

Маишталір Вадим Віталійович (доктор історичних наук, професор)¹

Жук Олександр Володимирович (доктор технічних наук, доцент)¹

Міненко Людмила Миколаївна (доктор філософії)¹

Артюх Сергій Григорович²

¹ *Національний університет оборони України, Київ, Україна*

² *Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна*

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ АРМІЯМИ ПЕРЕДОВИХ КРАЇН СВІТУ

Війна рф проти України спонукала до об'єктивного оцінювання існуючих мереж зв'язку і систем командування, налаштованих за нормами концепції C4ISR, що означає «Command and Control, Computers, Communications, Intelligence – Surveillance – Reconnaissance» (Командування і контроль, Зв'язок, Комп'ютеризація, Розвідка – Спостереження – Рекогносцировка) та являє собою інтегрований підхід до керування й координації військових операцій у сучасних війнах. На сьогодні ця концепція, через кібер та інші загрози розширилася і містить вже сім сталих компонентів – «Command and Control, Computers, Communications, Intelligence – Surveillance – Reconnaissance, Combat systems, Cyber, Collaboration,» (Командування і контроль, Комп'ютеризація, Зв'язок, Розвідка – Спостереження – Рекогносцировка, Співпраця між державним і приватним секторами, Оборонна кібербезпека, Співпраця та оперативна сумісність з партнерами і союзниками). Для найменування цього виду системи застосовується абревіатура C7ISR. Крім того, успішне функціонування цієї системи забезпечується додатковими можливими факторами і засобами «Convergence. Cohesion. Combine, Co-operation, Coordination, Continuous, Connected networks, Multi-clouds» (узгодженість, згуртованість, взаємодія, поєднання, координація, постійність, використання пов'язаних мереж і мультимарного середовища тощо). Тому використання у військовій сфері нових технологій і надалі породжуватиме варіації таких систем, їхніх назв та абревіатур. За своїм призначенням такі мережі зв'язку і системи командування мають невідкладно реагувати на масовані кібератаки, ракетні удари та інші загрози. Під час російсько-української війни, використання передових технологій НАТО, зокрема завдяки потенціалу C4ISR, і подальших її модифікацій, дало змогу викрити нагромадження ворожих військ на україно-російсько-білоруському кордоні, та опорні пункти агресора. Саме гнучкі автоматизовані системи управління, що своєчасно реагують на вплив різноманітних зовнішніх факторів, дають змогу українським військовим швидко пристосуватися до мінливої ситуації на полі бою. Система C4ISR, із гнучким застосуванням додаткових факторів і засобів (наприклад, C5ISR, C6ISR, C7ISR) та її архітектура оптимально адаптується до середовища функціонування і забезпечує збір й аналіз багатомірної розвідувальної інформації на суходолі, у повітрі та водному просторі, коли є значна кількість різного виду сигналів: електронних, електрооптичних, інфрачервоних і супутникових. Це допомагає покращити процес прийняття оперативних рішень, гарантує миттєве й ефективне їх доведення до виконавців, забезпечує здатність до супроводу, здійснює контроль і, за потреби, регулює виконання поставлених бойових завдань. Ключовим інструментом для одержання, опрацювання і пересилання даних, що забезпечують належне функціонування систем C4ISR (C5ISR, C6ISR, C7ISR) є мобільні бездротові сенсорні мережі (сенсорні системи). Маємо констатувати, що російсько-українська війна, актуалізувала важливість використання сенсорних систем з метою отримання розвідувальної інформації та її комплексного аналізу для забезпечення ефективного прийняття рішень командувачами (командирами). Здатність до швидкого розгортання, самоорганізація і відмовостійкість є ключовими особливостями бездротових сенсорних мереж, що роблять їх надійним інструментом для ефективного виконання оперативних завдань. Метою статті є аналіз тактико-технічних характеристик, особливостей функціонування і прикладного застосування бездротових сенсорних мереж армій передових країн світу для напрацювання фахових рекомендацій стосовно подальшого їх впровадження в сфері безпеки та оборони України, а також – гарантування інноваційності розроблення вітчизняних зразків гнучких автоматизованих систем управління в збройних силах нашої держави. Для науково-обґрунтованого написання статті застосовано методи аналізування, синтезу, прогнозування. Зазначений методичний інструментарій дав змогу концептуально охарактеризувати автоматизовані системи управління військами НАТО (C4ISR і розширену C7ISR), розкрити тактико-технічні характеристики сенсорних систем спеціального (військового) призначення, особливості їх функціонування, узагальнити призначення мобільних

бездротових сенсорних мереж оперативного рівня, а також – розробити рекомендації щодо впровадження таких систем у вітчизняній військовій сфері та їхнього подальшого інноваційного розвитку. В статті проаналізовано Стратегічний оборонний бюлетень України в частині необхідності тотальної цифровізації Міністерства оборони і Генерального штабу Збройних Сил України та застосування бездротових сенсорних мереж для розроблення гнучких автоматизованих систем управління у військовій сфері, дано концептуальну характеристику стандарту військового керування у НАТО, проведено аналіз провідних наукових досліджень і публікацій стосовно завдань управління, використовуючи сенсорні системи, сучасного стану мобільних бездротових сенсорних мереж, а також перспектив їх розвитку і доцільність застосування для побудови інноваційних автоматизованих систем управління в Збройних Силах України. Висвітлено тактико-технічні характеристики, описано конструктивні ознаки та виділено особливості функціонування сенсорних систем спеціального (військового) призначення. Зокрема, розглянуто сенсорні системи AUSSNet, Vigilis, REM-Sense, AN/PR-9A BAIS, BAIS-i, Reconnaissance (ISR) UGS, Pathfinder, Claw, Forester, Camel (США), Mineseeker (Великобританія), Carabas II, Flexnet (Швеція), Primrose (Ізраїль). З'ясовано, що в складі вузлів сенсорних систем використовуються акустичні, електрооптичні, інфрачервоні, магнітні, температурні, акселометричні та сейсмічні датчики. Узагальнено призначення і напрями застосування та сформульовано рекомендації щодо використання бездротових сенсорних мереж у військовій сфері України, зокрема, для побудови гнучких автоматизованих систем управління збройними силами. Проаналізоване сприяє поглибленню наукових знань стосовно технологічних, архітектурних, конструктивних особливостей окремих вузлів (модулів) сенсорних систем з метою їх удосконалення та ефективного впровадження у військовій сфері, що формується на основі принципів і стандартів держав-членів НАТО. Прикладне використання мобільних бездротових сенсорних мереж, якісно покращує характеристики автоматизованої системи C4ISR та її подальших модифікацій і забезпечує її оптимально-адаптовану інтеграцію до автоматизованих систем управління вітчизняними оборонними ресурсами.

Ключові слова: Стратегічний оборонний бюлетень, гнучка автоматизована система управління, C4ISR, сенсорні системи, бездротові сенсорні мережі, тактико-технічні характеристики, передові технології створення сенсорних систем.

Вступ

Постановка завдання в загальному вигляді. Указом Президента України від 17 вересня 2021 року № 473/2021 було затверджено Стратегічний оборонний бюлетень України [10; 11]. Цим документом унормовано основні напрями реалізації національної воєнної політики в контексті всеохоплюючого захисту України. Крім того, у ньому встановлено Перспективну модель збройних сил нашої держави та інших складових сил оборони, конкретизовано вимоги до її побудови. У цьому зв'язку, окреслено візію й місію сил оборони, затверджено мету і стратегічні цілі розвитку на період до 2030 року. Визначено основні завдання і заходи, що після їх реалізації та отримання очікуваних результатів, мають охарактеризувати ступінь досягнення головних спроможностей наміченого.

Водночас, Стратегічним оборонним бюлетенем України схвалено, що одним із першорядних напрямів реалізації воєнної політики України є побудова системи об'єднаного керівництва силами оборони та військового управління у Збройних Силах України, яка має здійснюватися відповідно до передового досвіду, принципів і стандартів держав-членів НАТО [11]. З цією метою, інноваційному розвитку підлягають форми та способи застосування сил і засобів розвідки, її спроможності поєднуються в єдиному розвідувально-інформаційному середовищі, а процеси добування (збору), обробки, аналізу (відображення) та доведення розвідувальної інформації реалізуються з необхідним рівнем автоматизації. Такі процеси здійснюються в

контексті раніше впровадженої та успішно функціонуючої автоматизованої системи оперативного (бойового) управління, зв'язку, цифровізації, розвідки та спостереження (Command and Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance (далі – C4ISR)), а також її подальших модифікацій [9; 14; 15].

За таких умов, побудову системи кібероборони має бути спрямовано на набуття необхідних спроможностей суб'єктами підготовки, здійснення заходів кібероборони, створення і розвиток сил, засобів та інструментів протиборства в кіберпросторі (через кіберпростір), які забезпечать формування необхідного потенціалу сил оборони для стримування і відбиття можливої воєнної агресії в кіберпросторі. Через це, для протидії силам і засобам ворога необхідно реалізувати комплексні підходи стосовно застосування радіоелектронної боротьби та взаємодії у кіберпросторі, за умови, що дистанційний безконтактний вплив на противника визначатиметься як основний спосіб досягнення цілей бою та операції.

