

УДК 621.396.62:656.61

DOI: 10.31653/2306-5761.37.2025.47-62

DEVELOPMENT OF MARITIME VHF RADIOCOMMUNICATIONS FOR EFFICIENT AND SAFE NAVIGATION

РОЗВИТОК МОРСЬКОГО УКХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ТА БЕЗПЕЧНОГО СУДНОПЛАВСТВА

O. Shyshkin , D.Sc., professor, **O. Pashenko**, , senior lecturer, MSc,
V. Kuprovskyi , PhD, associate professor

О.В. Шишкін, д.т.н., професор, **О.Л. Пашенко**, старший викладач, магістр,
В.І. Купровський, к.т.н., доцент

National university "Odesa maritime academy", Ukraine
Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

Maritime VHF radio communication remains a cornerstone of navigation safety and operational efficiency. With the advancement of information and communication technologies and the implementation of the IMO's e-navigation strategy, radio communication systems are transitioning toward digitalization. In particular, the ongoing modernization of the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS) includes the integration of digital communication capabilities within the VHF band. One of the key innovations in this context is the VHF Data Exchange System (VDES), which offers significant benefits such as higher data transfer rates and extended coverage, including global satellite support. This paper explores the evolution of maritime VHF communications—from traditional radiotelephony to modern digital systems like the Automatic Identification System (AIS), Application-Specific Messages (ASM), and VDES. It highlights the principles of data transmission via both terrestrial and satellite links, the development of enhanced maritime safety services, and improved shipping efficiency through high-speed communication channels. The study also addresses cybersecurity, regulatory frameworks, and the cost-effective upgrade of AIS equipment to VDES standards. As VDES plays a pivotal role in the digital transformation of the maritime industry, the findings presented are relevant for academic research, training maritime students, and advancing professional competencies in the sector.

Keywords: VHF Data Exchange System (VDES), Automatic Identification System (AIS), Application Specific Messages (ASM), e-navigation, Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS), Digital Selective Calling (DSC).

АНОТАЦІЯ

Ультракоткороткохвильовий (УКХ) радіозв'язок залишається ключовим елементом забезпечення безпеки судноплавства та ефективності навігації. Зі стрімким розвитком інформаційно-комунікаційних технологій і впровадженням стратегії електронної навігації (e-navigation), затвердженій ІМО, системи радіозв'язку поступово переходять до цифрового формату. Зокрема, модернізація Глобальної морської системи зв'язку під час лиха та для забезпечення безпеки (GMDSS) передбачає впровадження цифрових каналів у діапазоні УКХ. Одним з ключових інноваційних рішень є система обміну даними в УКХ-діапазоні (VDES), що забезпечує високу швидкість передавання інформації та широкий діапазон покриття, включно з супутниковим. У статті розглянуто етапи розвитку морського УКХ-зв'язку — від радіотелефонії до сучасних цифрових систем, таких як AIS, ASM і VDES. Особливу увагу

приділено принципам обміну даними через наземні та супутникові канали, розгортанню нових сервісів безпеки на морі, підвищенню ефективності судноплавства, питанням кібербезпеки, нормативно-технічному супроводу та економічно доцільній модернізації AIS до рівня VDES. Результати дослідження стануть корисними для наукових і прикладних розробок, підготовки курсантів морських спеціальностей та підвищення кваліфікації фахівців галузі.

Ключові слова: УКХ система обміну даними, автоматична ідентифікаційна система, повідомлення спеціального призначення, е-навігація, глобальний морський зв'язок лиха та безпеки, цифровий вибіркового виклик.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями

Сучасний розвиток морського судноплавства супроводжується інтенсивним впровадженням цифрових технологій, що обумовлено зростаючими вимогами до безпеки та економічної ефективності морських перевезень. Це зумовлює нові вимоги до систем зв'язку та навігації. Традиційні УКХ канали радіозв'язку, у своїй більшості призначені для передавань мовних повідомлень [17]. Цифрова автоматична ідентифікаційна система AIS [18] за своїми технічними можливостями сьогодні вже не може у повному обсязі задовольнити потреби судноплавства, особливо в акваторіях інтенсивного руху через обмеженість пропускну здатності каналів обміну даними [5]. Використання відкритих каналів AIS робить її вразливою до навмисних злочинних втручань з намірами фальсифікації повідомлень, що руйнує навігаційну безпеку та довіру до цієї системи [1], [7], [12]. Стратегічна концепція е-навігації Міжнародної морської організації (ІМО) передбачає впровадження високошвидкісних систем комунікації між суднами та береговими службами [9]. УКХ система обміну даними VDES найкращим чином відповідає плану е-навігації у загальному тренді цифровізації морської галузі. За сценаріями розгортання VDES передбачається вирішення задачі підвищення можливостей інформаційного обміну даними у морських каналах зв'язку та проблем забезпечення кібербезпеки [2], [11], включаючи автономне судноплавство [26]. Впровадження нових каналів VDES тісно пов'язане з питаннями модернізації системи ГМЗЛБ [9] і всієї берегової інфраструктури.

