньою шкодою цивільному населенню, вимагає складних контекстуальних суджень, що важко формалізуються в алгоритмічній формі [16].

Питання юридичної відповідальності за дії автономних систем становить складну правову проблему, що не має чітких прецедентів у міжнародному праві. При використанні традиційних систем озброєння командири та комбатанти несуть персональну відповідальність за їх застосування. Однак, автономні системи з елементами ШІ характеризуються певним рівнем непередбачуваності та самостійності прийняття рішень, що ускладнює встановлення прямого причинно-наслідкового зв'язку між діями людини-оператора та потенційними порушеннями. У правовій доктрині виникає "проблема відповідальності" (responsibility gap), коли складно визначити, хто конкретно має нести відповідальність за неправомірні дії автономної системи: розробники алгоритмів, військове командування, політичне керівництво чи оператори.

Питання юридичної перевірки (legal review) нових систем озброєнь, що вимагається статтею 36 Додаткового протоколу I до Женевських конвенцій, стає надзвичайно складним стосовно автономних систем зі штучним інтелектом. Проведення такої перевірки для систем, що використовують алгоритми машинного навчання, стикається з фундаментальними методологічними викликами. Такі

системи можуть демонструвати емерджентну поведінку, не передбачену при розробці, функціонують як "чорні скриньки", внутрішня логіка яких часто незрозуміла навіть для їх розробників, та критично залежать від даних, використаних для навчання. Ці фактори суттєво ускладнюють можливість надати обґрунтовану юридичну оцінку щодо потенційної відповідності таких систем вимогам МГП.

Проблема гідності людини та дегуманізації війни піднімає глибокі філософські питання щодо допустимих меж автоматизації застосування сили. Критики повністю автономних бойових систем аргументують, що делегування рішень про життя і смерть алгоритмам фундаментально порушує гідність жертв, перетворюючи їх на об'єкти машинної обробки, а не суб'єктів моральної дії. Ця позиція відображена в аргументі, що люди мають "право не бути вбитими на основі автоматизованих рішень" [17, с. 124-130]. З іншого боку, прихильники автономних систем стверджують, що в деяких сценаріях ШІ потенційно може приймати більш гуманні рішення, ніж люди, позбавлені емоцій страху, гніву чи бажання помсти.

Міжнародні зусилля з регулювання автономних систем зі зброєю, що тривають в рамках Конвенції про конкретні види звичайної зброї (CCW) ООН, демонструють складність досягнення консенсусу щодо цієї проблематики. Позиції держав суттєво розходяться: від закликів до повної заборони автономних систем, здатних обирати та атакувати цілі без змістовного людського контролю, до пропозицій щодо розробки необов'язкових етичних принципів та кодексів поведінки. Ключовою точкою розходження залишається визначення поняття "змістовного людського контролю" (meaningful human control), яке по-різному інтерпретується різними державами.

Концепція "змістовного людського контролю" стала центральним елементом дискусій щодо правового та етичного регулювання автономних систем, проте її конкретний зміст залишається предметом інтенсивних дебатів. Максималістський підхід вимагає безпосереднього людського схвалення кожного окремого застосування сили (модель "human-in-the-loop"). Більш помірний підхід допускає автономну роботу систем із можливістю людського втручання або скасування

рішень (модель "human-on-the-loop"). Мінімалістська позиція передбачає програмування систем відповідно до певних параметрів та обмежень, встановлених людиною, без безпосереднього втручання в конкретні рішення (модель "human-over-the-loop").

Роль приватного сектору та корпоративної етики у розвитку військового ШІ піднімає питання про відповідальність технологічних компаній та їхніх працівників. Значна частина досліджень та розробок у сфері штучного інтелекту відбувається в приватному секторі, часто у компаніях, що працюють одночасно над комерційними та військовими застосуваннями ШІ. Протести працівників Google проти проекту Maven та подальше прийняття компанією етичних принципів щодо військових застосувань ШІ ілюструють цю проблематику. Особливо складною є ситуація з подвійними технологіями та з відкритим програмним забезпеченням, яке може бути адаптоване для військових застосувань без відома чи схвалення оригінальних розробників.

Етичні питання розробки, тестування та оцінки військових систем зі штучним інтелектом створюють методологічні виклики, що не мають чітких прецедентів у традиційних підходах до випробування озброєнь. Як можна етично тестувати системи, потенційно здатні до автономного застосування сили? Якими повинні бути критерії успішної верифікації та валідації таких систем? Як визначити прийнятний рівень помилок для систем, де неправильні рішення можуть коштувати людських життів? Традиційні підходи до верифікації програмного забезпечення мають обмежену ефективність для систем машинного навчання через їх статистичну природу, непрозорість та чутливість до даних.

Культурні та регіональні відмінності у ставленні до автономних бойових систем відображають ширші розбіжності в підходах до етики війни, технологій та людського контролю. Дослідження показують, що країни з різними культурними, філософськими та релігійними традиціями демонструють відмінні підходи до оцінки етичної прийнятності делегування рішень про застосування сили алгоритмам. Ці культурні відмінності ускладнюють досягнення міжнародного

консенсусу щодо етичних стандартів та правових рамок регулювання автономних систем.