Заради досягнення сформованої мети пропонується імплементувати на практиці низку стратегічно важливих цілей. Зокрема, «стратегічна ціль 1» передбачає формування ефективного оборонного менеджменту і системи об'єднаного керівництва силами оборони та військового управління у Збройних Силах України, що здійснюються на засадах демократичного цивільного контролю, інших принципах і

стандартах НАТО. Вказана ціль обумовлює виконання «завдання 1.5» «Цифровізація діяльності та впровадження сучасних інформаційних технологій, у тому числі електронних комунікацій, у сфері оборони». В свою чергу, «стратегічна ціль 5» передбачає набуття необхідної якості інтегрованих оперативних (бойових та спеціальних) спроможностей сил оборони, що повинні забезпечувати стримування, стійкість і відсіч збройної агресії проти України, протидіяти гібридним загрозам. Досягнення цілі має бути здійснене шляхом реалізації «завдання 5.5» «Створення ефективною системи об'єднаної розвідки сил оборони з урахуванням принципів і стандартів НАТО» [11]. Для досягнення означених цілей (кожної окремо), проаналізований нормативний документ містить перелік спеціальних заходів. Їхнє фахове послідовне та/або паралельне виконання забезпечує синергійне здобуття бажаних результатів щодо всебічного захисту в цій сфері. Разом із тим, з метою практичного провадження Стратегічного оборонного бюлетеня України, розробляються і реалізуються державні цільові програми, а також інші програмні та планувальні документи і проекти.

Як відомо, однією із найважливіших вимог для досягнення переваги над противником є забезпечення оперативною інформацією військ (сил) в умовах інтенсивних бойових дій. Таку перевагу можна здобути лише у випадку, коли оперативна (бойова) інформація про поточну обстановку доступна всім ланкам управління, від окремого військовослужбовця до керівника вищого рівня. У зв'язку з цим, сьогодні, активно проводяться експерименти за напрямом розроблення мобільних бездротових сенсорних мереж, що мають здатність приймати і передавати розвідувальну інформацію про стан супротивника, а також надавати зазначену інформацію певним споживачам, гарантуючи ефективне функціонування гнучких автоматизованих систем управління Збройними силами України [16]. Тому, обраний нами напрям наукового дослідження є достатньо актуальним завданням, що сприятиме інноваційному розвитку національних сенсорних систем військового призначення та, за потреби, використання на практиці закордонних аналогів, заради формування дієво-змінної оборонної структури нашої незалежної держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [7], проведено аналіз завдань управління сенсорними мережами, а також запропоновано функціональну модель системи управління сенсорною мережею, обґрунтовані принципи її побудови, структура та функції. У статті [3] розглядаються перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж, здійснено класифікацію і вимоги, що висувуються до них. Крім того, стаття містить результати аналізу проблем розроблення таких мереж і їх розвитку в сучасних умовах. У дослідженні [8] виконано аналітичний огляд сучасних наукових праць стосовно стану мобільних бездротових сенсорних мереж (далі – БСМ), а

також надано загальне визначення бездротових сенсорних мереж з мобільними сенсорами та наводиться класифікація їхніх архітектур [6]. Водночас, детального аналізування тактико-технічних характеристик сенсорних систем, що розглянуто у цій статті, у тому числі їхніх конструктивних особливостей та унікальних аспектів функціонування, з урахуванням специфіки прикладного застосування для побудови гнучких автоматизованих систем управління у військовій сфері, досі не проводилося.

Метою статті є аналіз тактико-технічних характеристик, особливостей функціонування і прикладного застосування бездротових сенсорних мереж армій передових країн світу з метою напрацювання фахових рекомендацій стосовно подальшого їх впровадження в сфері безпеки та оборони України, а також для гарантування інноваційності розроблення вітчизняних зразків гнучких автоматизованих систем управління в збройних силах нашої держави.

Виклад основного матеріалу дослідження

17 вересня 2021 року Указом Президента України № 473/2021 затверджено Стратегічний оборонний бюлетень України [10; 11], чим забезпечено продовження стійкого розвитку безпеки та обороноздатності нашої незалежної держави, у тому числі й з питань подальшого вдосконалення структури об'єднаного керівництва силами оборони та військового управління у Збройних Силах України, яка має здійснюватися відповідно до передового досвіду, принципів і стандартів Північноатлантичного блоку. По суті, на порядку денному залишилися завдання інноваційної, оптимальної та адаптованої до умов війни з РФ розбудови гнучких автоматизованих систем управління, що використовують технологію C4ISR, та її варіації, і мобільних бездротових сенсорних мереж (сенсорних систем) [1]. Так, серед заходів означеного спрямування визначено:

побудова Об'єднаної мережі оборони, основу якої становитимуть електронна комунікаційна мережа та інформаційні системи Міністерства оборони України та Збройних Сил України;

створення та розвиток мереж операцій, побудованих на сучасних цифрових засобах, якими буде переоснащено польову систему зв'язку Збройних Сил України, розроблення нових (удосконалення існуючих) систем бойового управління;

стандартизація, оптимізація та взаємосумісність інформаційних систем сил оборони;

інтеграція існуючих систем спеціального зв'язку сил оборони в єдину захищену систему зв'язку сил оборони;

автоматизація процесів управління військами і зброєю, оборонними ресурсами, розвідкою, логістикою, медичним та іншими видами забезпечення. Упровадження електронного документообігу, цифровізація документів обліку особового складу;

оптимізація системи захисту інформації та кіберзахисту в інформаційно-телекомунікаційних системах Міністерства оборони України та Збройних Силах України;

набуття спроможностей системою управління розвідкою Збройних Сил України у тривірневій вертикалі керівництва;

реалізація наявних та створення нових спроможностей військових частин (підрозділів) розвідки Збройних Сил України;

автоматизація процесів збору і обробки розвідувальних відомостей (даних) та управління силами і засобами розвідки з урахуванням принципів і стандартів НАТО;

забезпечення військових частин (підрозділів) розвідки Збройних Сил України новітніми (модернізованими) технічними засобами розвідки [10; 11].

Як можна пересвідчитися, практична ефективна і результативна реалізація вище перерахованих заходів безпосередньо та/або опосередковано залежить від технологічної якості побудови гнучких автоматизованих систем управління і мобільних бездротових сенсорних мереж та їх фахового оптимального, адаптованого й продуктивного застосування в середовищі бойових дій. За таких умов, варто зазначити, С4ISR – це система оперативного (бойового) управління, зв'язку, розвідки та спостереження, що діє за стандартами військового керування НАТО, яка дозволяє досягти інформаційної переваги над ворогом і трансформується в бойову могутність завдяки поєднанню роботи підрозділів й усіх розвідувальних спроможностей в єдиний цифровий дієвий простір. Фактично, це гнучка автоматизована система управління військами, що забезпечує:

управління військами (Command and Control);
належну роботу підрозділів зв'язку (Communications);

функціонування автоматизованої системи управління і зв'язку (Computers),

роботу служби розвідки (здобуття інформації; виконання всіх процесів, що супроводжують отримання, обробку і розповсюдження добутої інформації на командні пункти) (Intelligence);

спостереження (Surveillance),
рекогносцировку (військову розвідку) (Reconnaissance).

На сьогодні, через розширення різних викликів, спровокованих гібридними загрозами і провокативними кібератаками, ця система модернізована і, крім означеного, здатна додатково забезпечувати:

співпрацю між державним і приватним секторами (Combat systems);

оборонну кібербезпеку (Cyber);
співпрацю та оперативну сумісність з партнерами і союзниками (Collaboration).

Крім того, можуть застосовуватися додаткові фактори і засоби: узгодженість (Convergence), згуртованість (Cohesion), взаємодія (Combine), поєднання (Co-operation), координація (Coordination), постійність (Continuous),

використання пов'язаних мереж (Connected networks) і мультихмарне середовище (Multi-clouds) [15, 14].

Сформовані за вимогами системи С4ISR, чи одного з її модифікованих варіантів, мережі (канали інфокомунікаційного зв'язку), збирають значні обсяги даних з безлічі датчиків, баз даних та інших джерел по всьому світу. Отримана таким чином інформація узагальнюється, обробляється і безпечно передається авторизованим користувачам. Отже на практиці, технологічною основою системи оперативного (бойового) управління, зв'язку, розвідки та спостереження або її модифікацій є реалізація доктрини, так званої, мережецентричної війни, а по суті, поєднання джерел інформації в одну прозору дигіталізовану систему. За таких умов, швидкість прийняття поінформованих і зважених рішень командирами під час бойових операцій зростає у рази. До того ж така система дозволяє зберігати керованість навіть у випадку знищення пунктів управління. Водночас, за оцінками військових аналітиків, запровадження доктрини мережецентричності та принципів цієї системи у війську, дає змогу зменшити видатки на артилерійські снаряди до 20 разів і, головне, зменшити втрати особового складу до 10 разів [12].

Отже, знання концепцій, форм і способів бойових дій у сучасних війнах, зокрема, з урахуванням досвіду відсічі й стримування збройної агресії РФ в Україні, а також дослідження нових військових доктрин, свідчить про посилення значимості гнучкої автоматизації процесів управління в країнах світу з розвиненою воєнною сферою. В цьому контексті інформаційні війни набули стратегічного значення і перебувають в центрі уваги національних стратегій. Пріоритетом стає здобуття інформаційної переваги над противником, що втілюється через використання передових технологій для створення мобільних сенсорних систем спеціального призначення. Саме до таких систем слід віднести і БСМ, що виконують функцію отримання та надання розвідувальної інформації про противника, а також подання її органам військового управління і розподілу між засобами протидії та ураження [5]. Тому, на практиці, більшість уваги зосереджена на бездротових сенсорних мережах, що стають основою для побудови інноваційних гнучких автоматизованих систем управління у військовій сфері.

Сьогодні, БСМ становлять розподілену сенсорну систему, що самоорганізується та складається з великої кількості датчиків (сенсорів) і пристроїв виконання, об'єднаних між собою бездротовим зв'язком [2]. Покриття такої мережі може охоплювати від кількох метрів до декількох кілометрів. Завдяки здатності до ретрансляції повідомлень між різними елементами, БСМ можуть застосовуватися військовими для виконання низки специфічних завдань, а саме: моніторинг розташування противника, його кількості та характеру дій; збір розвідувальної інформації на місцевості; використання в системах наведення

інтелектуальних снарядів; визначення положення необхідних об'єктів (подій); забезпечення захисту своїх підрозділів; моніторинг державного кордону в будь-якій місцевості та за будь-яких умов [4].