Таким чином, розв'язання окреслених проблем сталого розвитку морського судноплавства вимагає комплексного, системного аналізу техніко-експлуатаційних характеристик систем морського УКХ зв'язку.

З огляду використання спеціальної термінології та скорочень, що не мають усталеного вживання в національних нормативних документах, вважаємо за потрібне навести перелік термінів та скорочень англійською та українською мовами. В тексті статті використовуються англійські скорочення, якщо скорочення українською не має сталого характеру.

Таблиця 1. Перелік скорочень

AIS	AIC	Automatic Identification System	Автоматична ідентифікаційна система
ASM	ПСП	Application Specific Messages	Повідомлення спеціального призначення
DSC	ЦБВ	Digital Selective Calling	Цифровий вибіркового виклик
ESA	ЄКА	European Space Agency	Європейська космічна агенція

GMDSS	ГМЗЛБ	Global Maritime Distress and Safety System	Глобальний морський зв'язок лиха та безпеки
HF	KX	High frequency	Короткі хвилі
IALA	MAMC	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities	Міжнародна асоціація морських засобів навігації і маячних служб
ITU	MCE	International Telecommunication Union	Міжнародний союз електрозв'язку
MF	ПХ	Medium frequency	Проміжні хвилі
SAR	ППС	Search and Rescue	Пошуково-рятувальна служба
TDMA	МДРЧ	Time division multiple access	Множинний доступ з розділенням в часі
VDE	УОД	VHF Data Exchange	УКХ обмін даними
VDES	УСОД	VHF Data Exchange System	УКХ система обміну даними
VDE-SAT	УОД-С	VHF Data Exchange Satellite	УКХ супутниковий обмін даними
VDE-TER	УОД-З	VHF Data Exchange Terrestrial	УКХ земний обмін даними
VHF	УКХ	Very High Frequency	Ультракороткі хвилі

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частини загальної проблеми

УКХ радіозв'язок є ключовим компонентом зовнішніх комунікацій сучасного судноплавства в цілях навігаційної безпеки та ефективних морських перевезень. Розвиток радіо технологій протягом минулого століття та в першу чверть поточного суттєво розширили можливості зв'язку починаючи з телеграфії Морзе, УКХ радіотелефонії, до сучасних цифрових систем обміну даними VDES з використанням каналів наземного та супутникового зв'язку.

Впровадження цифрових систем радіозв'язку відбувається за активністю ІМО, за сприянням міжнародних організацій у вигляді розробки нормативних документів [6], [7], рекомендацій (де-факто стандартів) [19] – [20], керівництв морського призначення [2], [3], інших документів [23], [24].

У працях Lázaro та ін. [13] і Molina та ін. [16] всебічно розглянуто фізичний рівень та архітектуру VDES, включаючи його функціональність, переваги та виклики при впровадженні. Дослідження розвитку УКХ зв'язку в історичному аспекті проведені Golaya, Yogeswaran [4]. Подальші дослідження Wu та ін. [29] підкреслюють перспективи застосування

VDES у розумному рибальстві, тоді як Moltsen [17] окреслює міжнародні плани щодо супутникового сегменту цієї технології.

