

## ЗАСТОСУВАННЯ ВИЯВЛЕНИХ СИГНАТУР КОРАБЕЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ РЛС ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ МОРСЬКОЇ СИТУАЦІЙНОЇ ОБІЗНАНОСТІ

### Коновець В. І.

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
провідний науковий співробітник  
Науково-дослідного центру «Державний океанаріум»  
Інституту Військово-Морських Сил  
Національного університету «Одеська морська академія»  
ORCID ID: 0000-0002-5354-4234  
Scopus: 58697389400*

### Руденський Р. В.

*начальник науково-дослідного відділу  
Науково-дослідного центру «Державний океанаріум»  
Інституту Військово-Морських Сил  
Національного університету «Одеська морська академія»  
ORCID ID: 0000-0002-0367-7880*

### Шишкін О. В.

*доктор технічних наук, доцент, професор  
кафедри Електронних комплексів судноводіння  
Національного університету «Одеська морська академія»  
ORCID ID: 0000-0002-9781-9391  
Scopus: 24537803200*

### Плешко Е. А.

*кандидат юридичних наук, провідний науковий співробітник  
Науково-дослідного центру «Державний океанаріум»  
Інституту Військово-Морських Сил  
Національного університету «Одеська морська академія»  
ORCID ID: 0009-0005-9637-3497*

**Анотація.** У статті розглянуті нові технологічні можливості у вирішенні задачі розпізнавання радіолокаційних сигналів, що випромінюються корабельними навігаційними радіолокаційними станціями (РЛС) для їхньої ідентифікації з точністю до конкретного корабля. Ідентифікація здійснюється за допомогою аналізу індивідуальних особливостей сигналів, які притаманні конкретній РЛС через технологічну недосконалість виготовлення апаратури. Сукупність цих особливостей формує так звану сигнатуру РЛС, яка аналогічна біометричним особливостям людини, на кшталт відбитку пальця. Обґрунтована важливість виявлення сигнатур радіолокаційних сигналів у системі військової радіотехнічної розвідки (РТР). Встановлено, що надійна ідентифікація може бути встановлена за допомогою реалізації двох рівнів обробки сигналів: базового (з обмеженим набором ознак) та специфічного з великою кількістю індивідуальних ознак, що формуються у часовому та частотному вимірах радіолокаційних сигналів. При цьому процес ідентифікації базується на використанні спеціалізованої бази даних сигнатур. Розглянуті вимоги до апаратно-програмного забезпечення РТР з урахуванням необхідності детального аналізу сигналу рівня специфічної ідентифікації випромінювачів, обробки великих масивів даних та досягнень сучасної мікроелектроніки з використанням радіочастотної технології «система на кристалі». Запропонована структура записів параметрів сигналів у базі даних випромінювачів радіолокаційних станцій для їх накопичення, зберігання та використання в обладнанні РТР. Доведено, що використання отриманих результатів ідентифікації корабельних РЛС важливе для отримання досконалої поточної морської ситуаційної обстановки. При цьому розвідка здійснюється приховано за допомогою виявлення та обробки сигналів радарів кораблів противника. Акцентована значущість РТР як джерела додаткової релевантної інформації для формування визнаної морської обстановки.

**Ключові слова:** *сигнатура РЛС, радіотехнічна розвідка (РТР), ідентифікація, оперативне розміщення сил противника (ОРСП), визнана морська обстановка (ВМО), база даних радіолокаційних випромінювачів.*

## Konovets V. I., Rudenskiy R. V., Shyshkin O. V., Pleshko E. A. APPLICATION OF DETECTED SIGNATURES FROM THE WARSHIPS' NAVIGATION RADARS TO IMPROVE MARINE SITUATION AWARENESS

**Abstract.** The article addresses the new technological possibilities in solving the problem of recognizing radar signals emitted by the warships' navigational radar stations (Radar) for their identification with accuracy to an individual ship. Identification is carried out by analyzing the individual characteristics of signals that are inherent to a specific radar due to the technological imperfection of the equipment manufacturing. The set of these features forms the so-called radar signature, which is similar to the biometric features of a person, like a fingerprint. The importance of detecting signatures of radar signals in the system of the military signal intelligence (SIGINT) is demonstrated. It was established that reliable identification can be carried out by implementing two levels of signal processing: basic (with a limited set of features) and specific with a large number of individual features formed in the time and frequency domains of radar signals. At the same time, the identification process is based on the use of a specialized database of signatures. The requirements have been considered for SIGINT hardware and software, taking into account the need for detailed signal analysis on the emitter specific identification level, as well as processing of large data sets and achievements of modern microelectronics using radio frequency technology "system on a crystal". The structure of the signal parameters records into the database of radar stations emitters for their accumulation, storage and using in SIGINT equipment is proposed. It has been proven that the use of the obtained results of identification of the ship's radars is important for obtaining a perfect current maritime situational awareness. At the same time, the intelligence is carried out covertly by detecting and processing radar signals of the enemy warships. It is emphasized the importance of SIGINT as a source of additional relevant information for the formation of a recognized maritime awareness.

**Key words:** Radar signature, Signal Intelligence (SIGINT), Identification, Opposition Forces Order of Battle (OPFOR ORBAT), Recognised Maritime Picture (RMP), Radar Emitter Database (REDB).

**Актуальність проблеми.** Уся історія людства, починаючи від первісного ладу до сьогоднішніх днів, тісно пов'язана з війнами. З кожним етапом розвитку цивілізації достовірна інформація та обізнаність про противника відігравали дедалі важливішу, а згодом і вирішальну роль, у здобутті перемоги у військовому конфлікті. В умовах сучасних війн, обізнаність про противника є базовим обґрунтуванням для ухвалення рішень військовим командуванням і основним фактором, який визначає успіх військових операцій.

У нормативних документах НАТО поняття морської ситуаційної обізнаності (МСО) (англ. Maritime Situational Awareness, MSA) визначається як ефективне розуміння пов'язаної з морською сферою діяльності [1, 2]. В документах Міністерства оборони України є пряма вказівка на можливість використання відповідних стандартів НАТО [3]. МСО – це комплексне об'єднання даних про морську обстановку від усіх доступних джерел інформації, що забезпечує ефективність планування та дає інформаційну перевагу під час проведення операцій у морській сфері.

Ефективне розуміння виникає за умови, коли особи, які ухвалюють рішення, отриму-

ють релевантну інформацію, що дає їм змогу ухвалювати адекватні рішення. Термін «ефективне розуміння» також вказує на те, що вимоги до інформації варіюються залежно від місії або завдання.

Одним з основних завдань МСО є надання даних про оперативне розміщення сил противника (ОРСП), яке включає розташування, активність суден та іншу, важливу для розуміння морської обстановки, інформацію. Технічні засоби МСО покликані підтримувати актуальність наданої інформації шляхом:

- безперервного збору, опрацювання та аналізу даних з морського домену;
- візуалізації поточної картини;
- зберігання отриманих даних;
- проведення ретроспективного аналізу.

Як відомо, військова діяльність циклічна і зазвичай описується моделлю Спостерігай – Орієнтуйся – Вирішуй – Дій, яка передбачає багаторазове циклічне повторення цих чотирьох послідовних взаємодіючих процесів. Фактично, відбувається розвиток ситуації по спіралі, де на кожному витку здійснюється взаємодія із зовнішнім середовищем і вплив на противника [4, 5].

Аналогічні циклічні процеси відбуваються і під час формування МСО (рис. 1).