Для всебічного огляду сучасного стану БСМ, варто розглянути передовий досвід розроблення, впровадження і застосування таких сенсорних систем, висвітлити їхні функціональні особливості, а також зробити висновки щодо їх ефективного впровадження в сфері військових технологій, особливо, під час побудови гнучких автоматизованих систем управління з метою забезпечення оперативного командування. Маємо констатувати, військовим керівництвом Збройних Сил (далі – ЗС) США здійснюється регулярне та послідовне переведення військових частин і органів управління на бригадну структуру з їх одночасним оснащенням перспективними системами озброєння, зв'язку, розвідки та управління. Зокрема, надається значна увага розвитку та впровадження БСМ. Наведемо окремі приклади такої конструктивної роботи.

Автономна підводна система нагляду на основі бездротових сенсорних мереж (Autonomous Underwater Surveillance Sensor Network (AUSSNet)) корпорації L3 Technologies Autonomous (США) [13], являє собою БСМ, що призначена для прямого розгортання в підводних зонах стратегічного значення. Мобільна сенсорна система може збирати, обробляти, зберігати та дискретно передавати дані підводного спостереження через супутникові та/або гідроакустичні телеметричні канали на землю, повітря, космос або об'єкти в морі для підвищення ситуативної обізнаності. Означена система швидко розгортається і забезпечує можливість постійного підводного спостереження протягом тривалого періоду в будь-якому водному регіоні. Вона застосовується під час операцій спеціального призначення, моніторингу стану елементів кораблів, для охорони гаваней, підтримки морських десантних (наступальних) операцій, протидії підводним човнам, захисту підводної та критичної інфраструктури, охорони державного кордону. AUSSNet, як автономна бездротова сенсорна мережа, має здатність до самовідновлення, самоорганізації і можливості багаторазового використання. Дані спостереження передаються на низьких частотах (менше 500 Гц) з множини підводних сейсмоакустичних модулів, розташованих на морському дні (рис. 1).

Усі отримані дані від підводного сейсмоакустичного модуля записуються локальною станцією, що є основною для певної зони сенсорної мережі. В задані інтервали часу (або за подією), локальна станція підіймає на морську поверхню прив'язаний буй-шлюз, що передає зібрані дані до надводної базової станції управління і контролю.

Тактико-технічні характеристики сенсорної системи AUSSNet:

підводний сейсмоакустичний модуль, вагою 0,4 кг – 3 шт.;

локальна станція з буєм-шлюзом – 1 шт.;

надводна базова станція управління та контролю – 1 шт.;

діапазон частот – від 10 кГц до 250 кГц;

робоча температура – від –30°C до +65°C;

матеріал – Titan GR2/5, надійність відповідає вимогам стандартного тесту електронного обладнання для оцінки надійності (стандарт «Військове керівництво зі стандартного тесту електронного обладнання для оцінки надійності» (MIL-HDBK-217));

електромагнітна сумісність відповідає стандартним вимогам до інтерфейсу Міністерства оборони США для управління характеристиками електромагнітних завад підсистем і обладнання («Характеристики електромагнітних завад і вимоги до обладнання» (MIL-STD-461E));

маркування відповідає вимогам стандарту «Військове маркування MIL STD 129 для транспортування і зберігання», що використовується для однакового маркування військової техніки та предметів постачання, що перевозяться морськими суднами.

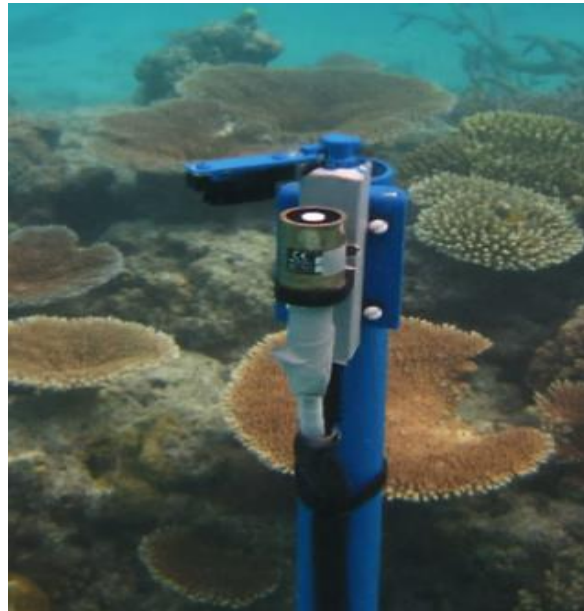


Рисунок 1 – Підводний вузол сенсорної системи AUSSNet

Також корпорацією L3 Technologies Autonomous розроблено сенсорну систему морських зон Vigilis (США) [13], що призначена для спостереження за навколишнім морським простором. Ця сенсорна система є спеціалізованою БСМ, що розгортається у морських і прибережних зонах й забезпечує безпеку та здійснює моніторинг навколишнього середовища з метою захисту морських об'єктів і критичної наземної інфраструктури (порти, вантажні термінали, субмарини-розвідники й атомні станції). Крім того, сенсорна система Vigilis застосовується для управління трафіком суден, під час проведення операцій спеціального призначення, моніторингу стану елементів кораблів, охорони гаваней, підтримки морських десантних операцій, протидії підводним човнами, захисту підводних сил,

охорони державного кордону, захисту критичної інфраструктури.

Зазвичай, означену сенсорну систему розгортають у центрі управління трафіку суден і морських районів стратегічного значення, забезпечуючи комплексний набір інструментів для збору, обробки, відображення та аналізу даних моніторингу. На спеціальному командному пункті (далі – КП), що обладнаний інструментами сенсорної системи Vigilis, оператор має можливість виконувати такі дії:

- конфігурувати і переглядати загальний стан зон моніторингу, пристроїв, що розгорнуті в них та зв'язків між ними;

- здійснювати моніторинг трафіку суден в межах певної області за допомогою відображення карти в режимі реального часу;

- віддалено керувати пристроями сенсорної системи;

- виявляти і класифікувати порушення;
- обмінюватися даними з іншими КП та суднами;
- виконувати системні заходи з адміністрування та обслуговування сенсорної системи.

Особливості основних складових сенсорної системи Vigilis наведено в таблиці 1.

- розподіляти функції управління мережею, а комплексний набір інструментів адаптується до різних типів даних та їх швидкості, передає дані вузлів, генерує тривоги/сповіщення, підтримує резервне копіювання і відтворення для ситуацій, що розвиваються, а також зберігає дані для аналізу наслідків інцидентів і реконструкції подій.

Сенсорна система Vigilis забезпечує:

- гнучку, відкриту архітектуру з використанням компонентів готових комерційних систем (Commercial Off-The-Shelf systems (COTS));

- комплексне керування судноплавними шляхами;

- обробку та узагальнення даних від різних типів датчиків і джерел;

- автоматичну та ручну класифікацію подій;

- відображення даних про стан судна в реальному часі через налаштовані фони графіків електронних навігаційних карт;

- оповіщення користувача за відповідним алгоритмом про події у визначеному регіоні;

- гнучке відображення кількох камер, керування ними та записами;

- повну реєстрацію подій у службі відображення Google Earth™;

- масштабовану архітектуру;

- відображення електронних навігаційних карт за стандартом (Interactive S57/S63 Electronic Navigational Charts (Interactive S57/S63 ENC's));

- можливість моделювання роботи за віртуальними морськими сценаріями для навчань.

У свою чергу, REM-Sense (США) є бездротовою сенсорною мережею, що забезпечує миттєвий обмін інформацією між пристроями виявлення руху, за принципом «Бачить один – знають всі» [10]. Ця мережа є набором тактичних, дистанційно керованих наземних сенсорів (Unattended Ground Sensors (далі – UGS)), що пасивно виявляють і класифікують живу силу й транспортні засоби противника у помірному діапазоні вдень і вночі. Універсальні компоненти REM-Sense є сумісними з багатьма військовими та комерційними сенсорними системами, а програмне забезпечення, що постійно оновлюється, може бути адаптоване для підтримки різних операцій. Означена сенсорна система перевірена в широкому спектрі тактичних операцій по всьому світу. В межах програми ЗС США Programs of Record, ці бездротові сенсорні мережі сумісні з іншими сенсорними системами та утворюють велику структуру для покращення ситуаційної обізнаності та захисту військових підрозділів. Вони містять у собі:

- системи запобігання вторгнень BAIS (Battlefield Anti-Intrusion System) (AN/PRS-9 та AN/PRS-9A);

- сенсори поля бою з дистанційним моніторингом REMBASS-II (Remotely Monitored Battlefield Sensor System-II) (AN-GSR-8 (V));

- компоненти множини автономних наземних сенсорів Unattended Ground Sensor Set (AN/GSQ-257), що входить до складу Тактичної дистанційної сенсорної системи (Tactical Remote Sensor System (далі – TRSS) морської піхоти США.

Таблиця 1

Особливості складових сенсорної системи Vigilis

Складова	Характеристика
Системи автоматичної ідентифікації (AIS)	Суднові та берегові системи мовлення, що працюють у морській смузі ультракоротких хвиль (далі – УКХ).
Радари	Для виявлення малорозмірних цілей і спостереження за прибережними територіями. Для інтегрованого перегляду зон спостереження та уникнення «сліпих зон» використовується декілька радарів.
Системи зв'язку	Ідентифікація та трекінг на великих відстанях за допомогою використання супутникових систем.
Камери	Денні і нічного бачення, великої дальності, зі стабілізацією та без. Особливості: гнучкі операторські дисплеї та засоби керування для взаємодії кількох камер; взаємодія з продуктами різних постачальників; автоматичне відстеження цілей з найвищим пріоритетом.
Трекінг суден і активів	Судна, оснащені інструментами системи Vigilis надають дані про позицію судна, швидкість руху та напрямок.