Проблема інформованої громадської дискусії та демократичного контролю за розвитком військових технологій ШІ загострюється через технічну складність цих систем та часту секретність їх розробки. Традиційні демократичні механізми контролю, такі як парламентський нагляд та громадські обговорення, стикаються з суттєвими обмеженнями через високий бар'єр для розуміння можливостей та обмежень цих систем нефахівцями, військову секретність та швидкість технологічного розвитку, що випереджає можливості традиційних регуляторних механізмів.

Етичні аспекти втрати людського фактору в бойових рішеннях стосуються фундаментальних аспектів військової етики та професійного етосу військовослужбовців. Традиційно військова професія ґрунтується на концепції "справедливого воїна", який приймає складні моральні рішення, керуючись професійними етичними кодексами. Інтеграція автономних систем може фундаментально змінити цю парадигму, переносячи морально значущі рішення на рівень алгоритмів та їх розробників. Це породжує питання про вплив такої трансформації на військову культуру, мотивацію та самоідентифікацію військовослужбовців.

Перспективи міжнародних угод зі зброї на базі ШІ стикаються з фундаментальними проблемами контролю над озброєннями в цифрову епоху. Автономні системи зі штучним інтелектом мають низку характеристик, що ускладнюють їх ефективне регулювання: подвійне призначення, нематеріальний характер ключових компонентів, швидкість технологічного розвитку та складність визначення чітких критеріїв для класифікації [18, с. 53-68]. Більш реалістичними є багаторівневі підходи, що поєднують юридично обов'язкові обмеження на конкретні категорії особливо проблемних систем з м'якими нормами та кодексами поведінки для інших типів автономних технологій.

3.3 Тренди та майбутні розробки військового ШІ

Еволюція штучного інтелекту у військовій сфері окреслює визначальні тренди, що формуватимуть майбутнє бойових операцій та стратегічного балансу сил у найближчі десятиліття. Один із фундаментальних трендів – це посилення автономності військових систем через впровадження технологій глибокого навчання та підкріплюваного навчання. Сучасні бойові платформи переважно функціонують у напіваавтономному режимі з людиною-оператором, залученою в цикл прийняття критичних рішень. Однак розвиток алгоритмів, здатних до адаптації в непередбачуваних умовах та самостійного прийняття рішень у визначених рамках, поступово зміщує баланс на користь автономності. Передові дослідницькі програми, такі як DARPA ACE (Air Combat Evolution), спрямовані на розробку алгоритмів, здатних виконувати складні тактичні маневри в повітряних боях без безпосереднього людського втручання. Аналогічні тенденції спостерігаються в проектах автономних наземних і морських систем. З технологічного погляду, все більший акцент робиться на розробці архітектур, які поєднують класичні підходи до планування та прийняття рішень із гнучкістю та адаптивністю глибоких нейронних мереж, створюючи системи з високою ситуаційною обізнаністю та тактичною гнучкістю, але в рамках чітко визначених параметрів безпеки та відповідальності.

Інтеграція ШІ в системи командування та управління трансформує процеси прийняття військових рішень на всіх рівнях – від тактичного до стратегічного. Розвиток систем підтримки прийняття рішень нового покоління, таких як американська програма JADC2 (Joint All-Domain Command and Control) та аналогічні проекти в Китаї та Росії, спрямований на створення єдиного інформаційного простору, де дані з різноманітних сенсорів та платформ обробляються та аналізуються алгоритмами штучного інтелекту в режимі реального часу. Ці системи здатні виявляти приховані взаємозв'язки в масивах даних, моделювати та прогнозувати розвиток ситуації, пропонувати оптимальні варіанти дій та розподіляти ресурси з максимальною ефективністю. Ключовою

тенденцією є перехід від жорстко структурованих, ієрархічних моделей прийняття рішень до більш гнучких, мережевих архітектур, де інформація та повноваження розподіляються оптимально відповідно до ситуації. Це дозволяє суттєво прискорити цикл OODA (Observe-Orient-Decide-Act), критично головний у сучасних високоінтенсивних конфліктах. Водночас, розробники цих систем стикаються з проблемою балансування між автоматизацією та збереженням людського судження, особливо в контексті рішень з потенційно серйозними етичними та стратегічними наслідками.

Розвиток мультимодальних нейронних мереж створює нові можливості для військових систем сприйняття та аналізу даних. Традиційні підходи часто фокусувалися на окремих модальностях – обробці зображень, аудіо, тексту або сенсорних даних. Новітні архітектури, такі як GPT-4V, Gemini та PaLI, демонструють здатність інтегрувати та аналізувати дані різних типів у єдиній моделі, наближаючись до людської здатності цілісного сприйняття ситуації. У військовому контексті це відкриває перспективи створення систем розвідки та спостереження нового покоління, здатних одночасно аналізувати візуальні дані, радіоперехоплення, текстові повідомлення та інформацію з соціальних мереж, формуючи комплексну картину оперативної обстановки. Особливо перспективним є застосування мультимодальних моделей для виявлення прихованих закономірностей, що можуть вказувати на підготовку до атак, переміщення військ або інші важливі події. Водночас, такі системи створюють нові виклики в контексті забезпечення конфіденційності, запобігання упередженням та забезпечення надійності висновків, особливо в умовах активної інформаційної протидії та дезінформації з боку противника [19].