Інтегрування AIC з системою цифрового вибіркового виклику на каналі 70 для покращення оперативності встановлення УКХ зв'язку запропоновано Koshevyy, Shyshkin [12]. Питання безпеки та кіберзахисту є важливою складовою морського зв'язку. Зважаючи на відкритість радіоканалів AIC, цілісність і автентичність повідомлень можуть бути легко скомпрометовані з будь-яких міркувань. В роботах Goudossis, Katsikas [5], Kessler [10] та Shyshkin [25] порушені проблеми морської кібербезпеки та розробки способів здійснення автентифікації та шляхом впровадження автентифікації та контролю цілісності повідомлень AIS/VDES. Dimakopoulou, Rantos [1], а також Li та ін. [14] розвивають системний підхід до аналізу кіберризиків та усування / зменшення впливу на морську безпеку. Класифікація та аналіз інцидентів, проведений Meland та ін. [15], підтверджує актуальність проблеми. Заслужують на увагу дослідження Walter та ін. [26] щодо вразливостей систем навігації та зв'язку автономних суден.

Таким чином, наукові публікації свідчать про активний розвиток технологій УКХ зв'язку та посилення їхнього впровадження у цифрову інфраструктуру морської галузі з урахуванням викликів безпеки та нових регуляторних вимог.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ціллю статті є аналіз розвитку та техніко-експлуатаційних вимог до систем радіозв'язку і навігації, що працюють в морському УКХ діапазоні та мають бути впроваджені наступними роками в рамках реалізації стратегічного плану е-навігації ІМО. Цей аналіз здійснений на основі Міжнародних нормативних документів, стандартів та відповідних наукових публікацій, що стосуються морських УКХ систем передавання інформації.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Розвиток морського радіозв'язку в УКХ діапазоні

Морський діапазон ультракоротких хвиль (VHF) відіграє вирішальну роль у безпеці морського судноплавства. Його розвиток пов'язаний із загальним прогресом інформаційно-комунікаційних технологій, міжнародними правилами та зростаючими потребами морської галузі, як рушійної сили забезпечення надійного та ефективного судноплавства. Історичний підхід до аналізу технологічного розвитку УКХ радіозв'язку може бути корисним для кращого розуміння його принципів дії та практичного використання різноманітних сервісів, які надаються зараз та прогнозовано розширюються у найближчому майбутньому. Еволюція морських засобів УКХ зв'язку може бути представлена десятирічними кроками наступним чином [4], [24].

1. Період зародження та впровадження (до 1950-х років).

Розвиток морського радіозв'язку розпочався у 20-му столітті в діапазонах середніх та коротких хвиль. Для передавання інформації використовувалася азбука Морзе (радіотелеграфія). Голосовий зв'язок був обмежений через недосконалість елементної бази апаратури, великі розміри антен та низьку розбірливість мовних повідомлень.

У 1927 році Міжнародна радіотелеграфна конвенція запровадила правила морського зв'язку, встановивши розподіл частот для морських суден. У 1930 – 1940-ті роки були проведені перші експерименти радіозв'язку в УКХ діапазоні, але його практичне

впровадження було повільним через відсутність стандартизованого обладнання та обмеження діапазону порівняно з КХ.

У 1947 році зроблений перший розподіл морського діапазону частот 152 – 162 МГц з кроком 50 кГц. Розподіл частотного спектру було здійснено на основі 28 дуплексних каналів, що займали смугу нижнього піддіапазону частот 156 – 157,4 МГц для суднових частот та смугу верхнього піддіапазону частот 160,6 – 162 МГц для передач береговими станціями. Частотний проміжок між судновими та береговими частотами для кожного дуплексного каналу був прийнятий 4,6 МГц та залишився тим самим на теперішній час. Таким чином, міжнародний план розподілу каналів (частот) складався з двох смуг: 156 – 157,4 МГц та 160,6 – 162 МГц з проміжком між ними 3,2 МГц. (Рис. 1). Частоти у діапазоні 162 – 174 МГц ні тоді, ні у подальшому не піддавалися розподілу на міжнародній основі, хоча вважається, що для морського зв'язку відведена смуга 156 – 174 МГц.