Для збільшення рівня ситуативної обізнаності у морському середовищі, сенсорні системи Vigilis можна поєднувати з вже існуючими. Гнучка архітектура сенсорної системи дає змогу

Сенсорна система виявлення вторгнень на полі бою (AN/PRS-9A Battlefield Anti-Intrusion System (далі – AN/PRS-9A BAIS)) (США) (рис. 2) [13].



Рисунок 2 – Сенсорна система виявлення вторгнень на полі бою AN/PRS-9A BAIS

Означена сенсорна система забезпечує більш якісне виявлення вторгнень і загроз та їх класифікацію. Вона призначена для використання тактичними підрозділами, з метою забезпечення охорони особового складу та оборонних позицій. Бездротова сенсорна мережа AN/PRS-9A BAIS застосовується під час операцій спеціального призначення, охорони державного кордону, операцій протидії незаконному обігу наркотиків. Вона складається з одного ручного монітору/передавача і базового набору з трьох сейсмоакустичних сенсорів, що забезпечують приймання / передавання радіосигналів, здійснюють локальне та дистанційне бездротове програмування (табл. 2).

Таблиця 2
Особливості складових сенсорної системи виявлення вторгнень на полі бою AN/PRS-9A BAIS

Складова	Характеристика
Сейсмоакустичний сенсор / приймач-передавач	Основний датчик з функцією інфрачервоного та магнітного виявлення. Надає інформацію про клас цілі, що забезпечує її класифікацію за алгоритмом на основі комбінованих сейсмічних і акустичних сигнатур. Налаштовується як радіо-ретранслятор.
Ручний монітор/передавач	Відображає інформацію з сенсорів на LCD-дисплеї або виводить повідомлення на інші пристрої. Дає змогу програмувати сенсори бездротовим способом як локально, так і віддалено. Підтримка повідомлень сенсорних мереж: BAIS (SAS & S/T) (29-біт); TRSS (29-біт, 285-біт); REM/IREM/REM-II (29-bit, 101-bit); LKMD (детектор руху) сигналізації.

Слід розуміти, що кожен датчик означеної бездротової сенсорної мережі може бути налаштований як звичайний автономний вузол, радіо-ретранслятор або комбінований вузол-ретранслятор. Ця можливість дає змогу подолати радіочастотні завади в зоні дії, розширюючи діапазон радіочастот для забезпечення надійного та стійкого зв'язку. Вона має невеликий розмір, вагу (до 5 кг) і легко транспортується однією особою в спеціальному рюкзаку. Тактико-технічні характеристики сенсорної системи AN/PRS-9A BAIS:

три сейсмоакустичні сенсори розміром 19,3×10,6×5,3 см і вагою 0,6 кг;

один ручний монітор/передавач розміром 16,5×10,6×10,6 см і вагою 0,6 кг;

живлення забезпечується від акумуляторної батареї (далі – АКБ) з номінальною напругою 9В, або від зовнішнього джерела;

тривалість автономної роботи: сенсора – до 130 діб (за 1000 спрацювань на день), ручного монітора – до 19 діб;

кількість каналів – 599;

забезпечує підтримку до 255 сенсорів у мережі; двосторонній радіозв'язок – SEIWG-005C, діапазон від 138 МГц до 153 МГц;

робоча температура – від –40°C (–20°C для монітору) до +71°C;

стійка до вітру зі швидкостями 20 м/год (пил), 40 м/год (пісок).

Сенсорна система виявлення вторгнень на полі бою AN/PRS-9A BAIS має вбудований пристрій встановлення та запобігання помилок, програмне забезпечення, що оновлюється, стійка до зламу, може бути інтегрована до бездротових сенсорних мереж вищих рівнів. Додаткові можливості цієї сенсорної системи щодо виявлення цілей наведено в таблиці 4.

Водночас, інша модифікація цього типу бездротових сенсорних мереж BAIS-і (США) забезпечує якісніше встановлення нападу і загроз [13], їх класифікацію та характеризується більш низькою вартістю порівняно з попередньою версією (рис. 3).



Рисунок 3 – Сенсорна система виявлення вторгнень на полі бою BAIS-і

Вона розроблена для військових підрозділів з метою забезпечення охорони своїх сил, оборонних позицій та спостереження за державним кордоном.

Фактично, сенсорна система BAIS-i застосовується під час операцій спеціального призначення, охорони державного кордону, операцій протидії незаконному обігу наркотиків. Означена сенсорна система складається з одного ручного монітора/передавача і базового набору невеликих сенсорів (табл. 3).

Таблиця 3

Особливості складових сенсорної системи виявлення вторгнень на полі бою BAIS-i

Складова	Характеристика
Сенсор	Має мініатюрний, маловартісний сейсмічний датчик, що забезпечує класифікацію цілі за алгоритмом на основі сейсмічних сигнатур. Налаштовується як радіо-ретранслятор.
Ручний монітор/передавач	Відображає інформацію з сенсорів на LCD-дисплеї або виводить повідомлення на інші пристрої. Дає змогу програмувати сенсори бездротовим способом як локально, так і віддалено на відстані до 2 км. Підтримує повідомлення сенсорних мереж: BAIS (SAS & S/T) (29-біт); TRSS (29-біт, 285-біт); REM/IREM/REM-II (29-bit, 101-bit); LKMD (детектор руху) сигналізації.

Бездротова сенсорна мережа BAIS-i забезпечує двосторонній радіозв'язок. Вона компактна, має невелику вагу і не обтяжлива для транспортування. Кожен сенсор складається з сейсмічного датчика та антени УКХ. Ручний монітор дає змогу відображати інформацію від сенсорів на LCD-дисплеї або виводити повідомлення через роз'єм RS-232 на додатковий персональний комп'ютер.

Тактико-технічні характеристики сенсорної системи BAIS-i:

сейсмічний сенсор розміром 7,6×6,3×3,9 см, вагою 0,2 кг;

ручний монітор розміром 16,5×10,6×10,6 см, вагою 0,6 кг;

тривалість автономної роботи: сенсорного вузла – до 200 діб (за 1000 спрацювань на день); ручного монітора – до 19 діб;

можливість програмувати тривалість операції; можливість роботи від батареї та від зовнішнього живлення;

кількість каналів – 599 каналів; забезпечує підтримку до 999 вузлів в мережі; двосторонній радіозв'язок – SEIWG-005C, діапазон частот – від 138 МГц до 153 МГц; локальне та дистанційне бездротове програмування.

Крім того, ця система має вбудований пристрій, що гарантує низький рівень виявлення помилкових сигналів, а також програмне забезпечення, яке оновлюється, стійка до зламу, може бути інтегрована до систем вищих рівнів. Додаткові

можливості системи виявлення вторгнень на полі бою BAIS-i, у порівнянні з AN/PRS-9A BAIS, наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Порівняння додаткових можливостей систем виявлення вторгнень на полі бою AN/PRS-9A BAIS та BAIS-i

Клас цілі	Радіус виявлення, м*	
	BAIS	BAIS-i
Гусенична техніка	0–450	0–550
Колісна техніка	0–350	0–400
Жива сила	0–75	0–100

*Радіус виявлення залежать від типу та стану ґрунту

На відміну від бездротових сенсорних мереж, проаналізованих вище, наземна сенсорна система для завдань розвідки Reconnaissance (ISR) UGS (США) пасивно виявляє, класифікує та визначає напрямок руху живої сили й транспортних засобів в будь-якому середовищі, вдень і вночі [13]. Вона застосовується під час операцій спеціального призначення, охорони державного кордону, заходів стосовно протидії незаконному обігу наркотиків, у процесі інших операцій із забезпечення національної безпеки та оборони (рис. 4).



Рисунок 4 – Наземна сенсорна система для завдань розвідки Reconnaissance (ISR) UGS

До її складу входить сенсор з базовим набором датчиків, ручний монітор і система обробки сигналів для досягнення високої точності моніторингу (таблиця 5).

Сейсмоакустичний датчик означеної системи може працювати в режимі ретранслятора з метою розширення цього діапазону на 6 км для кожного реле або по всьому світу за допомогою додаткової супутникової системи REM-Sense SATCOM або стільникового реле. Сенсорна система негабаритна, маловагома і зручно транспортується однією особою в спеціальному рюкзаку.

Тактико-технічні характеристики сенсорної системи Reconnaissance (ISR) UGS:

сейсмоакустичний датчик розміром 19,3×10,7×5,3 см, вагою 0,7 кг – 1 шт.;

інфрачервоний датчик (IRID-II), розміром 24,4×2,8×2,8, вагою 0,7 кг – 1 шт.;

магнітний датчик (MAGID-II) розміром 10,7×6,9×2,5 см, вагою 0,4 кг – 1 шт.;

ручний монітор розміром 16,5×10,7×5,6 см, вагою 0,7 кг – 1 шт.;

вбудована АКБ з номінальною напругою 9В;

тривалість автономної роботи – сенсорного вузла – до 200 діб (за 1000 спрацювань/день);
ручного монітора – до 19 діб;
кількість каналів – 599;
забезпечує підтримку до 255 вузлів в мережі;
двосторонній радіозв'язок – SEIWG-005C;
діапазон частот – від 138 МГц до 153 МГц;

робоча температура – від –40°C (–20°C для ручного монітору) до +71°C;
стійка до вітру: 20 м/год (пил), 40 м/год (пісок), ударостійка;
електромагнітна сумісність відповідає стандартним вимогам MIL-STD-461E.