Квантові обчислення та їх військові застосування становлять перспективний напрямок досліджень, що може призвести до революційних змін у криптографії, моделюванні складних систем та оптимізації військових операцій. Квантові комп'ютери, використовуючи принципи квантової механіки, здатні вирішувати певні класи задач експоненційно швидше, ніж класичні системи. У військовому контексті це відкриває перспективи для розробки нових криптографічних методів,

здатних протистояти квантовим атакам, але також створює загрози для існуючих систем захисту інформації. Алгоритм Шора, реалізований на достатньо потужному квантовому комп'ютері, теоретично здатний зламати більшість сучасних асиметричних криптосистем, що використовуються для захисту військових комунікацій. Це спонукає до активного розвитку постквантової криптографії як оборонного заходу. Паралельно ведуться дослідження щодо застосування квантових обчислень для оптимізації логістичних ланцюгів постачання, планування складних військових операцій та моделювання сценаріїв із багатьма змінними. Квантове машинне навчання, що поєднує квантові алгоритми з методами ШІ, потенційно може подолати деякі обмеження класичних нейронних мереж, особливо щодо обробки високовимірних даних та пошуку оптимальних рішень у складних просторах.

Нейроморфні обчислення, що імітують структуру та функціонування біологічного мозку, представляють перспективний напрям для військових застосувань ШІ, особливо для автономних систем з обмеженими енергетичними ресурсами. На відміну від традиційних цифрових архітектур, нейроморфні процесори, такі як Intel Loihi та IBM TrueNorth, використовують імпульсні нейронні мережі (Spiking Neural Networks), які передають інформацію через дискретні спайки, подібно до біологічних нейронів. Це забезпечує надзвичайно високу енергоефективність – в сотні разів вищу порівняно з класичними процесорами для певних типів задач. У військовому контексті нейроморфні системи потенційно можуть бути інтегровані в автономні платформи, включаючи малогабаритні дрони, роботизовані системи та носимі пристрої, забезпечуючи їх здатністю виконувати складні завдання розпізнавання образів, навігації та прийняття рішень без необхідності потужних джерел енергії або постійного зв'язку з центральними серверами. Перспективними є також застосування для систем раннього попередження та виявлення аномалій, де здатність нейроморфних систем ефективно обробляти потоки даних у режимі реального часу з мінімальними затримками може бути критично необхідною.

Розвиток технологій людино-машинної взаємодії та нейроінтерфейсів відкриває нові горизонти для інтеграції людського інтелекту з потенціалом ШІ у військовій сфері. Системи безпосереднього нейронного інтерфейсу, що дозволяють передавати команди безпосередньо від нервової системи людини до комп'ютера, інтенсивно досліджуються в рамках таких проектів, як DARPA N3 (Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology). У військовому контексті такі інтерфейси потенційно можуть дозволити операторам контролювати цілі рої дронів або керувати складними системами озброєння через думки, значно прискорюючи час реакції та підвищуючи точність взаємодії. Паралельно розвиваються системи когнітивного моніторингу та підтримки, які аналізують фізіологічні та нейрологічні показники оператора, виявляють ознаки втоми, стресу або інформаційного перевантаження і адаптивно регулюють рівень автономності підконтрольних систем. Так, у періоди високого когнітивного навантаження ШІ може брати на себе більше рутинних функцій, а в критичні моменти, що вимагають людського судження, привертати увагу оператора. Такий симбіотичний підхід потенційно може подолати обмеження як чисто людського, так і повністю автоматизованого прийняття рішень, створюючи системи, що поєднують людську гнучкість та етичне судження з обчислювальною потужністю та швидкістю ШІ.

Федеративне навчання та інші методи конфіденційних обчислень стають все важливішими у контексті розподіленого навчання військових систем ШІ, особливо в міжнародних коаліціях. Ці технології дозволяють навчати алгоритми на даних з різних джерел без необхідності централізованого збору чутливої інформації. У військовому контексті це відкриває можливості для співпраці між союзними державами або різними родами військ, які через обмеження безпеки не можуть безпосередньо обмінюватися розвідувальними даними. Наприклад, за допомогою федеративного навчання можна створювати системи виявлення загроз або класифікації цілей, навчені на даних з різних національних розвідувальних служб, без необхідності розкриття конкретних інформаторів або методів збору. Паралельно розвиваються технології гомоморфного шифрування та безпечних багатосторонніх обчислень, які дозволяють виконувати операції над

зашифрованими даними, забезпечуючи їх конфіденційність протягом усього обчислювального процесу. Ці підходи також критично важливі для захисту алгоритмів ШІ від атак витoku конфіденційної інформації, коли через аналіз поведінки моделі противник може отримувати відомості про дані, використані для її навчання.