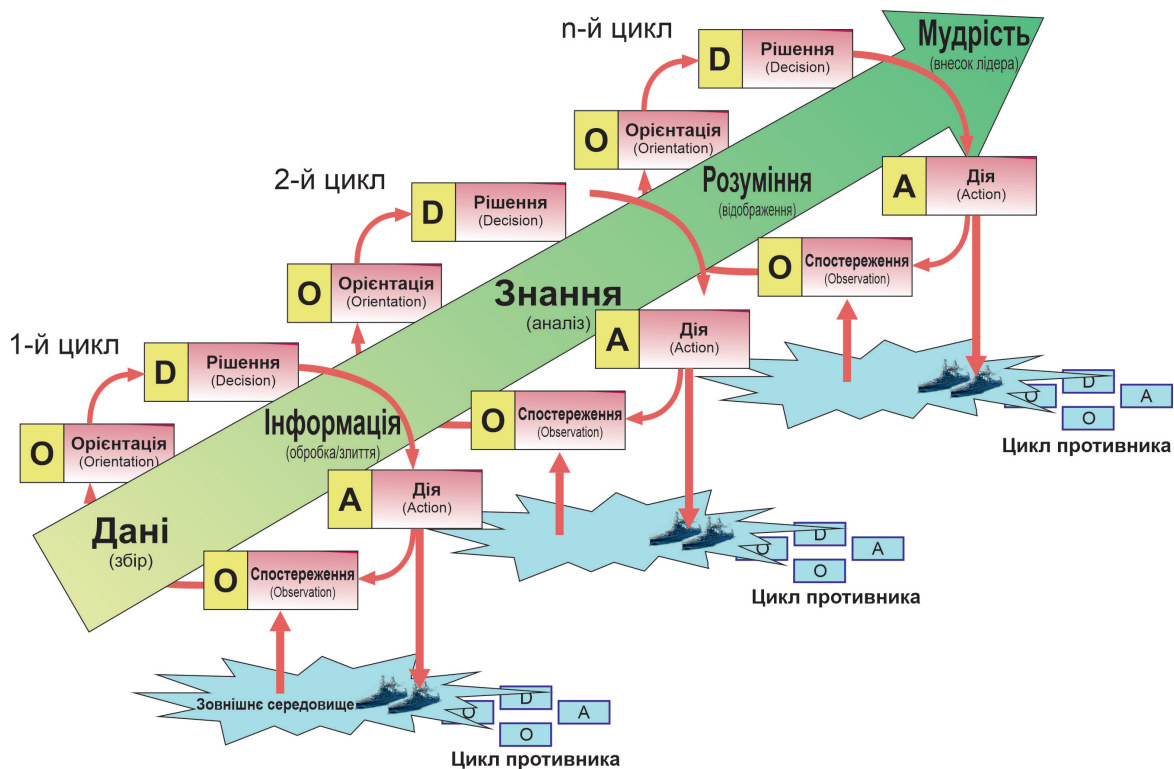


Рис. 1. Процес формування МСО

Досягнення конкурентної переваги над противником, згідно з моделлю, може бути досягнуто двома шляхами:

1. Зробити свої цикли дій швидшими. Це дасть змогу почати діяти першим і змусить противника реагувати на ваші дії.

2. Поліпшити якість прийнятих рішень, тобто ухвалювати рішення, які більшою мірою відповідають поточній ситуації, ніж рішення противника.

Підвищення якості інформованості, а отже, і швидкості виконання циклу, може бути досягнуто в системі МСО шляхом використання більшої кількості різноманітних джерел релевантної інформації для відповідних завдань.

Одним із таких джерел може виступати служба радіотехнічної розвідки (РТР), яка виконує моніторинг електромагнітного спектра з метою виявлення випромінювання РЛС надводних кораблів противника та ідентифікації конкретних носіїв за характеристиками їхніх випромінювачів.

Обладнання РТР – пасивне, що забезпечує приховане ведення розвідки. Дальність виявлення надводних цілей за їхніми радіолокаційними сигналами досить велика і переви-

щує дальність виявлення цілей як наземними оптичними засобами, так і активними радіолокаційними станціями.

Таким чином, використання служби РТР для отримання релевантних даних і формування ОРСП в інтересах МСО, безумовно, є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основним продуктом МСО є Визнана Морська Обстановка/Recognised Maritime Picture (ВМО/RMP). Це візуалізація морської обстановки, де морські об'єкти, після виявлення, були класифіковані за рівнями загрози і їм присвоєно категорію розпізнавання («свій», «чужий», «дружній», «нерозпізнаний» і т.п.), і номер треку (позначки) [1].

Термін «Визнана» використовується для позначення того, що обстановку було оцінено до її поширення. Інакше кажучи, замість взаємообміну даними між джерелами, первинні дані спочатку передаються до спеціального органу для копіювання, оцінювання та подальшого поширення як визнану (тобто осмислену й оцінену) морську обстановку.

ВМО формується на основі даних від усіх доступних джерел інформації про морську обстановку в зоні інтересу та охоплює

всі надводні, підводні, військові та цивільні об'єкти.

Модель побудови системи візуального відображення МСО, з включеними до неї даними ВМО, наведена на рисунку 2 [6]. У ній формування ВМО відбувається на основі злиття окремих шарів з різними даними про морські операційні об'єкти, де:

- Шар «Мапа» – являє собою цифрову мапу області інтересів.
- Шар «Дані навколишнього середовища» – являє собою шар із метеорологічними даними, які надходять від зовнішньої інформаційної системи.
- Шари, дані та операції, що беруть участь у формуванні ВМО:
- Оновлення розвідданих – дані, які безперервно надходять із донесень від різних служб і активів, що беруть участь у накопиченні інформації, про місця розташування спостережуваних надводних цілей.
- «БД треків» – запис і зберігання динамічних даних, про спостережувані надводні цілі. Видача динамічних даних про їхні переміщення в ретроспективі за запитом користувача.
- «БД суден» – база даних різноманітних статичних характеристик надводного операційного об'єкта «Судно».

- «Треки пов'язані з суднами» – являє собою шар із треками морських об'єктів, уже пов'язаних із конкретними суднами;

- «Кораблі із застарілими позиціями» – останні місця розташування суден, які вже давно не спостерігаються.

- «Інші Треки» – треки, що перебувають на розгляді, і ще не пов'язані з конкретними операційними надводними об'єктами «Судно».

- «Позитивно визначені треки» – треки, пов'язані з конкретними суднами. Пов'язування здійснює вахтовий офіцер морського операційного центру, який формує ВМО, виходячи з аналізу розвідданих, що безперервно надходять.

- Шар «Користувацький» – шар із нанесеними користувацькими даними (межі зон, різні позначки, фігури тощо).

- Шар «Загальна оперативна обстановка» – шар із визнаними повітряною та наземною обстановками.

- Самий верхній шар являє собою Графічний інтерфейс користувача з органами управління (кнопки, меню тощо).

Бази даних системи МСО наповнюються корисною інформацією з усіх можливих джерел – як відкритих, так і закритих.