Таблиця 5

Складові наземної сенсорної системи для завдань розвідки Reconnaissance (ISR) UGS

Складова		Характеристика
Сенсор	Сейсмоакустичний датчик	Забезпечує класифікацію цілі за алгоритмом на основі сейсмічних сигнатур. Налаштовується як ретранслятор. Забезпечує живлення інфрачервоного та магнітного датчиків.
	Магнітний датчик II (MAGID-II)	Визначає напрямок і кількість цілей, різницю температур цілі і фон. Підключається до сейсмоакустичного датчика.
	Інфрачервоний датчик II (IRID-II)	Оцінює напрямок і кількість цілей. Пасивно виявляє зміни в магнітному полі, викликані рухом залізних матеріалів. Підключається до сейсмоакустичного датчика.
Ручний монітор		Забезпечує передачу інформації на LCD-дисплей; вивід повідомлень через роз'єм RS-232 на додатковий персональний комп'ютер; програмування параметрів роботи сенсорних вузлів локально і віддалено. Підтримує повідомлення сенсорних мереж: BAIS (29-біт); TRSS (285-біт); REM-II (29-bit, 101-bit)

Ця бездротова сенсорна мережа має вбудовану систему виявлення та запобігання помилок, програмне забезпечення, що регулярно оновлюється, а також здатність бути інтегрованою

у платформи сенсорних систем вищого рівня. Додаткові можливості наземної сенсорної системи для завдань розвідки Reconnaissance (ISR) UGS наведено в таблиці 6.

Таблиця 6

Додаткові можливості наземної сенсорної системи для завдань розвідки Reconnaissance (ISR) UGS

Клас цілі/тип сенсора	Сейсмоакустичний*	Інфрачервоний**	Магнітний
Гусенична техніка	0–450	3–50 (від 16 до 96 км/год)	3–50 (від 5 до 100 км/год)
Колісна техніка	0–350	3–50 (від 16 до 96 км/год)	3–30 (від 5 до 100 км/год)
Жива сила	0–75	3–20 (від 5 до 8 км/год)	1–5 (від 2 до 12 км/год)

*Радіус виявлення залежить від типу та стану ґрунту.

**Жива сила, озброєна АК-47.

Не зважаючи на тактико-технічні характеристики проаналізованих вище бездротових сенсорних мереж, що на нашу думку, доцільно застосовувати для побудови сучасних гнучких автоматизованих систем управління у військовій сфері, маємо визнати, що сенсорна система Pathfinder, яка виробляється «Асоціацією прикладних досліджень Північної Кароліни» (Applied Research Associates of North Carolina (ARA)) (США) з метою моніторингу, виявлення та ідентифікації прихованих загроз, є лідером у цій сфері [13]. Означена система, під час тестування й оцінювання отримала схвальні відгуки від сертифікованих агентств, була прийнята на озброєння ЗС США та ефективно

використовувалася в збройних конфліктах у багатьох регіонах світу (рис. 5).



Рисунок 5 – Вузли сенсорної системи Pathfinder

На практиці, Pathfinder, як головна складова структури керування безпеки та оборони, застосовується для моніторингу лінії зіткнення з ворогом, охорони місць розташування підрозділів, військових баз, доріг, маршрутів пересування та визначених критичних об'єктів, виявлення вибухових пристроїв, диверсійно-розвідувальних груп і снайперів. Ефективність системи, особливо у віддалених районах, забезпечується запатентованою системою зв'язку, що передає інформацію моніторингу на відстань до 8–10 км («точка-точка») та більш ніж до 25 км («земля-повітря»). Відкрита архітектура забезпечує інтеграцію з існуючими системами розвідки, спостереження і виявлення на місцевості (Intelligence, surveillance, reconnaissance (ISR)). Інформація про бездротову сенсорну мережу Pathfinder (статус вузлів, продуктивність, локація, характеристики подій, відстань до них) відображається на пристроях системи Android. Вузли означеної сенсорної системи, завдяки невеликим розмірам, швидко встановлюються однією людиною у визначеному місці розташування.

Тактико-технічні характеристики сенсорної системи Pathfinder:

міні сенсор розміром 6,6×5,6 см, вагою 0,2 кг з двома вбудованими літій-іонними АКБ номінальною напругою – 3,6 В. Тривалість автономної роботи до 6 місяців. Максимальна сила струму під час передачі становить 250 мА. Частота передачі – 916 МГц;

XL сенсор розміром 6,6×12 см, вагою 0,4 кг з вісьмома вбудованими літій-іонними АКБ напругою 3,6 В. Тривалість автономної роботи до 24 місяців. Максимальна сила струму під час передачі становить 250 мА. Частота передачі – 916 МГц;

приймач розміром – 5,3×18,3×21,3 см, вагою – 1,7 кг;

виготовлений з дотриманням стандарту США MIL-STD-810;

робоча температура – від – 32°C до + 49°C;

з'єднувачі – роз'єми MIL і RS-232 ;

кабель RJ-45 Ethernet;

антена TNC;

живлення напругою – від 100 до 240 VAC з частотою 47–63 Гц, або – 12 VDC;

використання алгоритмів штучного інтелекту;

низький рівень помилкових спрацювань.

Додаткові можливості сенсорної системи Pathfinder наведено в таблиці 7.

Таблиця 7

Додаткові можливості сенсорної системи Pathfinder

Клас цілі	Радіус виявлення, м
Жива сила	до 70
Колісна техніка	до 250
Гусенична техніка	до 350

Крім проаналізованої американської

бездротової сенсорної мережі Pathfinder, ще одна сенсорна система Claw компанії General Atomics Aeronautical Systems (США) [13], є ефективною інтегрованою системою контролю та аналізу військової операції, що дає змогу проводити мульти-сенсорну розвідку, спостереження і забезпечує високу ситуативну обізнаність на полі бою.

На практиці означена система, як правило, застосовується під час проведення операцій спеціального призначення, охорони державного кордону, рятувально-пошукових операцій. Вона використовує відкриті стандарти і протоколи для забезпечення максимальної сумісності з існуючими воєнними системами (понад 50 типів) і дає змогу реалізовувати спільні операції та отримувати загальну картину моніторингу поля бою. Система широко застосовується у багатьох пілотованих і безпілотних платформах ЗС США, може бути поєднана із засобами різних типів, зокрема, відеомагнітофонами, радаром, радіолокаторами, радіостанціями тощо.

Поєднання модульної архітектури, відкритих стандартів і позитивного досвіду використання дає змогу швидко інтегрувати та модернізувати цикли роботи системи для задоволення потреб користувачів в умовах постійно змінюваних військових операцій.

Тактико-технічні характеристики сенсорної системи Claw:

електрооптичний сенсорний модуль;

інфрачервоний сенсорний модуль;

лазерний далекомір;

освітлювач;

вказівник;

радар;

автоматизована система ідентифікації;

автоматичне виявлення наземних і морських цілей;

інтеграція з технологіями, що проникають крізь перешкоди;

3D-проекція та візуалізація даних моніторингу на карті;

позиціонування літального засобу та цілей;

діагностика стану сенсорних вузлів (температура, несправності);

тактичний канал передачі даних, супутникові комунікації з охопленням С-діапазону;

вбудовані шаблони звітування;

підтримка повідомлень Link-16 згідно «Спільного протоколу подання заявок на збільшення дальності дії» (Joint Range Extension Applications Protocol (JREAP));

декодування і транскодування відео кодеками стиснення H.264 і H.265;

сумісність з Windows 10 (64-біт);

відповідає численним інтерфейсам відкритих стандартів – STANAGS 4609, 4676, 4545, 4559, тощо;

одночасне відтворення декількох відео потоків HD, режим цифрового відеомагнітофону DVR.

Не менш ефективними серед достатньо широкого переліку американських бездротових сенсорних систем, що доцільно використовувати для побудови інноваційно-гнучких автоматизованих систем управління у військовій сфері, є сенсорні системи Forester Агентства оборонних науково-дослідних проєктів (DARPA) (США). Вони являють собою спеціалізовані системи розвідки і спостереження за цілями, зокрема, у лісистій місцевості, під час темряви, за несприятливих погодних умов [13]. Така сенсорна система може бути застосована для виявлення мінних полів, диверсійно-розвідувальних груп і снайперів завдяки використанню радіолокатора VHF/UHF діапазону. З висоти 5 км сенсорна система Forester охоплює зону 145 км², забезпечує безперервне покриття в секторі 90° та має функції механічного й електронного керування антеною для кругового огляду (рис. 6).



Рисунок 6 – Розміщення сенсорної системи Forester на гелікоптері

Означена сенсорна система була розроблена для використання на БПЛА, літаках цивільної та військової авіації. Вона пройшла випробування в різних умовах з метою досягнення оптимальних показників функціонування. Бортові сенсори дають змогу отримати високу продуктивність зйомки і виявлення об'єктів в інтересах військової операції. Глибина проникнення таких сенсорних систем може сягати від 2 до 5 м, що дає змогу використовувати їх Forester в пошуково-рятувальних операціях, для виявлення військових цілей, мінних полів тощо. Крім того, сенсорна система Forester здатна виявляти низьколітаючі гвинтокрили та літаки на відстані до 75 км, забезпечуючи індикацію наземної (Ground Moving Target Indicator (GMTI)) та повітряної рухомої цілі (Air Moving Target Indicator (AMTI));

Тактико-технічні характеристики сенсорної системи Forester:

діапазон робочих частот – від 215 до 730 МГц;

потужність – до 1 кВт;

роздільна здатність – 66 см;

площа антени – 1 м²;

використовує властивості поглинання електромагнітної енергії різними поверхнями (Specific absorption rate (SAR));

вбудована GPS;

максимальна висота роботи над рівнем моря – до 7,5 км;

корпус із підвищеною міцністю (ударостійкий), водонепроникний.

Сенсорна система Forester достатньо проста в експлуатації, використовує алгоритми штучного інтелекту, дає змогу обробляти дані моніторингу в реальному часі, має низьку частоту помилкових спрацювань. Додаткові можливості сенсорної системи Forester наведено в таблиці 8.