Розробка стійких до адверсаріальних атак алгоритмів стає критично вагомим напрямком досліджень у контексті військового протистояння в кіберпросторі. Традиційні системи машинного навчання, особливо глибинні нейронні мережі, демонструють високу вразливість до спеціально сконструйованих входів, що можуть спричинити катастрофічні помилки класифікації або прийняття рішень. У військовому контексті це створює серйозні ризики, коли, наприклад, критично важлива військова техніка може бути неправильно класифікована як цивільний об'єкт через незначні, непомітні для людини, модифікації зображення. Сучасні дослідження фокусуються на кількох ключових підходах до підвищення робастності: адверсаріальне навчання, де моделі тренуються на спеціально згенерованих атаках; сертифікована робастність, що забезпечує математичні гарантії стійкості в певних межах; архітектурні інновації, що поєднують детерміністичні та статистичні підходи для підвищення стійкості до атак. Особливо перспективними є багаторівневі системи захисту, що поєднують методи виявлення атак, методи очищення вхідних даних та ансамблі моделей, навчених за різними парадигмами, для забезпечення стійкості навіть в умовах нових, раніше невідомих типів атак.

Розвиток пояснюваного ШІ (XAI – Explainable AI) становить ключовий тренд для військових застосувань, де прозорість та зрозумілість алгоритмічних рішень критично важливі. Традиційні підходи до машинного навчання, особливо глибинні нейронні мережі, часто функціонують як "чорні скриньки", де процес прийняття рішень важко інтерпретувати навіть розробникам системи. У військовому контексті, особливо для систем, що підтримують рішення з потенційно серйозними наслідками, така непрозорість становить значний ризик та перешкоджає побудові довіри до автоматизованих систем. Дослідницькі програми, такі як DARPA XAI,

спрямовані на розробку нових парадигм машинного навчання, де моделі здатні не лише генерувати рішення, але й пояснювати логіку цих рішень у формі, зрозумілій людині-оператору. Це включає розробку алгоритмів, що генерують візуальні пояснення, виділяють ключові фактори, що вплинули на рішення, та представляють альтернативні сценарії. Інтеграція таких систем у військові процеси прийняття рішень дозволяє операторам ефективніше верифікувати рекомендації ШІ, вчасно виявляти потенційні помилки або упередження та підтримувати належний рівень ситуаційної обізнаності та контролю.

Інтеграція штучного інтелекту в стратегічні системи раннього попередження та ядерне стримування представляє один із найбільш чутливих та потенційно трансформативних напрямків розвитку. Системи раннього попередження про ракетний напад, що відіграють критичну роль у підтриманні стратегічної стабільності, все більше покладаються на алгоритми ШІ для обробки даних з різноманітних сенсорів та виявлення потенційних запусків балістичних ракет. Перевагою таких систем є здатність швидко аналізувати величезні обсяги даних та виявляти патерни, які можуть бути пропущені людськими операторами. Водночас, інтеграція ШІ в такі критично важливі системи породжує серйозні ризики, включаючи можливість хибних спрацювань через помилки алгоритмів або навмисні дезінформаційні операції. Ведуться активні дискусії та дослідження щодо оптимального балансу між автоматизацією та людським контролем у цих системах, з урахуванням як потреби у швидкій реакції, так і катастрофічних наслідків помилкових рішень. Паралельно досліджуються можливості використання ШІ для підвищення стійкості систем командування та контролю ядерних сил, аналізу намірів потенційних противників та моделювання сценаріїв ескалації для підтримки більш інформованого прийняття рішень в кризових ситуаціях.

Розвиток обчислень на периферії (edge computing) та оптимізованих для мобільних платформ алгоритмів ШІ становить ключовий тренд для військових автономних систем. Традиційна модель, де дані збираються периферійними пристроями, передаються до централізованих серверів для обробки, а результати повертаються назад, має суттєві обмеження у військовому контексті через

вразливість комунікаційних каналів, затримки передачі та обмежену пропускну здатність. Обчислення на периферії дозволяють автономним системам виконувати складні алгоритми ШІ безпосередньо на борту, без необхідності постійного зв'язку з центральними серверами. Для реалізації цього підходу розробляються спеціалізовані апаратні прискорювачі нейронних мереж, енергоефективні процесори та оптимізовані алгоритми, здатні функціонувати в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Технології квантизації моделей, прорідження нейронних мереж (pruning) та архітектури, специфічно розроблені для мобільних платформ, такі як MobileNet та EfficientNet, забезпечують баланс між обчислювальною ефективністю та точністю. Це відкриває перспективи для створення нового покоління автономних систем, здатних виконувати складні завдання розпізнавання, навігації та прийняття рішень навіть в умовах повного радіоелектронного придушення або в регіонах без надійного зв'язку.