Рекомендований у НАТО перелік параметрів надводного оперативного об'єкта «вій-

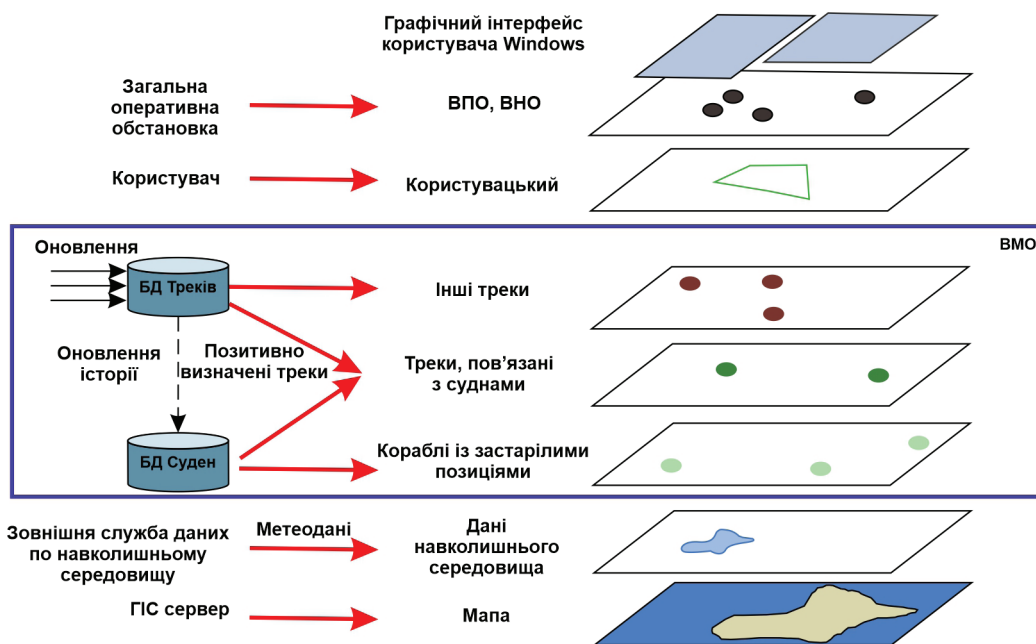


Рис. 2. Формування та візуалізація користувачеві ВМО [6]

ськовий корабель» у системі МСО включає: тип, назву, курс, швидкість, довжину, ширину, водотоннажність, озброєння тощо [6].

Інформація щодо цивільних суден може бути зібрана як зі статистичних зовнішніх баз даних, на кшталт World Port Index (WPI), так і від динамічних джерел, таких як система автоматичної ідентифікації суден (AIS) та система далекого розпізнавання і стеження за суднами (LRIT), а також з даних, визначених оператором.

Інформація про військові кораблі може надходити із систем: Tactical Data Link, оптичного та радіолокаційного спостереження, звітів спостерігачів та інших джерел. Збір даних здійснюється обладнанням, розміщеним на різних платформах.

Останнім часом у НАТО активізувалися зусилля зі збору різноманітної інформації про противника шляхом моніторингу електромагнітного спектра випромінювання радарів на його об'єктах [7]. Для цілей МСО становить інтерес використання цих даних для формування ОРСП.

Для ідентифікації емітерів зазвичай використовують спеціальну базу даних «Emitter Database». У НАТО поточну Emitter Database (NEDB) представлено в [8].

З розвитком РЛС за рахунок використання в них складних типів модуляції сигналів, ця база даних втрачала актуальність і згодом перестала задовольняти вимогам користувачів. Тому в НАТО було ухвалено рішення про розроблення нової веб-орієнтованої бази даних випромінювачів НАТО – NEDB Next Generation (NEDB-NG), яка наразі перебуває на етапі впровадження [9].

Відомі також комерційні бази даних радіолокаційних випромінювачів (REDB) [10], які певною мірою схожі з NEDB-NG. За своїми функціональними можливостями, структурою і набором збережених даних, ці бази даних можна вважати подібними та визначити їх як універсальні, довідкові бази даних.

Найчастіше вони знаходять застосування в різноманітному обладнанні радіоелектронної боротьби (РЕБ), однак, для використання в МСО вони не придатні, оскільки прив'язка характерних ознак радарів у них здійснюється тільки на рівні типів.

Для формування ОРСП системі МСО потрібне отримання різноманітних відомостей

про конкретні активи у складі сил противника з метою їх ідентифікації.

Після відповідної адаптації, до вирішення цього завдання може бути залучена система РТР. Це потребуватиме:

- включення до її складу розширеної бази даних із сигнатурами радіолокаційних сигналів та їх прив'язкою до носія;
- використання недорогого, мобільного і малогабаритного обладнання РТР, яке можна використовувати в театрі бойових дій на носіях різного типу.

#### **Мета дослідження:**

1. На основі аналізу завдань, які вирішує РТР у складі різних варіантів цільового використання, визначити шляхи модернізації типового РТР для застосування його як додаткового сенсора даних у процесі формування ВМО.

2. Запропонувати розширення бази даних сигналів радарів для зберігання та використання при проведенні ідентифікації носія за його радіолокаційним випромінюванням.

3. Сформулювати загальні вимоги до обладнання РТР для цих цілей (розумна вартість/габарити), з урахуванням можливості його встановлення на різних носіях (берег, катер, дрон морський, дрон повітряний).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** 1. Аналіз можливості застосування готових рішень з метою отримання інформації для МСО

Системи РТР контролюють електромагнітний спектр шляхом вимірювання параметрів перехоплених сигналів і використовують ці дані для ідентифікації радара (рис. 3).

Радари можна класифікувати за їхніми унікальними характеристиками. Деякі з яких можуть бути виміряні безпосередньо, інші мають бути отримані на основі вимірюваних параметрів.

Зазвичай, вимірювання характерних параметрів сигналу є непростим завданням і виконується програмним шляхом у кілька етапів. Так, уже на першому з них, часто виникає необхідність розв'язання задачі відновлення (деперемежування) сигналів окремих радарів зі змішаної послідовності імпульсів, що надходить на вхід приймального тракту, одразу від декількох радарів (рис. 4) [11, 12].



Рис. 3. Спрощена функціональна схема обладнання РТР

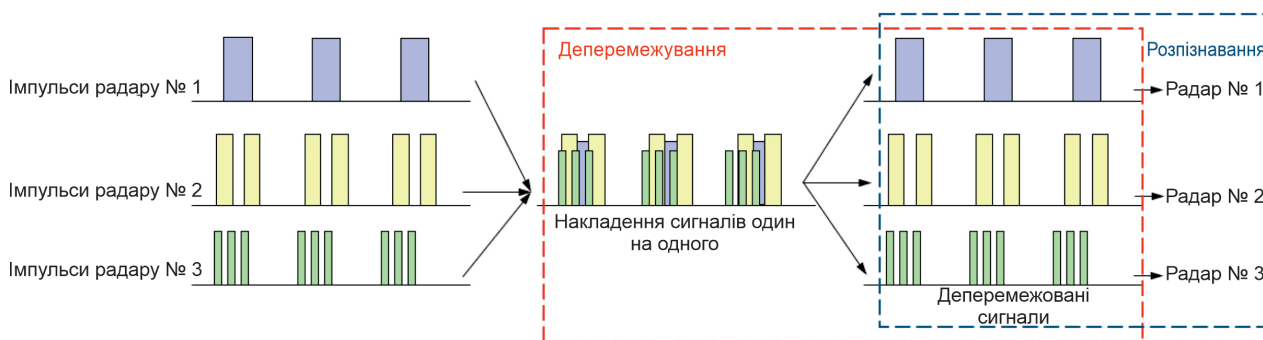


Рис. 4. Процес відновлення зі змішаної послідовності сигналів окремих радарів

На наступному, після деперемежування, етапі визначають характеристики сигналів радарів і виконують ідентифікацію їхніх типів. Важливу роль у виконанні останнього етапу відіграє REDB.