Таблиця 8

Додаткові можливості сенсорної системи Forester

Клас цілі	Радіус виявлення, м
Жива сила	до 15000
Колісна техніка	до 20000
Гусенична техніка	до 30000

Аналогічними бортовими бездротовими сенсорними мережами подібного типу можна вважати сенсорні системи Mineseeker (Великобританія) і Sarabas II (Швеція). Так, Британська сенсорна система призначена для виявлення мін з повітря зі швидкістю до 100 м²/с (сапери виконують це завдання зі швидкістю до 40 м²/день). У свою чергу, сенсорна система Sarabas-II забезпечує максимальне проникнення радіолокаційного сигналу під рослинний покрив і земну поверхню з роздільною здатністю в межах від 3,3 м до 15 м, оскільки працює в VHF діапазоні й використовує сигнал на частотах від 20 до 90 МГц з горизонтальною поляризацією.

Ще однією бездротовою сенсорною мережею американських виробників, що, на нашу думку, заслуговує бути використана для забезпечення ефективного функціонування гнучких автоматизованих систем управління в Збройних Силах України, є сенсорна система компанії Microflown Avisa (США) [13]. У свій час, вона була розроблена для ЗС США, працює як акустична парасолька для військового підрозділу, отримала назву Camel (рис. 7).



Рисунок 7 – Сенсорна система Camel

На практиці сенсорна система Camel є мобільною акустичною системою, що розміщується на військових транспортних засобах, і призначена для виявлення і локалізації таких загроз як артилерія та міномети, літальні апарати різних типів і стрілецьке озброєння тощо. Ця сенсорна система може бути застосована для захисту бойової машини та/або конвою, позицій військових підрозділів (з'єднань) і забезпечення загального спостереження. Означена бездротова сенсорна мережа використовує, так звані «мікропотокі», що дають змогу одночасно

вимірювати амплітуду і визначати напрямок звукової хвилі, завдяки чому, один сенсор може виявляти та класифікувати акустичну подію. Вона функціонує у трьох режимах:

1. «Горб» – один вузол працює самостійно для виявлення і класифікації живої сили противника в межах сектору 2° з кутовою точністю до 5% від діапазону, виявлення і відстеження ударних гвинтокрилів, що низько літають.

2. «Верблюду» – два вузли працюють самостійно для поліпшення акустичних можливостей 1-го режиму, відокремлення вхідного і вихідного вогню на борту транспортного засобу.

3. «Караван» – мережа вузлів на декількох машинах виявляє і класифікує засоби артилерії та авіацію.

Тактико-технічні характеристики сенсорної системи Camel:

розмір – 14,0×31,5 см, вага – 4,1 кг (включно із системою кріплення);

потужність менше 2 Вт;

напруга живлення – від 12 В до 24 В;

скорегований рух декількох транспортних засобів (за запитом);

система захисту від РЕБ;

корпус із підвищеною міцністю (ударостійкий), водонепроникний;

інтеграція з операційними даними, доступними в транспортному засобі (геопосилання та вогневі позиції/мітки);

інтегрується з такими системами як RWS («Віддалена зброяна станція»), ЕО («Електрооптичні»), BMS & C2 («Система управління бойовим процесом») і «Керування та контролю»).

Додаткові можливості сенсорної системи Camel наведено в таблиці 9.

Таблиця 9

Додаткові можливості сенсорної системи Camel

Клас цілі	Радіус виявлення, м
Жива сила	до 700
Колісна техніка	до 7000
Гусенична техніка	до 15000
Літаки та армійська авіація	до 30000
БпЛА	до 15000
Артилерія	до 20000
Міни	до 8000

На відміну від американських бездротових сенсорних мереж, сенсорна система Primrose компанії Elbit Systems (Ізраїль), розроблена для ЗС цієї країни з метою забезпечити ситуаційну обізнаність у реальному часі [13]. На практиці, установлені на поверхні землі, інтелектуальні сенсорні вузли цієї системи спільно виявляють і відстежують рухи живої сили противника, транспортних засобів та інших подій. За таких умов можуть застосуватися для захисту військ або операцій спеціального призначення, а також для моніторингу державного кордону. Сенсорна система Primrose забезпечує покриття необхідної

зони та високу точність виявлення в режимі 24/7 з надзвичайно низькою кількістю помилкових спрацювань, навіть у складних місцевостях. Вона масштабована і гарантує підтримку значної кількості мініатюрних, просторово розподілених і двонаправлених дистанційно контрольованих вузлів, включаючи акустичні, радарні, сейсмічні, електрооптичні датчики, фотоапарати тощо (рис. 8). Варто усвідомлювати, що кілька таких мереж можуть бути об'єднані разом, заради покриття ще більшої зони. Сучасна енергозберігаюча технологія, що застосована у цій сенсорній системі, забезпечує економне споживання енергії та тривалий термін служби батарей для безперебійного функціонування її вузлів. Кожен пристрій герметичний, захищений від вологи, корозії, електромагнітних та інших впливів, що дає змогу вузлам сенсорної системи працювати протягом тривалого часу в складних погодних умовах й агресивному середовищі. Попри все, сенсорну систему Primrose можна швидко і легко розгорнути. Вона ідеально підходить для використання на горбистих місцевостях або в інших місцях, де пряма видимість неможлива.



Рисунок 8 – Вузли сенсорної системи Primrose

Тактико-технічні характеристики сенсорної системи Primrose:

сейсмоакустичний датчик (клас захищеності IP 68) з тривалістю автономної роботи до 5 років, розмірами 13,5×8,5×6,5 см, вагою – 0,65 кг;

камера (клас захищеності IP 67) забезпечує трансляцію в режимі реального часу 25 кадрів/с через радіоканал. Завдяки інфрачервоному режиму здійснює моніторинг цілодобово;

тривалість автономної роботи системи – до 6 місяців;

розмір – 18×14×6,5 см, вага – 0,65 кг;

працює в діапазоні частот ISM (Industrial scientific and medical («Індустріальні наукові та медичні»));

технології бездротових мереж multi-hop та ad-hoc роблять систему здатною до самоорганізації та самовідновлення.

Сенсорна система Primrose достатньо проста в експлуатації, сумісна з іншими системами моніторингу, має низьку частоту помилкових спрацювань, здатна проводити складний аналіз

даних у фоновому режимі. Додаткові можливості сенсорної системи Primrose наведено в таблиці 10.

Таблиця 10

Додаткові можливості сенсорної системи Primrose

Клас цілі/сенсора	Сейсмоакустичний	Камера
	Радіус виявлення, м	
Жива сила	до 100	до 100
Колісна техніка	до 150	до 130
Гусенична техніка	до 200	до 150

Достатньо ефективною для побудови гнучких автоматизованих систем управління у військовій сфері є також сенсорна система Flexnet компанії Exensor Technology (Швеція). Вона являє собою набір унікальних, мініатюрних і відносно маловартісних вузлів, що призначені для цілодобового спостереження і цільового збору інформації (рис. 9) [13].



Рисунок 9 – Склад сенсорної системи Flexnet

Кожен вузол містить у собі геофон і мікрофон, що дають змогу виявляти та класифікувати живу силу й транспортні засоби противника у межах зони розгортання сенсорної мережі. Системи Flexnet застосовується для захисту військ, операцій спеціального призначення, моніторингу державного кордону та виконання інших операцій із забезпечення національної безпеки.

Вузли цієї сенсорної системи мають компактний розмір, малу вагу, прості у використанні, розгортанні та обслуговуванні й взаємодіють у самоорганізованій, самоконфігурованій мережі. Технологія ad-hoc такої сенсорної сітки передбачає роботу кожного вузла в режимі ретранслятора для збільшення радіуса поширення радіосигналу та підвищення надійності роботи системи загалом.

Тактико-технічні характеристики сенсорної системи Flexnet:

вузли, що визначають своє розташування, а їх положення автоматично відображається на графічному інтерфейсі;

інтерфейс UMRawin C2 надає детальну інформацію про розгорнуту мережу на електронній карті;

розмір – 6,4×9,5×15 см, вага – 0,9 кг;

вбудована GPS;

підтримка технології ad-hoc;

робоча температура – від – 30°C до + 70°C;

тривалість автономної роботи – до 30 діб;

радіус прямої видимості становить 1 км для частот 868–870 МГц;

корпус із підвищеною міцністю (ударостійкий), водонепроникний, випробуваний за стандартом США, що регламентує рівень захисту обладнання від різних зовнішніх впливів (MIL-STD-810F).

Сенсорна система Flexnet швидко розгортається та проста в експлуатації, має змогу інтегруватися до інших сенсорних систем. Додаткові можливості сенсорної системи Flexnet наведено в таблиці 11.