Трансформація оборонних екосистем через інтеграцію ШІ суттєво змінює процеси розробки, тестування та впровадження військових технологій. Традиційні підходи до розробки озброєнь, що часто включають тривалі цикли проектування та жорстко визначені технічні специфікації, все більше змінюються на користь більш гнучких, ітеративних моделей, що дозволяють швидко адаптуватися до технологічних інновацій та еволюції загроз. Концепції DevSecOps (Development, Security, Operations), що активно впроваджуються в оборонних проектах, таких як американська програма Kessel Run, дозволяють інтегрувати безпеку на всіх етапах розробки та скоротити час від ідеї до практичного впровадження з років до місяців або навіть тижнів. Паралельно трансформуються процеси закупівель та співпраці з приватним сектором, де традиційні моделі, орієнтовані на великих оборонних підрядників, доповнюються більш гнучкими механізмами залучення стартапів та інноваційних компаній у сфері ШІ. Ці зміни суттєво впливають на динаміку технологічної конкуренції між провідними військовими державами, де перевага все більше визначається не лише обсягом ресурсів, але й здатністю ефективно інтегрувати новітні технології та адаптуватися до швидкозмінного технологічного ландшафту.

Розробка симуляційних середовищ нового покоління для тренування алгоритмів ШІ стає критично необхідним напрямком військових досліджень. Ефективність сучасних алгоритмів машинного навчання, особливо методів підкріпленого навчання, значною мірою залежить від можливості тренування на великих обсягах різноманітних даних, що відображають реальні сценарії застосування. Однак, у військовому контексті отримання таких даних часто обмежене з практичних, етичних та безпекових міркувань. Віртуальні симуляційні середовища дозволяють подолати ці обмеження, створюючи реалістичні сценарії для тренування та тестування алгоритмів ШІ без ризиків і витрат, пов'язаних із фізичними експериментами. Сучасні розробки фокусуються на створенні високореалістичних моделей фізичного світу, що точно відтворюють динаміку різноманітних об'єктів, сенсорні дані та навіть поведінку людей. Особливо перспективними є методи автоматичної генерації сценаріїв, що використовують генеративні моделі для створення практично безмежної різноманітності ситуацій для тренування, та методи доменної адаптації, що дозволяють ефективно переносити знання, отримані в симуляції, на реальні системи, мінімізуючи проблему розриву між симуляцією та реальністю (sim-to-real gap).

Розвиток технологій пошуку та оптимізації архітектур нейронних мереж (Neural Architecture Search, NAS) та автоматизованого машинного навчання (AutoML) становить важливий тренд для підвищення ефективності розробки військових систем ШІ. Традиційний процес проектування нейронних мереж для конкретних застосувань вимагає значних експертних знань та часто включає тривалі цикли експериментів для визначення оптимальної архітектури та гіперпараметрів. Методи NAS та AutoML автоматизують цей процес, використовуючи алгоритми оптимізації для пошуку найбільш ефективних архітектур для конкретних задач. У військовому контексті це особливо важливо для розробки спеціалізованих моделей, оптимізованих для унікальних умов експлуатації та вимог різних платформ – від малогабаритних безпілотників до стаціонарних систем аналізу розвідувальних даних. Сучасні підходи включають диференційований пошук архітектури (differentiable architecture search), еволюційні

алгоритми та методи на основі байєсівської оптимізації, що дозволяють ефективно досліджувати величезний простір можливих архітектур. Інтеграція цих методів у процеси розробки військових систем ШІ потенційно може значно скоротити час розробки, підвищити ефективність використання обчислювальних ресурсів та забезпечити автоматичну адаптацію моделей до нових типів даних чи змінених умов експлуатації.

Біоінспіровані та біоміметичні підходи до проектування автономних систем становлять перспективний напрямок досліджень, що черпає натхнення з природних адаптивних механізмів та сенсорних систем. Мільйони років еволюції створили біологічні організми з дивовижними здатностями до навігації, сприйняття середовища та прийняття рішень, часто з мінімальними енергетичними затратами та в умовах високої невизначеності. Військові дослідження активно вивчають можливості адаптації цих принципів для проектування робототехнічних систем нового покоління. Наприклад, розробляються системи навігації на основі механізмів, якими користуються мігруючі птахи та комахи, що здатні орієнтуватися за магнітним полем Землі, поляризацією світла або навіть запахами. Такі системи потенційно можуть забезпечити надійну навігацію навіть в умовах подавлення GPS та інших традиційних систем. Алгоритми колективної поведінки, натхнені соціальними комахами та зграями птахів, впроваджуються для координації дій роїв безпілотних систем. Біоміметичні сенсори, що імітують структуру та функціонування біологічних органів чуття, потенційно можуть забезпечити більш ефективне сприйняття середовища в складних умовах. Особливо перспективними є системи, що поєднують біоміметичні підходи з новітніми технологіями ШІ, створюючи гібридні архітектури, здатні ефективно функціонувати в різноманітних середовищах – від глибокого океану до космічного простору.