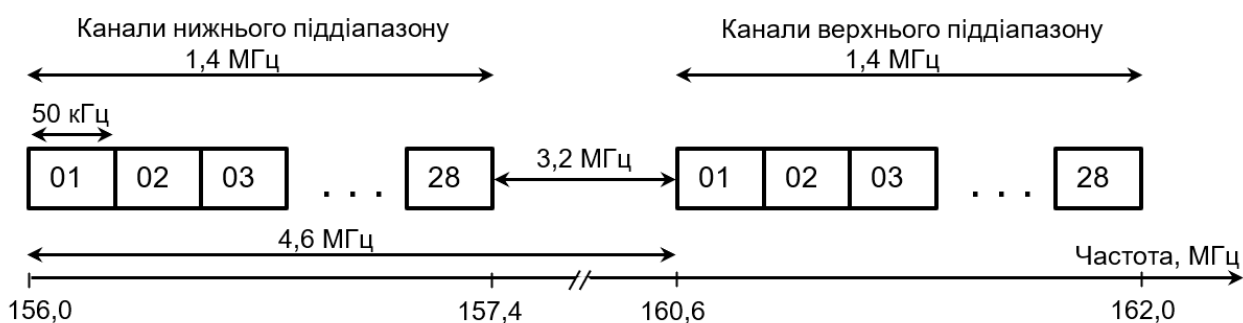


Рис. 1. Розподіл частотного спектру згідно першого міжнародного плану УКХ каналів 1947 року

Частоту 156,8 МГц (канал 16) було привласнено для всесвітнього використання у разі лиха, безпеки та викликів суден. У подальших переглядах частотного плану усі зміни здійснювались у межах вказаних смуг за рахунок звуження ширини каналів спершу до 25 кГц, а у подальшому до 12,5 кГц і менше. Тобто міжнародна політика модернізації частотного плану базується на інтенсивному підході використання спектра частот без втручання в прогалину 3,2 МГц та верхню частину спектра у діапазоні 162 – 174 МГц. Ці нерозподілені ІТУ частки спектра можуть бути використані національними адміністраціями та іншими береговими службами для передач обмеженої потужності.

2. Модернізація морського УКХ діапазону (1950–1960 роки).

Міжнародний союз електрозв'язку (ІТУ) у 1959 році офіційно затвердив Регламентом Радіозв'язку (Додаток 18) частоти УКХ у діапазоні 156–162 МГц для морського зв'язку визнаючи перевагу цього діапазону для передачі радіосигналів з частотною модуляцією на коротких відстанях, тобто в межах прямої видимості (приблизно 30 морських миль).

У 1960-ті роки національні морські адміністрації по всьому світу почали переходити з КХ діапазону на УКХ, зважаючи на його переваги: краща розбірливість голосових повідомлень, менший вплив атмосферних перешкод та простота суднової апаратури для зв'язку у напрямках судно-судно та судно-берег.

3. Трансформація радіоканалів (1970–1980 роки).

У 1974 році на Всесвітній морській адміністративній радіоконференції анонсовано рішення щодо переходу на частотний план каналів з кроком 25 кГц, що стало можливо за

рахунок вдосконалення елементної бази та методів радіозв'язку. Зменшення ширини каналів дозволило створити нові дуплексні канали за номерами 60 – 88.

У 1979 році частотний план з 25 кГц каналами був внесений в Регламент Радіозв'язку; обов'язковий перехід суднового радіообладнання був визначений датою 1 січня 1983 року. Варто зазначити, що зв'язок судно-судно та зв'язок з пріоритетами лиха, терміновості та безпеки завжди відбувається на симплексних (одночастотних) каналах. Дуплексні (двочастотні) канали використовуються для зв'язку з береговими станціями. При цьому через особливості суднової апаратури судно може тільки по чергову здійснювати прийом або передачу радіотелефонного повідомлення незалежно від типу задіяного каналу.

За визначенням Регламенту радіозв'язку симплексний зв'язок це спосіб зв'язку, при якому передача здійснюється по чергову в кожному з двох напрямків за допомогою, наприклад, ручного управління; натомість у разі дуплексного зв'язку передача можлива одночасно в обох напрямках каналу електрозв'язку [8]. Під напівдуплексним зв'язком розуміється спосіб симплексного зв'язку на одному кінці лінії та дуплексного зв'язку на іншому (Рис. 2).