#### 1.1. Використання РТР на кораблях

Станції РТР, як правило, входять до складу корабельних комплексів радіоелектронної боротьби (РЕБ) (рис. 5) і відіграють важливу роль в організації захисту корабля. Їхнє завдання полягає у:

- виявленні радіолокаційних випромінювань;
- їх класифікації;
- підготовці пропозицій щодо постановки перешкод;
- управлінні засобами радіоелектронної протидії;
- оптимізації параметрів випромінюваних цими засобами сигналів.

Розв'язання цього завдання можна розділити на такі етапи:

- виявлення загрози з повітря, наприклад, сигналу радіолокаційної головки самонаведення ракети;
- визначення напрямку загрози;

- автоматична, або під контролем оператора, активація захисту;
- відображення інформації оператору.

Наявність в арсеналі противника протикорабельних ракет, з радіолокаційними головками самонаведення різного типу, визначає необхідність високошвидкісного сканування всього частотного діапазону їхнього можливого випромінювання (2-18 ГГц). Для цього у складі технічних засобів РТР передбачають велику кількість трактів обробки сигналів, що працюють паралельно, у вузьких піддіапазонах (рис. 5) [13].

Модуль «Виявлення активності радару» виконує роль приймача RWR (radar warning receiver) і перемикача, завдання якого – під'єднання модуля «Вимірювання параметрів сигналу» до відповідного тракту приймання в і-му піддіапазоні, в якому виявлено випромінювання радару.

Модуль «Вимірювання параметрів сигналу» виконує вимірювання характерних параметрів сигналу – сигнатури.

Модуль «База даних REDB» із сигнатурами радіолокаційних сигналів має забезпечувати ідентифікацію загрози для організації її відбиття.

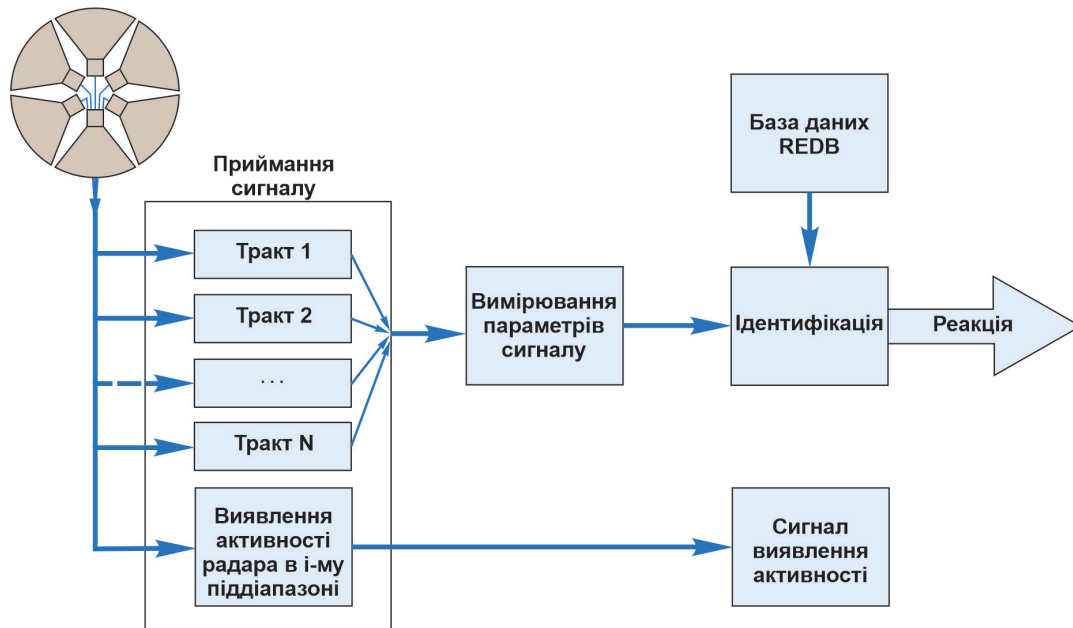


Рис. 5. Спрощена функціональна схема обладнання РТР на кораблі

Ідентифікація загрози, в цьому випадку – це визначення типу радару з прив’язкою до носія (ракета, літак, вертоліт). Для налаштування ефективної радіоелектронної протидії загрозі, інформація про характеристики сигналу радару має бути достатньою повноти.

Оперативність ухвалення рішення є однією з головних вимог у цьому варіанті призначення обладнання РТР.

Завдання з визначення поточного місця розташування повітряних цілей та їхнього автосупроводу, на корабельні станції РТР, зазвичай, не покладаються.

Таким чином, сучасна корабельна станція РТР є складним і дорогим обладнанням.

### 1.2 Застосування пасивних РЛС

Берегові пасивні РЛС (ПРЛС) орієнтовані на виявлення випромінювань корабельних радарів усіх типів.

Їхні завдання полягають у:

- виявленні сигналів корабельних РЛС;
- пеленгації (просторової селекції) виявлених РЛС;
- вимірюванні частотних і часових параметрів перехоплених сигналів;
- селекції прийнятих сигналів за просторовими, частотно-часовими параметрами та створенні формулярів цілей;
- аналізі параметрів сигналів РЛС та ідентифікації типу їхнього джерела, шляхом порів-

няння вимірних значень зі збереженими в локальній REDB;

– автосупровід спостережуваних корабельних РЛС.

ВМС України використовують ПРЛС, яка входить до складу комплексу Мінерал-У [14], і працює в широкому спектрі частот, що дає змогу виявляти сигнали корабельних РЛС різного призначення в широкому діапазоні частот (I, G, E/F, D). Це обґрунтовано, оскільки корабельні радарі різного типу працюють у різних частотних діапазонах.

Слід зазначити, що для формування ОРСП вимога роботи станції РТР у великій кількості діапазонів (I, G, E/F, D) випромінювання корабельних РЛС є надлишковою і тягне за собою здорожчання комплексу обладнання, ускладнює його роботу, збільшує габарити та масу. Усі ці фактори унеможливають установку станцій РТР на невеликі надводні платформи типу катери та морські безпілотні надводні комплекси, використання яких, як носіїв сенсорів, може розширити можливості отримання релевантної інформації для МСО.

Крім того, ідентифікація радарів за їхнім типом є недостатньою для ідентифікації носія радару та отримання релевантної інформації для складання ОРСП.

### 2. База даних для РТР

Як було показано вище, локальна база даних випромінювачів радарів REDB входить до складу всіх станцій РТР різного призначення, де використовується для надання даних у процесі ідентифікації та класифікації перехоплених сигналів радарів противника.

Її формування та оновлення здійснюється на основі даних із поточної довідкової універсальної бази даних.

Потреба в оновленні універсальної бази даних NEDB для відповідності її вимогам сьогодення, була позначена членами альянсу НАТО ще у 2016 році. [9]. Базові вимоги до NEDB-NG формулювалися як відповідність збережених характеристик радіолокаційних сигналів реаліям сьогодення. Перелік характеристик, що містяться в NEDB-NG, наведено в [8].

Наповнення універсальної REDB, як правило, являє собою окреме завдання. Релевантні дані надходять із декількох джерел. Серед них: служби РТР, доступна технічна інформація виробників РЛС тощо.

Універсальні бази даних використовують як довідник [15] і основу для створення локальних REDB і вбудованих в обладнання РТР.