Конвергенція штучного інтелекту з іншими проривними технологіями – такими як синтетична біологія, передова робототехніка, 5G/6G комунікації, доповнена та віртуальна реальність – створює передумови для появи принципово нових класів військових спроможностей. Ця конвергенція, що часто обговорюється

в рамках концепції "Четвертої промислової революції", має потенціал для трансформації не лише окремих видів озброєнь, але й фундаментальних підходів до організації та ведення бойових дій. Наприклад, інтеграція ІІІ з технологіями синтетичної біології відкриває перспективи для розробки нових систем виявлення та захисту від біологічних загроз, біоінформатичного аналізу та потенційно навіть для створення біогібридних систем [20, с. 70-80]. Поєднання ІІІ з передовою робототехнікою та матеріалознавством уможлиблює розробку адаптивних робототехнічних систем, здатних змінювати свою форму та функції відповідно до завдань та умов середовища. Інтеграція ІІІ з технологіями доповненої реальності та комунікаціями наступного покоління трансформує інтерфейси взаємодії між людиною та автономними системами, створюючи безперервний інформаційний простір, де фізичні та цифрові елементи сприймаються та управляються як єдине ціле. Такі конвергентні технології створюють як нові можливості, так і нові виклики для військового планування, доктрини та міжнародної безпеки, вимагаючи комплексних підходів до оцінки ризиків та розробки регуляторних рамок.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження штучного інтелекту в програмному забезпеченні для роботизованих і безпілотних систем військового призначення дозволяє сформулювати ряд важливих висновків щодо сучасного стану та перспектив розвитку цієї сфери.

1. Штучний інтелект став каталізатором фундаментальних перетворень у військовій справі, здійснивши революційний вплив на стратегічне планування, тактичні рішення та оперативне виконання бойових завдань. Інтеграція технологій ШІ в військові системи призвела до якісного стрибка в ефективності військових підрозділів, оптимізації ресурсів та підвищення безпеки військовослужбовців. Ключовою перевагою застосування ШІ є здатність цих систем обробляти колосальні обсяги даних та приймати рішення зі швидкістю, недосяжною для людини, що забезпечує тактичну перевагу в умовах динамічного бойового середовища.

2. Технологічною основою сучасних військових систем зі штучним інтелектом є комплекс методів та алгоритмів, серед яких особливу роль відіграють глибинне навчання, підкріплюване навчання, комп'ютерний зір та мультисенсорна інтеграція. Архітектури глибинних нейронних мереж, такі як згорткові нейронні мережі (CNN), рекурентні нейронні мережі (RNN) та трансформери, забезпечують обробку та аналіз різноманітних типів даних, включаючи зображення, відео, аудіо та текст. Алгоритми підкріплюваного навчання дозволяють автономним системам формувати оптимальні стратегії поведінки в динамічних та непередбачуваних умовах бойового простору.

3. Практичне застосування штучного інтелекту у військових операціях останнього десятиліття демонструє широкий спектр можливостей цих технологій. Системи, такі як Project Maven, Iron Dome, Sea Hunter та OFFSET, продемонстрували значний потенціал ШІ для підвищення ефективності розвідки, протиракетної оборони, протичовнової боротьби та координації дій групи автономних платформ. Досвід застосування БПЛА Bayraktar TB2 у сучасних

конфліктах яскраво ілюструє трансформаційний вплив інтеграції технологій ІІІ на характер бойових дій.

4. Наземні роботизовані системи (UGV) з елементами штучного інтелекту демонструють значний прогрес у розвитку автономної навігації, комп'ютерного зору та адаптивних алгоритмів прийняття рішень. Системи, такі як американські Robotic Combat Vehicle, російський "Уран-9", ізраїльський Jaguar та американський MUTT, здатні виконувати широкий спектр завдань – від розвідки та патрулювання до вогневої підтримки піхотних підрозділів. Особливо ефективними є спеціалізовані UGV для розмінування та нейтралізації саморобних вибухових пристроїв, логістичні системи для автономного постачання та міні-роботи для тактичної розвідки.

5. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) досягли значного рівня автономності та бойових можливостей завдяки інтеграції передових алгоритмів ІІІ. Системи комп'ютерного зору забезпечують високоточне виявлення, класифікацію та відстеження наземних цілей, а алгоритми підкріпленого навчання оптимізують маршрути польоту з урахуванням множини факторів. Особливо перспективними напрямками розвитку є технології роїння БПЛА, що дозволяють координувати дії великої кількості недорогих дронів, та баражуючі боєприпаси, здатні автономно виявляти та атакувати цілі.

6. Морські автономні платформи, що включають безкіпажні надводні судна (USV) та безпілотні підводні апарати (UUV), активно інтегрують технології ІІІ для виконання завдань протимінної боротьби, протичовнової розвідки та спеціальних операцій. Програми, такі як Sea Hunter та XLUUV (Orca), демонструють значний потенціал для трансформації військово-морських операцій. Особливими викликами для морських систем є забезпечення надійної навігації та зв'язку в підводному середовищі, де традиційні методи, такі як GPS та радіозв'язок, недоступні.

7. Застосування штучного інтелекту у військовій сфері створює комплекс серйозних викликів та потенційних загроз, що потребують всебічного аналізу та розробки стратегій мінімізації ризиків. Ключовими проблемами є: надійність

алгоритмів ШІ в критичних сценаріях, вразливість до адверсаріальних атак, технічна вразливість до радіоелектронної протидії, кібербезпека, непередбачувана взаємодія між різними автономними системами та проблема "чорної скриньки" у процесах прийняття рішень. Особливе занепокоєння викликає ризик неконтрольованої ескалації конфліктів через високу швидкість автоматизованих реакцій, що може виключати змістовне людське втручання.