Таблиця 11

Додаткові можливості сенсорної системи Flexnet

Клас цілі	Радіус виявлення, м	Примітка
Жива сила	до 50	Під час пішої ходи
Окопування	до 50	Під час окопування
Транспортні засоби	до 50	Цивільні/легкі
	до 200	Військові/важкі

Наведені в статті основні тактико-технічні характеристики бездротових сенсорних мереж спеціального призначення, їх конструктивні ознаки, особливості функціонування та сфери їх застосування, дають змогу виокремити низку унікальних рис, властивих таким сенсорним системам:

значна просторова та розгалужена геометрична розмірність, де кількість вузлів може сягати десятків, сотень і тисяч;

неоднорідність мережі, що характеризується наявністю стаціонарних і мобільних (рухомих) базових станцій та вузлів;

збір даних моніторингу в реальному часі;

висока динаміка зміни топології, що характеризується відмовами в роботі окремих вузлів, їх знищенням або переміщенням, а також особливостями ведення бойових дій;

обмеженість окремих ресурсів у вузлів мережі, таких як доступна пам'ять, ємність батарей, продуктивність процесорів, потужність радіопередавачів тощо;

різні способи розташування вузлів для забезпечення покриття (детерміновано або випадково);

необхідність реалізації різних варіантів (бар'єрне, площинне, цільове) і типів (к-покриття, α-покриття) покриття для території бойового поля; наявність декількох сенсорних модулів (датчиків) у вузлах, що призводить до різноманітного трафіку моніторингу (дані, відео) з різною інтенсивністю;

комбінування децентралізованого та централізованого підходів до управління;

наявність декількох цільових функцій управління мережею, що змінюються відповідно до бойової обстановки та наявних ресурсів;

обмежені дальність і пропускну здатність каналів радіозв'язку між вузлами.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Проведене нами дослідження підтверджує той факт, що бездротові сенсорні мережі провідних країн світу (США, Великобританії, Ізраїлю, Швеції), з метою забезпечення ефективного виконання різних бойових завдань, активно застосовуються для побудови гнучких автоматизованих систем управління, зокрема C4ISR та її подальших модифікацій, у військовій сфері. На практиці, досвід російсько-української війни свідчить, що вчасне отримання повної та якісної інформації надає оперативну перевагу в боротьбі з агресором. За таких умов, впровадження інноваційних сенсорних систем у сектор безпеки та оборони нашої незалежної держави заради побудови дієвих гнучких автоматизованих систем управління, сприятиме ефективному досягненню заходів, завдань, стратегічних цілей і мети, що затверджені Стратегічним оборонним бюлетенем України. А також відповідатиме стандартам, доктринам і рекомендаціям НАТО, виступить певною гарантією інтеграції національних Збройних сил до гнучкої автоматизованої системи управління оборонними ресурсами держав-членів Північноатлантичного блоку.

У підсумку, наведені в статті тактико-технічні характеристики найбільш застосовуваних на практиці та інноваційно-адаптованих до бойових умов бездротових сенсорних мереж дали змогу запропонувати їх оптимальне та узагальнене призначення для побудови гнучких автоматизованих систем управління у військовій сфері. З огляду на це, маємо констатувати, що сучасна бездротова сенсорна мережа, з метою ведення розвідки, призначена для: функціонування в складному фізико-географічному середовищі, за несприятливого клімату, в різний час доби; цілодобового спостереження (моніторингу) у реальному часі; виявлення, ідентифікації, класифікації вторгнень і загроз у навколишньому просторі; цільового збору інформації, перетворення отриманих даних і зображень, їх обробки, зберігання та передачі через радіочастотні, супутникові (гідроакустичні) канали безпосередньо на командні пункти заради підвищення ситуативної обізнаності, оперативного контролю та своєчасного прийняття оперативних рішень.

Отже, на нашу думку, основними рекомендаціями стосовно подальшого впровадження і застосування бездротових сенсорних мереж, як однієї із головних складових для побудови гнучких автоматизованих систем у

секторі безпеки та оборони України, слід зазначити такі.

Для моніторингу прибережних і морських територій сенсорні системи доцільно застосовувати під час: проведення операцій спеціального призначення; моніторингу стану елементів кораблів; для охорони гаваней і підтримки морських десантних (наступальних) операцій; протидії підводним човнам; захисту підводної інфраструктури та підводних сил; захисту критичної інфраструктури; охорони державного кордону; управління трафіком суден.

Для моніторингу суходолу сенсорні системи доцільно застосовувати з метою: охорони бойових машин, місць розташування військ (військових баз), оборонних позицій підрозділів (з'єднань), маршрутів пересування (конвоїв); моніторингу лінії зіткнення; виявлення мінних полів (вибухових пристроїв), диверсійно-розвідувальних груп і снайперів; моніторингу за логістикою, транспортною інфраструктурою (доріг, мостів, естакад, перехресть тощо); спостереження та охорони об'єктів критичної та енергетичної інфраструктури; забезпечення проведення операцій спеціального призначення; оперативного збору аудіо-відео інформації у важкодоступних і небезпечних районах, зокрема, в будівлях, підвалах; охорони державного кордону; проведення операцій з протидії незаконному обігу наркотиків.

Серед ключових рекомендацій стосовно подальшого інноваційного розвитку вітчизняних бездротових сенсорних мереж в секторі безпеки та оборони України, можна виділити:

створення національних стандартів щодо розробки бездротових сенсорних мереж і побудови на їх основі гнучких автоматизованих систем управління у військовій сфері, гармонізованих та уніфікованих зі стандартами НАТО (особливе значення має опрацювання національних стандартів стосовно розроблення, впровадження та експлуатації бездротових сенсорних мереж для забезпечення їхньої сумісності та взаємодії з іншими сенсорними системами, а також гнучкими автоматизованими системами управління у військовій сфері);

розширення сфери застосування (у віддалених, важкодоступних чи небезпечних районах, лініях зіткнення бойових дій, охорони об'єктів інформаційної та критичної інфраструктури, для збору розвідувальної інформації);

розроблення інтегрованих рішень (бездротові сенсорні мережі, як інтегрована сенсорна система, можуть бути поєднані з іншими безпековими технологіями, зокрема, з елементами (вузлами)

гнучкої автоматизованої системи управління військами згідно стандартів НАТО); забезпечення безпеки даних (важливо удосконалити систему передачі та зберігання даних у бездротових сенсорних мережах, наприклад, шляхом застосування сучасних протоколів шифрування); удосконалення енергоефективності (актуальними є дослідження можливостей збільшення тривалості функціонування вузлів

бездротової сенсорної мережі через вдосконалення систем живлення, використання енергоефективних технологій (протоколів) та альтернативних джерел енергії);

розроблення концептуальної моделі системи управління бездротовими сенсорними мережами, що функціонують із використанням штучного інтелекту, володіють здатністю до самоорганізації і можливістю планування послідовності дій та виконання визначених завдань.

Список бібліографічних посилань

1. Ефективні дії ЗСУ на великій війні спонукали НАТО до покращення командування й розвідки в Альянсі. 21.03.2023. URL: <https://armyinform.com.ua/2023/03/21/efektyvni-diyi-zsu-na-velykij-vijni-sponukaly-nato-do-pokrashhenyua-komanduvannya-j-rozvidky-v-alyansi/> (дата звернення: 23.06.2023). **2. Жук О. В.** Концептуальна модель побудови системи управління безпроводовими сенсорними мережами військового призначення. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в АТО: доп. та тези доп. учасників XI науково-практичної конференції, м. Київ, 8-9 листопада, 2018 р.* Київ : ВІТІ ім. Героїв Крут, 2018. С. 20–28. **3. Жук О. В., Міночкін А. І., Романюк В. А.** Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ».* 2007. № 2. С. 112–119. **4. Жук О. В., Романюк В. А., Бовда Е. М.** Методологія синтезу автоматизованих систем управління телекомунікаційними системами військового призначення. *Збірник наукових праць ВІТІ.* 2017. № 1. С. 36–46. **5. Жук О. В., Романюк В. А., Бовда Е. М.** Управління перспективними неоднорідними безпроводними сенсорними мережами тактичної ланки управління військами: проблема і шляхи рішення. *Збірник наукових праць «Труди університету».* 2017. Вип. 1. С. 171–180. **6. Жук О. В., Романюк В. А., Сова О. Я.** Методологічні основи управління перспективними неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами тактичної ланки управління військами. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення : тези доповідей та виступів учасників IX науково-практичної конференції, м. Київ, 2016 р.* Київ : ВІТІ НТУУ «КПІ», 2016. С. 34–44. **7. Жук О. В., Романюк В. А., Сова О. Я.** Система управління тактичними сенсорними мережами. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ».* 2008. № 2. С. 88–96. **8. Прищепя Т. О., Лисенко О. І.** Безпроводові сенсорні мережі із мобільними сенсорами. *Перспективи телекомунікацій : зб. матер. Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 21–25 квітня 2015 року.* Київ: НТУУ «КПІ»,

2015. URL : <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/104177> (дата звернення: 23.06.2023). **9. Про рішення** Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року "Про Стратегічний оборонний бюлетень України" : Указ Президента України від 06.06.2016 № 240/2016. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2402016-20137> (дата звернення: 23.06.2023). **10. Рішення** Ради національної безпеки і оборони «Про Стратегічний оборонний бюлетень України» від 20.08.2021 №0063525-21 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0063525-21> (дата звернення: 23.06.2023). **11. Указ Президента** України «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 серпня 2021 року "Про Стратегічний оборонний бюлетень України"» від 17 вересня 2021 року № 473/2021 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473/2021#n17>(дата звернення: 23.06.2023). **12. Що таке C4ISR?** Аеророзвідка. 20.09.2022. URL: <https://www.facebook.com/aerorozvidka/posts/5149553421834764/> (дата звернення: 23.06.2023). **13. Arora A., Dutta P., Vapat S., Kulathumani V., Zhang H., Naik V., Mittal V., Cao H., Demirbas M., Gouda M., Choi Y., Herman T., Kulkarni S., Arumugam U., Nesterenko M., Vora A., Miyashita M.** A Line in the Sand: A Wireless Sensor Network for Target detection, classification, and tracking. *Computer Networks.* December 2004. Vol. 46, Is. 5. P. 605–634. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138912860400146X> (дата звернення: 23.06.2023). **14. Militaries** moving from C4ISR and C5ISR to C6ISR. 2023. URL: <https://idstch.com/technology/electronics/militaries-moving-from-c4isr-and-c5isr-to-c6isr/> (дата звернення: 23.06.2023). **15. Warfare** in the post-digital era. 2021. URL: <https://wvellingroom.com/2021/10/05/warfare-in-the-post-digital-era/> (дата звернення: 23.06.2023). **16. Zhuk O. V., Romaniuk V. A., Stepanenko E. A.** Method of collecting monitoring information in wireless sensor networks with uav. *Інформаційно-телекомунікаційні технології та радіоелектроніка УкрМіКо'2018 : тези доповідей та виступів учасників Третьої IEEE Міжнародної конференції, м. Одеса, 10–14 вересня 2018 р.* Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. С. 22–24.