Для включення в REDB насамперед відбирають Базові відмінні характеристики імпульсного радара, які можуть бути безпосередньо виміряні засобами РТР [16, 17]:

- радіочастота (несуча) (RF);
- ширина імпульсу (PW) або тривалість імпульсу (PD);
- інтервал повторення імпульсів (PRI);
- закономірності сканування і швидкість сканування;
- діаграма спрямованості: характеристики спрямованості променя радіолокатора;
- поляризація (орієнтація електромагнітної хвилі).

На наступному етапі мають бути визначені розширені параметри, наприклад, параметри внутрішньоімпульсної модуляції (ВІМ). Параметри ВІМ сигналів радарів є ключовими для ідентифікації та класифікації сигналів РЛС. Деякі з них наведено на рисунку 6 [18].

Зазначені ключові характеристики ВІМ-сигналу спільно з іншими параметрами, можна використовувати для ідентифікації сигналу.

Проведені дослідження показали:

1. Наявні типові рішення РТР на кораблях не дають змоги визначити позицію носія з випромінювачем та ідентифікувати носій.
2. Берегова ПРЛС може визначити позицію носія з випромінювачем, але також не в змозі ідентифікувати носій.
3. Розглянуті варіанти застосування обладнання РТР, через свою дорожнечу і громіздкість виконання, не можуть бути застосовані на маломірних носіях.

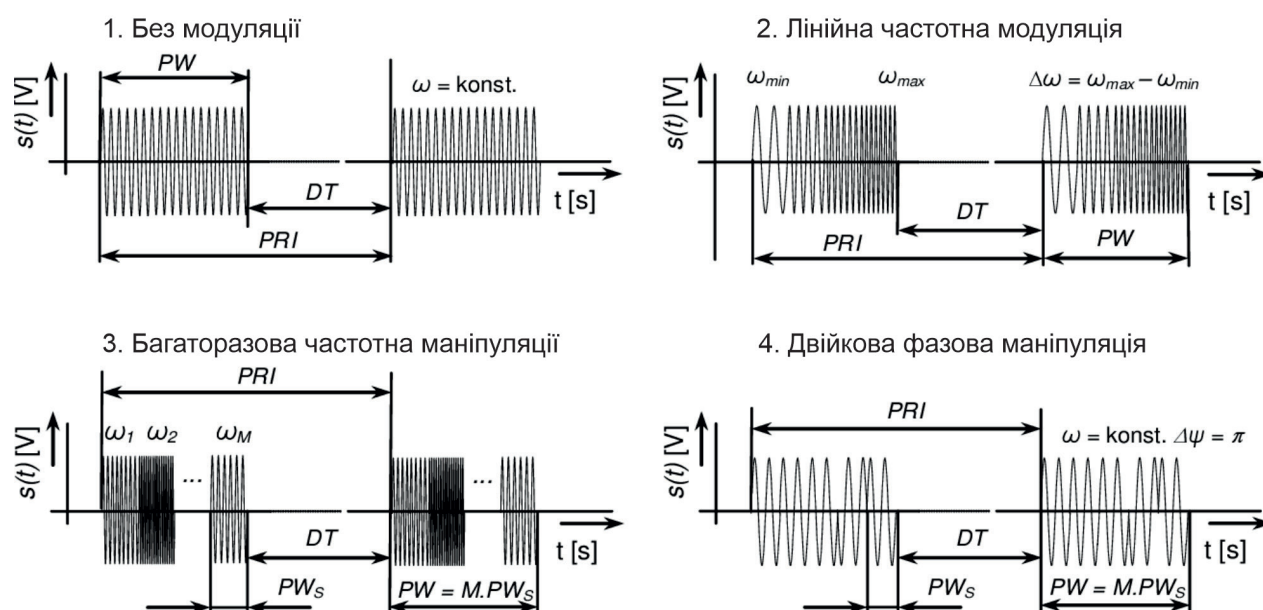


Рис. 6. Приклади ВІМ сигналів РЛС



4. Зазвичай, тактичні засоби РТР мають вбудовані бази даних, адаптовані під завдання. Їхнє використання для формування ОРСП, у рамках МСО, не є можливим без внесення характерних ознак екземпляра радара для ідентифікації його носія.

3. Принципи та підходи до побудови станцій РТР для цілей МСО

3.1. Вибір корабельного радара для відстеження

Побудова розгалуженої мережі сенсорів на базі мобільних станцій РТР, що забезпечують збір релевантних даних для ОРСП, безумовно, передбачає їхнє розміщення на якомога більшій кількості носіїв. При цьому істотне значення матимуть компактність, невисока вартість і простота експлуатації обраного технічного рішення.

Проаналізуємо напрями спрощення технічних рішень для станції РТР. Одне з можливих рішень – скорочення типів випромінювачів, сигнали яких доцільно перехоплювати й аналізувати.

Розглянемо як можна реалізувати це рішення без втрати функціональності. Як приклад проаналізуємо відомий склад радарів на кораблях ВМС КНР [19].

До їхнього складу входять:

- РЛС виявлення та розвідки;
- РЛС раннього попередження;
- РЛС управління стрільбою і цілевказання;
- навігаційна РЛС;
- багатофункціональна система радіолокаційного спостереження з фазованою антенною решіткою;
- РЛС наведення ракет.

Момент увімкнення і період роботи тієї чи іншої корабельної РЛС визначається завданням, для якого вона призначена. Природно припустити, що з усього переліку найчастіше використовуються навігаційні РЛС.

Цьому є просте пояснення – військові кораблі повинні дотримуватися правил МППСС-72 [20], які, зокрема, ПРАВИЛО 5 – СПОСТЕРЕЖЕННЯ, вимагає безперервної роботи навігаційної РЛС, за винятком особливих випадків.

Судячи з нормативних документів ВМФ рф, його кораблі також повинні дотримуватися цього Правила.

Для зниження демаскувальних ознак у ВМС КНР, як і на кораблях НАТО, найчастіше використовують типові навігаційні РЛС для комерційного флоту. Їхні характеристики наведено в [21].

Наприклад, військові кораблі КНР оснащені типовою комерційною навігаційною РЛС моделі RM-1290.

Ще одним аргументом на користь відстеження саме сигналів навігаційних РЛС є той факт, що на катерах, малих суднах і допоміжних суднах флоту противника перелік бортових РЛС різко скорочується. Як правило, залишається РЛС тільки одного призначення – навігаційна. Відстеження й аналіз тільки їхніх сигналів, дасть змогу:

- звузити частотний діапазон сканування РТР, обмеживши його межі частотами, використовуваними навігаційними РЛС;
- спростити та здешевити конструкцію практично без втрати функціональності;
- використовувати більш спеціалізовані алгоритми аналізу саме сигналів корабельних навігаційних РЛС.

3.2 Використання специфічної ідентифікації випромінювачів (SEI)

Класична ідентифікація радіолокаційного сигналу, що ґрунтується на аналізі основних вимірюваних параметрів, як-от радіочастота (RF), ширина імпульсу (PW), інтервал повторення імпульсу (PRI), параметри ВІМ, дає змогу визначити конкретний тип або модель радара, однак, не надає змоги для розрізнення окремих зразків однієї й тієї ж моделі радара.

Для розрізнення на рівні окремих екземплярів радарів використовують специфічну ідентифікацію випромінювача (Specific Emitter Identification, SEI), яка дає змогу виявляти тонкі, часто ненавмисні варіації, що виникають у сигналі радара через нелінійність апаратних компонентів передавача радара (рис. 7). Іншими словами, SEI за індивідуальними характеристиками, свого роду «відбитками пальців» (Radio-Frequency Fingerprint), розрізняє екземпляри радарів.