8. Етичні та правові питання автономних бойових систем залишаються предметом активних міжнародних дискусій. Центральними проблемами є моральна допустимість делегування рішень про застосування летальної сили алгоритмам, відповідність автономних систем принципам міжнародного гуманітарного права, питання юридичної відповідальності за дії ШІ та забезпечення належного людського контролю. Міжнародні зусилля з регулювання автономних систем зі зброєю, що тривають в рамках Конвенції про конкретні види звичайної зброї (CCW) ООН, демонструють складність досягнення консенсусу щодо цієї проблематики.

9. Аналіз трендів та перспектив розвитку військового ШІ вказує на посилення автономності систем, інтеграцію ШІ в системи командування та управління, розвиток мультимодальних нейронних мереж, перспективи квантових та нейроморфних обчислень, а також технологій людино-машинної взаємодії та нейроінтерфейсів. Особливо перспективними напрямками є розробка стійких до адверсаріальних атак алгоритмів, пояснюваного ШІ (XAI), обчислень на периферії та біоінспірованих підходів до проектування автономних систем.

Загалом, інтеграція штучного інтелекту в роботизовані та безпілотні системи військового призначення є незворотним процесом, що трансформує характер бойових дій та стратегічного протистояння у XXI столітті. Ця трансформація створює як значні можливості для підвищення ефективності військових операцій, так і серйозні виклики в контексті стратегічної стабільності, міжнародного права та етики. Ключовим завданням для міжнародної спільноти залишається розробка ефективних механізмів регулювання та контролю за розвитком військових

технологій ШІ, що забезпечили б баланс між військовою необхідністю та гуманітарними міркуваннями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванова А. О. Інформаційні технології у формуванні політики Китайської Республіки. 2024.
2. Попик М. М., Шулла Р. С., Ханас У. Я. Цінова політики підприємства готельно-ресторанного бізнесу: поняття та фактори впливу. 2024.
3. Скиба Т. К. Радіоекологічна оцінка впливу полігонів твердих побутових відходів на довкілля. 2024.
4. Ємець А. О. Вплив штучного інтелекту на майбутнє ринку праці. 2024.
5. Селезньов С. В., Шапошнікова О. П. Загальні способи використання штучного інтелекту. 2024.
6. Андрощук Г. Тенденції розвитку технології штучного інтелекту: економіко-правовий аспект:[початок]. 2019.
7. Бондар О. П. Про стратегію враження ворожих БПЛА. 2022.
8. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. Наземні роботизовані комплекси. 2023.
9. Голоवेशкін Д. О. Електромеханічна система багатфункціонального роботизованого транспортного шасі. 2024.
10. Спорий О. В. Метод керування автономним рухом безпілотного транспортного засобу. 2024.
11. Кочук С. Б., Нікітін А. О. Методи вимірювань параметрів польоту БПЛА : дис. Українська інженерно-педагогічна академія, 2023.
12. Брацлавський Т. Біоподібний підводний мікроробот. 2019.
13. Івасечко О. Я., Калита О. А. Штучний інтелект як новітній інструмент дипломатії: виклики та перспективи. 2023.
14. Пахачук Я. Й., Волков Є. В. Впровадження штучного інтелекту в управлінні ризиками в закупівлях для потреб оборони України. Здобутки економіки: перспективи та інновації. 2025. № 15.

15. Завадський А. А. Адміністративно-правове регулювання штучного інтелекту у сфері оборони: міжнародний вимір та національні пріоритети. Збірник наукових праць ХНПУ імені ГС Сковороди "Право". 2024. № 40. С. 87-96.

16. Котляренко О. П., Приполова Л. І. Теоретико-правові аспекти легалізації зброї зі штучним інтелектом: до питання конвенціональної регламентації. 2020.

17. Sorochkin O., et al. Інновації та майбутнє автономних бойових літаків. Social Development and Security. 2024. № 14(5). С. 124-130.

18. Semenenko O., et al. Роль безконтактних війн у сучасній системі глобальної безпеки: український досвід. Social Development and Security. 2024. № 14(3). С. 53-68.

19. Писаренко Т. В., Кваша Т. К. Глобальні технологічні тренди у сфері озброєння та військової техніки. К.: УкрІНТЕІ, 2020.

20. Skliar N. Технонаціоналістичні тенденції розвитку глобальних акторів військових інновацій. Social Development and Security. 2021. № 11(2). С. 70-80.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра Інформаційних технологій та систем

Кваліфікаційна робота

«ІШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНИХ І БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ»

На здобуття освітнього рівня бакалавра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

Виконав: Дубенець С.В. ІСД-43
Науковий керівник: Владислав
Хоменчук, доктор філософії, доцент

Київ 2025



Актуальність теми

Штучний інтелект (ШІ) є ключовою технологією для сучасних роботизованих та безпілотних систем, які використовуються у військовій, промисловій та цивільній сферах. Розвиток алгоритмів машинного навчання, комп'ютерного зору та автономного ухвалення рішень сприяє підвищенню ефективності та безпеки таких систем. В умовах сучасних бойових дій та автоматизації виробничих процесів дослідження можливостей ШІ для підвищення автономності, надійності та адаптивності роботизованих платформ набуває особливої значущості.