CONCEPTUAL APPROACHES TO THE USE OF WIRELESS SENSOR NETWORKS BY THE ARMIES OF THE WORLD'S LEADING COUNTRIES

Mashtalir Vadym (Doctor of Historical Sciences, Professor) ¹

Zhuk Oleksandr (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor) ¹

Minenko Liudmyla (PhD) ¹

Artyukh Sergiy ²

¹ *National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *Military institute of telecommunications and information technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine*

Russia's war against Ukraine has prompted an objective assessment of existing communication networks and command and control systems, which are configured according to the norms of the C4ISR concept, which stands for «Command and Control, Computers, Communications, Intelligence – Surveillance – Reconnaissance». It is an integrated approach to command and control and coordination of military operations in modern warfare. Today, due to cyber and other threats, this concept has expanded to include seven permanent components – «Command and Control, Computers, Communications, Intelligence - Surveillance - Reconnaissance, Combat systems, Cyber, Collaboration». The abbreviation C7ISR is used to refer to this type of system. In addition, the successful functioning of this system is ensured by additional possible factors and means of «Convergence, Cohesion, Combine, Co-operation, Coordination, Continuous, Connected networks, Multi-clouds». Therefore, the use of new technologies in the military sphere will continue to generate variations of such systems, their names and abbreviations. By their very nature, such communication networks and command and control systems must be able to respond immediately to massive cyber attacks, missile strikes and other threats. During the Russian-Ukrainian war, the use of advanced NATO technologies, in particular through the potential of C4ISR and its subsequent modifications, made it possible to reveal the build-up of enemy troops on the Ukrainian-russian-belarusian border and the aggressor's strongholds. It is flexible automated control systems that respond in a timely manner to the impact of various external factors that allow the Ukrainian military to quickly adapt to the changing situation on the battlefield. The C4ISR system, with the flexible use of additional factors and means (e.g. C5ISR, C6ISR, C7ISR) and its architecture, is optimally adapted to the environment and provides collection and analysis of multidimensional intelligence information on land, in the air and in the water, when there is a significant amount of different types of signals: electronic, electro-optical, infrared and satellite. This helps to improve the process of making operational decisions, ensures their immediate and effective communication to the executors, provides support capability, controls and, if necessary, regulates the implementation of assigned combat tasks. Mobile wireless sensor networks (sensor systems) are a key tool for obtaining, processing and transmitting data that ensure the proper functioning of C4ISR (C5ISR, C6ISR, C7ISR) systems. It should be noted that the Russian-Ukrainian war has highlighted the importance of using sensor systems to obtain intelligence and its comprehensive analysis to ensure effective decision-making by commanders. Rapid deployment, self-organisation and fault tolerance are key features of wireless sensor networks that make them a reliable tool for efficiently performing operational tasks. The purpose of the article is to analyse the tactical and technical characteristics, peculiarities of operation and application of wireless sensor networks of the armies of the world's leading countries with a view to developing professional recommendations for their further implementation in the security and defence sector of Ukraine, and also to guarantee the innovation of development of domestic models of flexible automated control systems in the armed forces of our State. The methods of analysis, synthesis, and forecasting were used to provide a scientifically sound basis for the article. This methodological toolkit made it possible to conceptually characterise NATO's automated command and control systems (C4ISR and extended C7ISR), to reveal the tactical and technical characteristics of special (military) sensor systems, the peculiarities of their functioning, to summarise the purpose of mobile wireless sensor networks of the operational level, and to develop recommendations for the implementation of such systems in the national military sphere and their further innovative development. The article analyses the Strategic Defence Bulletin of Ukraine in terms of the need for total digitalisation of the Ministry of Defence and the General Staff of the Armed Forces of Ukraine and the use of wireless sensor networks for the development of flexible automated control systems in the military sphere. A conceptual description of the NATO military command and control standard is given. An analysis of leading scientific research and publications on the tasks of control using sensor systems, the current state of mobile wireless sensor networks, as well as the prospects for their development and the feasibility of using them to build innovative automated control systems in the Armed Forces of Ukraine is carried out. The article highlights the tactical and technical characteristics, describes the design features and highlights the peculiarities of functioning of sensor systems for special (military) purposes. In particular, the following sensor systems are considered: AUSSNet, Vigilis, REM-Sense, AN/PRS-9A BAIS, BAIS-i, UGS Reconnaissance (ISR), Pathfinder, Claw, Forester, Camel (USA), Mineseeker (UK), Carabas II, Flexnet (Sweden), Primrose (Israel). It was found that acoustic, electro-optical, infrared, magnetic, temperature, accelerometric and seismic sensors are used as part of the sensor systems. The purpose and areas of application are summarised and recommendations for the use of wireless sensor networks in the military sphere of Ukraine, in particular, for the construction of flexible automated control systems for the armed forces, are formulated. The analyses contribute to the deepening of scientific knowledge about the technological, architectural, and design features of individual components (modules) of sensor systems in order to improve them and effectively implement them in the military sphere, which is formed on the basis of the principles and standards of NATO member states. The applied use of mobile wireless sensor networks qualitatively improves the characteristics of the C4ISR automated system and its further modifications, and ensures its optimally adapted integration into automated systems for managing domestic defence resources.

Keywords: *Strategic Defence Bulletin, flexible automated control system, C4ISR, sensor systems, wireless sensor networks, tactical and technical characteristics, advanced technologies for creating sensor systems.*

References

- 1. ArmyInform**, (June 23, 2023). Effective Actions of the Ukrainian Armed Forces during a Large-Scale War Prompted NATO to Improve Command and Intelligence within the Alliance [online]. Available at: <https://armyinform.com.ua/2023/03/21/efektyvni-diyi-zsuna-velykij-vijni-sponukaly-nato-do-pokrashhennya-komanduvannya-j-rozvidky-v-alyansi/> [Accessed : 23 June 2023].
- 2. Zhuk, O. V.**, (2018). Conceptual Model for Constructing Management Systems of Military Wireless Sensor Networks. In Priority Directions of Development of Telecommunication Systems and Networks of Special Purpose, 20–28. Kyiv: VITI named after Heroes of Krut.
- 3. Zhuk, O. V., Minochkin, A. I., & Romaniuk, V. A.**, (2007). Prospects for the Development of Tactical Sensor Networks. Collection of Scientific Works of VITI NTUU «KPI», (2), 112–119.
- 4. Zhuk, O. V., Romaniuk, V. A., & Bovda, E. M.**, (2017). Methodology for Synthesizing Automated Management Systems for Military Telecommunication Systems. Collection of Scientific Works of VITI, (1), 36–46.
- 5. Zhuk, O. V., Romaniuk, V. A., & Bovda, E. M.**, (2017). Management of Prospective Heterogeneous Wireless Sensor Networks of Tactical Control Units: Problem and Solutions. Collection of Scientific Works «Trudi universiteta», 1, 171–180.
- 6. Zhuk, O. V., Romaniuk, V. A., & Sova, O. Y.**, (2016). Methodological Foundations for Managing Prospective Heterogeneous Wireless Sensor Networks of Tactical Control Units. In Priority Directions of Development of Telecommunication Systems and Networks of Special Purpose, 34–44. Kyiv: VITI NTUU «KPI».
- 7. Zhuk, O. V., Romaniuk, V. A., & Sova, O. Y.**, (2008). Tactical Sensor Network Management System. Collection of Scientific Works of VITI NTUU «KPI», 2, 88–96.
- 8. Prishchepa, T. O., & Lysenko, O. I.**, (2015). Wireless Sensor Networks with Mobile Sensors. In Perspectives of Telecommunications, 104177. Kyiv: NTUU «KPI» [online]. Available at: <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/104177> [Accessed : 23 June 2023].
- 9. President of Ukraine**, (2016). Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated May 20, 2016, «On the Strategic Defense Bulletin of Ukraine». Decree No. 240/2016 [online]. Available at: <https://www.president.gov.ua/documents/2402016-20137> [Accessed : 23 June 2023].
- 10. National Security and Defense Council**, (2021). Decision on the Strategic Defense Bulletin of Ukraine. Decision No. n0063525-21 [online]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0063525-21> [Accessed : 23 June 2023].
- 11. President of Ukraine**, (2021). Decree on the Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated August 20, 2021, «On the Strategic Defense Bulletin of Ukraine». Decree No. 473/2021 [online]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473/2021#n17> [Accessed : 23 June 2023].
- 12. Aerial Reconnaissance**, (2022). What is C4ISR? [online]. Available at: <https://www.facebook.com/aerorozvidka/posts/5149553421834764/> [Accessed : 23 June 2023].
- 13. Arora, A., Dutta, P., Bapat, S., Kulathumani, V., Zhang, H., Naik, V., Mittal, V., Cao, H., Demirbas, M., Gouda, M., Choi, Y., Herman, T., Kulkarni, S., Arumugam, U., Nesterenko, M., Vora, A., Miyashita, M.**, (2004). A Line in the Sand: A Wireless Sensor Network for Target Detection, Classification, and Tracking. *Computer Networks*, 46(5), 605–634 [online]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138912860400146X> [Accessed : 23 June 2023].
- 14. IDSTCH**, (2023). Militaries moving from C4ISR and C5ISR to C6ISR [online]. Available at: <https://idstch.com/technology/electronics/militaries-moving-from-c4isr-and-c5isr-to-c6isr/> [Accessed : 23 June 2023].
- 15. Wavell Room**, (2021). Warfare in the Post-Digital Era [online]. Available at: <https://wavellroom.com/2021/10/05/warfare-in-the-post-digital-era/> [Accessed : 23 June 2023].
- 16. Zhuk, O. V., Romaniuk, V. A., & Stepanenko, E. A.**, (2018). Method of Collecting Monitoring Information in Wireless Sensor Networks with UAV. In Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics UkrMiCo'2018, 22–24. Odessa: ONAZ named after O. S. Popov.