Вимірювання радарного випромінювання в рамках SEI виконуються детально і порівнюються з дуже детальною базою даних SEI. Тут результатом є ідентифікація екземпляра радара.

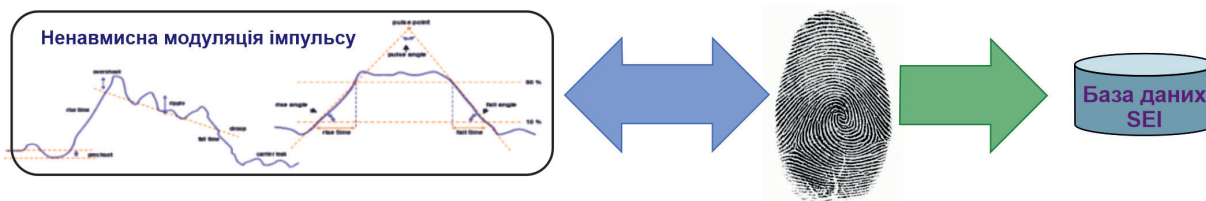


Рис. 7. Специфічна ідентифікація випромінювача

Сучасні радары широко застосовують ВІМ. Однак, слід розрізняти:

- навмисну (Intentional Modulation on Pulse, ІМОР) – спеціально введenu, функціональну модуляцію, яка використовується для поліпшення характеристик виявлення цілей. Саме її параметри використовуються як відмінні ознаки для визначення типу РЛС.

- ненавмисну (Unintentional Modulation on Pulse, УМОР) імпульсну модуляцію – нефункціональну (паразитну) модуляцію зонduючого імпульсу. Її походження зумовлене неідеальністю апаратних компонентів радара, і вона не може бути усунена. Нелінійності в генераторі, модуляторі та джерелі живлення радара, старіння елементів через температуру і неправильне використання – вплив всіх цих чинників призводить до появи своїх характерних особливостей в зондуючих сигналах кожного екземпляра радарів одного типу. Саме ці особливості використовуються для SEI.

На рисунку 8 показано, як працює ідентифікація SEI [22].

Проведені дослідження показують, що використання в межах SEI характеристик УМОР може слугувати основою для формування набору відмінних ознак, що ідентифікують конкретний радар.

### 3.3 Вимоги до обладнання РТР

Вимірювання параметрів УМОР, які можуть вказувати на конкретні зразки радарів (аналіз рівня SEI), вимагає використання передових методів цифрового оброблення сигналів і сучасної елементної бази електронних компонентів.

Апаратна платформа для детального аналізу сигналу рівня SEI, передбачає використання високошвидкісних аналого-цифрових перетворювачів широкосмугових високочастотних сигналів і потужних процесорів для обробки великих масивів даних.

Рішення, які сучасна мікроелектроніка пропонує сьогодні для обробки радіолокаційних сигналів, називають Адаптивні SoC (System-on-Chip, «система на кристалі»). Серед них слід відзначити: AMD Zynq™, UltraScale+™ RFSoc та адаптивні SoC AMD Versal. Вони

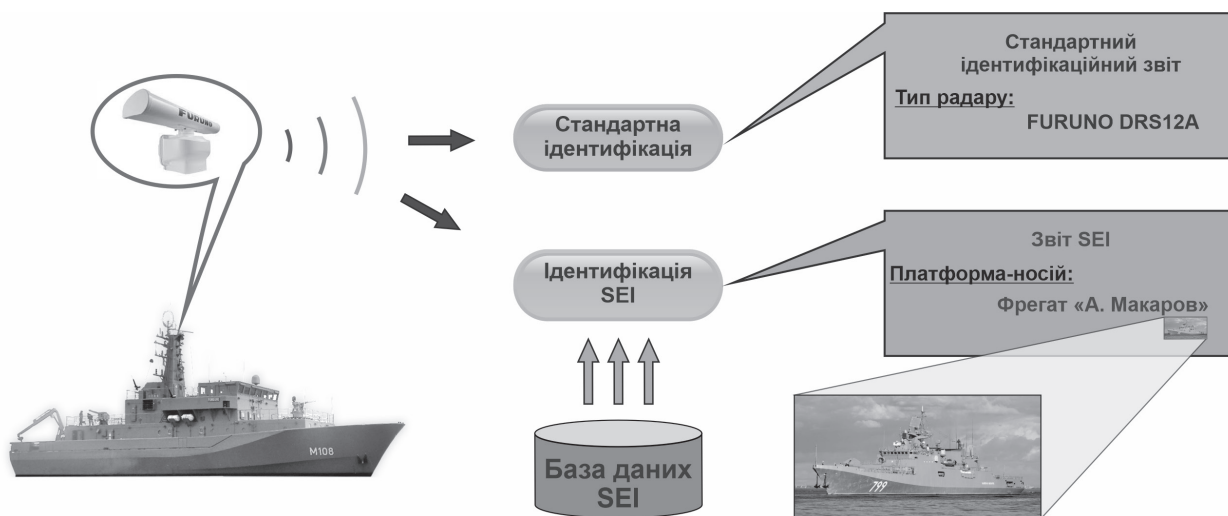


Рис. 8. Ідентифікація носія за процедурою SEI

можуть бути перепрограмовані для зміни алгоритмів, а також дають змогу використовувати можливості паралельного опрацювання програмованої логіки для опрацювання сигналів із частотою супердискретизації.

Перевага використання RFSoS найбільшою мірою проявляється при дрібносерійному виготовленні обладнання для РТР, оскільки дає змогу організувати виробництво в стислі терміни.

Слід зазначити, що виробництво традиційних систем РТР сьогодні стикається з серйозними проблемами, одна з яких – висока вартість елементної бази для високочастотних перетворювачів.

Сучасні RFSoS дають змогу розв'язати цю проблему шляхом використання прямої радіочастотної вибірки [23].

Пряма радіочастотна вибірка може бути реалізована на менш дорогій цифровій елементній базі. При цьому використання дуже високих частот дискретизації в перетворювачі даних, як це відбувається в пристроях RFSoS, означає, що більша частина аналогової фільтрації та обробки може виконуватися ближче до антени, забезпечуючи більш простий і гнучкий інтерфейс, ніж це було можливо в минулому.

Контроль над цифровою обробкою сигналів на рівні програмного забезпечення у RFSoS для систем РЕБ означає можливість швидкої адаптації всієї системи при появі нових загроз.

#### 3.4 Структура бази даних REDB для МСО

База даних REDB створюється заздалегідь шляхом перехоплення і детального аналізу параметрів сигналів від навігаційних радарів, встановлених на вже ідентифікованих носіях (кораблях).

Структуру записів параметрів сигналів у базі даних REDB можна уявити такою, що складається з трьох груп: А, Б і В.

**Група А.** Відомості про носій випромінювача сигналу:

- модель радара;
- опис платформи (назва носія тощо);
- розширені дані про носій (наприклад, склад озброєння платформи);
- місце розташування носія з часовою міткою на момент зняття даних;
- інші додаткові відомості.

**Група Б.** Відомості про тип випромінювача сигналу та його параметри:

- центральна частота випромінювання (F);
- смуга пропускання (BW);
- тривалість або шпаруватість зондувального імпульсу (PW);
- період повторення зондувальних імпульсів (PRI);
- період обертання антени (antenna revolution period – ARP);
- параметри ІМОР.

**Група В.** Відомості про індивідуальні характерні ознаки сигналу екземпляра випромінювача:

- параметри УМОР.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Проведені дослідження та аналіз можливостей застосування наявних систем РТР для розв'язання задач МСО дають змогу зробити такі висновки:

1. Ефективне використання наявних систем РТР з метою ОРСП МСО без їх модернізації неможливе.