Мета

Аналіз та розробка концептуальних підходів до застосування ШІ у програмному забезпеченні роботизованих та безпілотних систем, визначення перспективних напрямів розвитку цієї технології.

Завдання

1. Дослідити сучасний стан розвитку ШІ у сфері автономних систем.
2. Визначити ключові технології та алгоритми, що використовуються в безпілотних платформах.
3. Проаналізувати проблеми та виклики, пов'язані з інтеграцією ШІ в роботизовані системи.
4. Оцінити ефективність існуючих підходів до навчання та адаптації автономних систем.
5. Визначити перспективи застосування ШІ для підвищення ефективності безпілотних платформ.

ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Роботизовані та безпілотні системи, що використовують ШІ для автономної навігації, ухвалення рішень та адаптації до навколишнього середовища.

Програмне забезпечення роботизованих і безпілотних систем, засноване на методах штучного інтелекту, зокрема алгоритми машинного навчання, нейронні мережі, комп'ютерний зір та методи прийняття рішень.

Перший розділ

Навчання

Зір

Рішення

- Теоретичні аспекти впливу ШІ на військову справу.
- Технології: машинне навчання, комп'ютерний зір, автономія.

ДРУГИЙ РОЗДІЛ

Класифікація систем

ХАРАКТЕРИСТИКИ БПЛА "ЛЕЛЕКА-100"



Габарити – 1,98 м x 1,14 м
Швидкість вітру – до 20 м/с

Зона ваги 4,5-5,5 кг	Дальність польоту 100 км	Тривалість польоту до 4 год.	Максимальна швидкість 120 км/год.
Вартість \$40 тис.	Мак. висота польоту 1500 м	Температура нах. 20 °C до +40 °C	Прокреслена швидкість 60-70 км/год.



Наземні

БПЛА
(безпілотники)

Морські
платформи

Можливості та автономність

1

Використання у розвідці, боях, спецопераціях



2

Самостійне прийняття рішень



3

Мультиплатформна взаємодія.

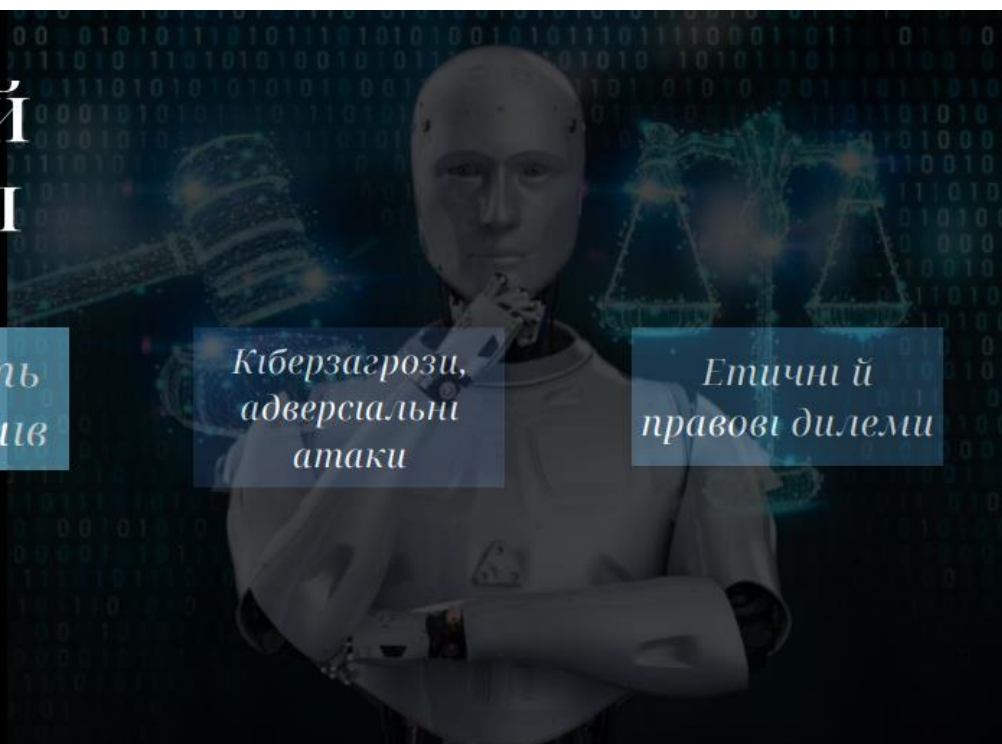
Третій розділ

Виклики

Надійність алгоритмів

Кіберзагрози, адверсальні атаки

Етичні й правові дилеми



Перспективи розвитку

- Квантові обчислення
- Нейроморфні чипи
- Пояснюваний ШІ

Висновок

- ШІ трансформує військові технології.
- Потрібна етична і правова база.
- Баланс: ефективність + гуманізм.