2. Продуктивність роботи РТР для МСО дуже залежить від можливості виявлення характерних ознак рівня SEI.

3. Для виявлення характерних ознак екземпляра необхідний глибокий і детальний аналіз тонких, індивідуальних характеристик (SEI), витягнутих із перехоплених сигналів. Це забезпечується використанням сучасної апаратної платформи на основі мікросхем RFSoS або високошвидкісними модулями аналого-цифрових перетворювачів (АЦП).

4. За рахунок використання великої кількості станцій РТР як додаткових сенсорів релевантних даних для МСО, з'являється можливість підвищити швидкодію, точність і достовірність надання даних про ОРСП.

З огляду на те, що на сьогодні не існує готового переліку параметрів радіолокаційних сигналів, які можна було б рекомендувати до використання, як характерні ознаки зразка, і записувати в базі даних SEI, автори вважають за необхідне проведення подальших досліджень. Зокрема:

- створення прототипу РТР для МСО, на сучасному модулі з RFSoS або на основі відокремлених високошвидкісних модулів АЦП, що оцифровує перехоплені сигнали РЛС

та представляє ці дані у вигляді файлу з вимірюваннями комплементарних сигналів (I/Q); – дослідження цих файлів, наприклад, за допомогою програмного забезпечення

«Matlab», з метою побудови алгоритмів виділення індивідуальних вимірюваних ознак, що ідентифікують конкретну РЛС.

#### Література:

1. NATO – AJP-3.1 Allied joint doctrine for maritime operations. URL: <https://standards.globalspec.com/std/14361964/ajp-3-1> (accessed: 14.09.2024).
2. Maritime Situational Awareness. URL: <https://www.marseccoe.org/wp-content/uploads/2021/09/20180913-MSA.pdf> (accessed: 14.09.2024).
3. Про затвердження Порядку організації та здійснення оборонного планування в Міністерстві оборони України, Збройних Силах України та інших складових сил оборони: Наказ Міністерства оборони України від 22 грудня 2020 року № 484. URL: [https://www.mil.gov.ua/content/mou\\_orders/mou\\_2020/484\\_nm.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/mou_orders/mou_2020/484_nm.pdf) (дата звернення: 14.09.2024).
4. Angerman W. Coming full circle with Boyd's OODA loop ideas: an analysis of innovation diffusion and evolution. Thesis Degree of Master of Science in Information Systems Management. Wright-Patterson Air Force Base, 2004. 127 p. URL: <https://teamonenetwork.com/wp-content/uploads/2019/03/COMING-FULL-CIRCLE-WITH-BOYD%E2%80%99S-OOA-LOOP-IDEAS.pdf>
5. Richards C. Boyd's OODA loop. Necesses. 2020. Vol. 5. P. 142-165. URL: <https://fhs.bragg.unit.no/fhs-xmlui/bitstream/handle/11250/2683228/Boyd%20OODA%20Loop%20Necesses%20vol%205%20nr%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. IFB-CO-13859-TRITON. URL: [https://www.gdae.mil.gr/wp-content/uploads/2021/09/IFB-CO-13859-Triton\\_Part2.pdf](https://www.gdae.mil.gr/wp-content/uploads/2021/09/IFB-CO-13859-Triton_Part2.pdf) (accessed: 14.09.2024).
7. AJP-3.6 Allied joint doctrine for electronic warfare. URL: <https://standards.globalspec.com/std/14362044/ajp-3-6> (accessed: 14.09.2024).
8. STANAG-6009 NATO emitter database (NEDB). URL: <https://standards.globalspec.com/std/14595423/stanag-6009> (accessed: 14.09.2024).
9. Provide Functional Services for Electronic Warfare – Increment 1 – NATO Emitter Database Next Generation (NEDB-NG). Book II – Part IV – Annex A System Requirements Specification. NCI Agency. IFB-CO-14091-EWFS. URL: [https://www.gdae.mil.gr/wp-content/uploads/2021/09/4391\\_IFB-CO-14091-EWFS-Provide-Functional-Services-for-EW-Inc-1-NEDB-NG-1.pdf](https://www.gdae.mil.gr/wp-content/uploads/2021/09/4391_IFB-CO-14091-EWFS-Provide-Functional-Services-for-EW-Inc-1-NEDB-NG-1.pdf) (accessed: 14.09.2024).
10. Radar Emitter DataBase (REDB). Radar Databases for Research. URL: <https://www.radars.org.uk> (accessed: 14.09.2024).
11. Chaltiel P.-Y. De-interleaving process in RESM. Emsopedia: website. URL: <https://www.emsopedia.org/entries/de-interleaving-process-in-resm> (accessed: 14.09.2024).
12. Mao Y., Ren W., Li X., Yang Z., Cao W. Sep-RefineNet: A Deinterleaving Method for Radar Signals Based on Semantic Segmentation. Applied Sciences. 2023. Vol. 13 (4). URL: <https://doi.org/10.3390/app13042726> (accessed: 14.09.2024).
13. Zaccaron A. Receiver Architecture in EW and ELINT. Emsopedia: website. URL: <https://www.emsopedia.org/entries/receiver-architecture-in-ew-and-elint> (accessed: 14.09.2024).
14. В Україні успішно випробувано радіолокаційний комплекс «Мінерал-У». Мілітарний: веб-сайт. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/v-ukrayiny-uspishno-vyprobuvano-radiolokatsijnyj-kompleks-mineral-u> (дата звернення: 14.09.2024).
15. Costed Customer Services Catalogue. NATO Communications and Information Agency. URL: [https://coi.nato.int/SiteAssets/NCIA.DNBL.ServiceCatalogue/Old\\_NCI%20Agency\\_CCSC%20v3.4.pdf](https://coi.nato.int/SiteAssets/NCIA.DNBL.ServiceCatalogue/Old_NCI%20Agency_CCSC%20v3.4.pdf) (accessed: 14.09.2024).
16. Matuszewski J. The Specific Radar Signature in Electronic Recognition System. Przegląd Elektrotechniczny. 2013. Vol. 7. P. 236-239. URL: <http://pe.org.pl/articles/2013/7/54.pdf> (accessed: 14.09.2024).
17. Adamy D. EW 101: A First Course in Electronic Warfare/ D. Adamy. – Boston. Artech House Publishers, 2000. 308 p.
18. Perđoch J., Ochodnický J., Matousek Z. ELINT Objects Identification Based on Intra-Pulse Modulation Classification. Armed Forces Academy of gen. M. R. Stefanik. STO-MP-IST-160. URL: <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/STO-MP-IST-160/MP-IST-160-PT-5.pdf> (accessed: 14.09.2024).
19. Fu Zhang F., Tao Yang L. Military Radar Systems: The All-Seeing Eye in the Era of Information Warfare. Research Report. [in Chinese]. 2015. 34 p. URL: <https://xqdoc.imedao.com/14fb219cae95f3fe4e785671.pdf> (accessed: 14.09.2024).

20. COLREG 72. International Regulations for Preventing Collisions at Sea. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Preventing-Collisions.aspx> (дата звернення: 14.09.2024).

21. ITU-R. Characteristics of and protection criteria for terrestrial radars operating in the radiodetermination service in the frequency band 8 500-10 500 MHz. Recommendation ITU-R M.1796. Geneva, 2009. 33 p. URL: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1796-0-200703-S!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1796-0-200703-S!!PDF-E.pdf) (дата звернення: 14.09.2024).

22. Chinino G. Specific Emitter identification for Radar Signals. Emsopedia: website. URL: <https://www.emsopedia.org/entries/specific-emitter-identification-for-radar-signals> (accessed: 14.09.2024).

23. Advantages of Direct RF Sampling Architectures. NI: website. URL: <https://www.ni.com/en/solutions/aerospace-defense/radar-electronic-warfare-sigint/advantages-of-direct-rf-sampling-architectures.html> (accessed: 14.09.2024).

#### References:

1. NATO – AJP-3.1 Allied joint doctrine for maritime operations. Retrieved from <https://standards.globalspec.com/std/14361964/ajp-3-1> (accessed: 14.09.2024).

2. Maritime Situational Awareness. Retrieved from <https://www.marseccoe.org/wp-content/uploads/2021/09/20180913-MSA.pdf> (accessed 14.09.2024).

3. Pro zatverdzhennia Poriadku orhanizatsii ta zdiisnennia oboronnoho planuvannia v Ministerstvi oborony Ukrainy, Zbroinykh Sylakh Ukrainy ta inshykh skladovykh syl oborony: Nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 22 hrudnia 2020 roku № 484 [On the Approval of the Procedure for Organizing and Implementing Defense Planning in the Ministry of Defense of Ukraine, the Armed Forces of Ukraine, and Other Components of the Defense Forces: Order of the Ministry of Defense of Ukraine dated December 22, 2020, No. 484]. Retrieved from [https://www.mil.gov.ua/content/mou\\_orders/mou\\_2020/484\\_nm.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/mou_orders/mou_2020/484_nm.pdf) (accessed: 14.09.2024) [in Ukrainian].

4. Angerman, W. (2004). Coming full circle with Boyd's OODA loop ideas: an analysis of innovation diffusion and evolution. *Thesis Degree of Master of Science in Information Systems Management*. Wright-Patterson Air Force Base. Retrieved from <https://teamonenetwork.com/wp-content/uploads/2019/03/COMING-FULL-CIRCLE-WITH-BOYD%E2%80%99S-OODA-LOOP-IDEAS.pdf> (accessed: 14.09.2024).

5. Richards, C. (2020). Boyd's OODA loop. *Necesse*, 5, 142-165. Retrieved from <https://fhs.brage.unit.no/fhs-xmllui/bitstream/handle/11250/2683228/Boyd%20OODA%20Loop%20Necesse%20vol%205%20nr%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed: 14.09.2024).

6. IFB-CO-13859-TRITON. Retrieved from [https://www.gdae.mil.gr/wp-content/uploads/2021/09/IFB-CO-13859-Triton\\_Part2.pdf](https://www.gdae.mil.gr/wp-content/uploads/2021/09/IFB-CO-13859-Triton_Part2.pdf) (accessed: 14.09.2024).

7. AJP-3.6 Allied joint doctrine for electronic warfare. Retrieved from <https://standards.globalspec.com/std/14362044/ajp-3-6> (accessed: 14.09.2024).

8. STANAG-6009 NATO emitter data base (NEDB). Retrieved from <https://standards.globalspec.com/std/14595423/stanag-6009> (accessed: 14.09.2024).

9. Provide functional services for electronic warfare – Increment 1 – NATO emitter database next generation (NEDB-NG). Book II – Part IV – Annex A System requirements specification. NCI Agency. IFB-CO-14091-EWFS. Retrieved from [https://www.gdae.mil.gr/wp-content/uploads/2021/09/4391\\_IFB-CO-14091-EWFS-Provide-Functional-Services-for-EW-Inc-1-NEDB-NG-1.pdf](https://www.gdae.mil.gr/wp-content/uploads/2021/09/4391_IFB-CO-14091-EWFS-Provide-Functional-Services-for-EW-Inc-1-NEDB-NG-1.pdf) (accessed 14.09.2024).

10. Radar Emitter DataBase (REDB). *Radar Databases for Research*. Retrieved from <https://www.radars.org.uk> (accessed: 14.09.2024).

11. Chaltiel P.-Y. De-interleaving process in RESM. *Emsopedia*: website. Retrieved from <https://www.emsopedia.org/entries/de-interleaving-process-in-resm> (accessed: 14.09.2024).

12. Mao, Y., Ren, W., Li, X., Yang, Z., & Cao, W. (2023). Sep-RefineNet: A Deinterleaving Method for Radar Signals Based on Semantic Segmentation. *Applied Sciences*, 13 (4). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/app13042726> (accessed: 14.09.2024).

13. Zaccaron, A. Receiver Architecture in EW and ELINT. *Emsopedia*: website. Retrieved from <https://www.emsopedia.org/entries/receiver-architecture-in-ew-and-elint> (accessed: 14.09.2024).

14. V Ukraini uspishno vyprovuvano radiolokatsiyni kompleks «Mineral-U». *Military: veb-sait* [In Ukraine, the radar complex 'Mineral-U' has been successfully tested. *Military: website*.] Retrieved from <https://mil.in.ua/uk/news/v-ukrayiny-uspishno-vyprovuvano-radiolokatsiynij-kompleks-mineral-u> (дата звернення: 14.09.2024) [in Ukrainian].

15. Costed Customer Services Catalogue. NATO Communications and Information Agency. Retrieved from [https://coi.nato.int/SiteAssets/NCIA.DNBL.ServiceCatalogue/Old\\_NCI%20Agency\\_CCSC%20v3.4.pdf](https://coi.nato.int/SiteAssets/NCIA.DNBL.ServiceCatalogue/Old_NCI%20Agency_CCSC%20v3.4.pdf) (accessed 14.09.2024).

16. Matuszewski, J. (2013). The Specific Radar Signature in Electronic Recognition System. *Przegląd Elektrotechniczny*. 7, 236-239. Retrieved from <http://pe.org.pl/articles/2013/7/54.pdf> (accessed 14.09.2024).
17. Adamy, D. (2000). *EW 101: A First Course in Electronic Warfare*. Artech House Publishers.
18. Perďoch, J., Ochodnický, J., & Matousek, Z. ELINT Objects Identification Based on Intra-Pulse Modulation Classification. Armed Forces Academy of gen. M. R. Stefanik. STO-MP-IST-160. Retrieved from <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/STO-MP-IST-160/MP-IST-160-PT-5.pdf> (accessed 14.09.2024).
19. Fu Zhang, F., & Tao Yang, L. Military Radar Systems: The All-Seeing Eye in the Era of Information Warfare. Research Report. Retrieved from <https://xqdoc.imedao.com/14fb219cae95f3fe4e785671.pdf> (accessed 14.09.2024) [in Chinese].
20. COLREG 72. International Regulations for Preventing Collisions at Sea. Retrieved from <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Preventing-Collisions.aspx> (accessed 14.09.2024).
21. ITU-R. (2009). Characteristics of and protection criteria for terrestrial radars operating in the radiodetermination service in the frequency band 8 500-10 500 MHz. Recommendation ITU-R M.1796. Retrieved from [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1796-0-200703-S!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1796-0-200703-S!!PDF-E.pdf) (accessed 14.09.2024).
22. Chinino, G. Specific Emitter identification for Radar Signals. *Emsopedia*: website. Retrieved from <https://www.emsopedia.org/entries/specific-emitter-identification-for-radar-signals> (accessed: 14.09.2024).
23. Advantages of Direct RF Sampling Architectures. *NI*: website. Retrieved from <https://www.ni.com/en/solutions/aerospace-defense/radar-electronic-warfare-sigint/advantages-of>.