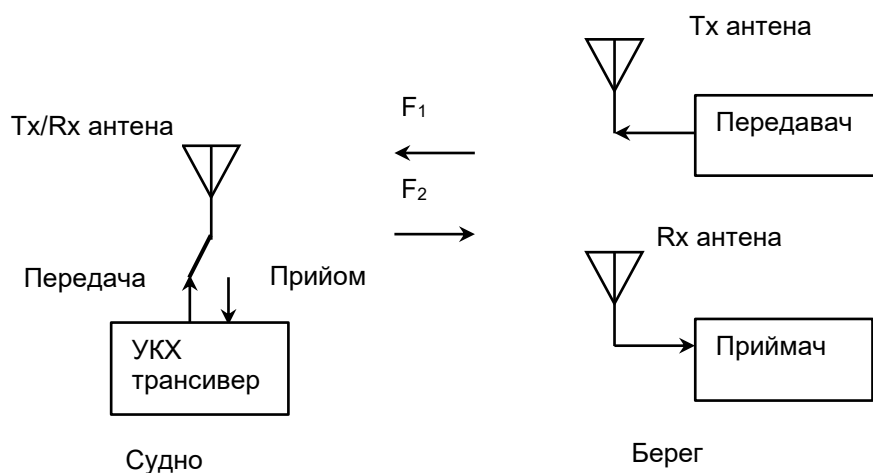


Рис. 2. Напівдуплексний спосіб зв'язку (спосіб, при якому на одному кінці лінії зв'язку здійснюється симплексний режим, а на іншому – дуплексний).

У 1987 році в частотний план був введений канал 70 (156,525 МГц) виключно для цифрового вибіркового виклику (ЦВВ) – першої цифрової системи у морському радіозв'язку, яка у подальшому стала ключовою у складі ГМЗЛБ [22].

4. Модернізація та технологічний прогрес (1990–2000 роки).

Наступним кроком реформування частотного плану відбулося у 1997 році, коли були внесені канали 87В і 88В для наступної цифрової системи передавання даних – АІС.

Кардинальним шляхом модернізації зв'язку стала поява ГМЗЛБ. Впровадження окремих елементів системи почалося з 1991 року. Офіційною датою ГМЗЛБ як обов'язкової для встановлення на торгових судах валової місткості 300 і більше реєстрових тон та всіх пасажирських судах, які здійснюють міжнародні рейси, стала 1 лютого 1999 року. До впровадження ГМЗЛБ на судні відбувалася слухова вахта на каналах лиха та використовувалася азбука Морзе, якою на практиці володів тільки судновий радіооператор. З впровадженням ЦВВ на заміну слухової прийшла автоматична вахта частот ЦВВ на каналі 70, яка була поширена також на ЦВВ канали у ПХ/КХ діапазонах.

ЦБВ значно підвищили надійність та оперативність інформування берегових центрів про лихо. Експлуатаційні процедури передавання сповіщень про лихо з використанням ЦБВ суттєво спростилися та надали гарантований характер отримання береговими службами пошуку та рятування (SAR). Використання ЦБВ дозволило звільнити 16-й канал від зайвих викликів інших суден для обміну радіотелефонними повідомленнями зі звичайним пріоритетом.

4. Модернізація та технологічний прогрес (2000–2010 роки).

Новим поштовхом цифровізації УКХ радіозв'язку стало впровадження з 2003 року у морське та річкове судноплавство АІС. Ця система за своєю технічною організацією як системи цифрового радіозв'язку, створила нові умови для підвищення ефективності та безпеки судноплавства, в тому числі за рахунок інтегрування з іншими навігаційними системами та приладами [19]. Вона є сьогодні незаперечним інструментом для здійснення глобального моніторингу суден, зменшення ризику зіткнення суден, забезпечення управління рухом суден, глобального моніторингу тощо.

ІМО у 2006 році запровадила та розвиває стратегічну концепцію е-навігації (e-Navigation), яка має за мету подальше вдосконалення безпеки судноплавства та збереження морського середовища за рахунок зменшення ризику людських помилок, покращення ситуаційної обізнаності та прийняття рішень, стандартизації систем та процесів цифрових технологій.

У 2006 – 2008 роках низка країн – членів Міжнародної асоціації маячних служб (IALA), передбачаючи збільшення завантаження каналів АІС, почала шукати шляхи вирішення проблеми. Першим кроком було введення супутникових каналів AIS75 (156,775 МГц) та AIS76 (156,825 МГц) для передачі рапортів про координати (повідомлення 27). Розглянуто можливості збільшення числа цифрових супутникових каналів для розгортання системи обміну даними VDES.

5. Останні та майбутні події (2010 – теперішній час).

У 2012 році ІТУ запровадив стандарт VDES, який передбачає використання цифрових каналів шириною 25 кГц, 50 кГц і 100 кГц зі швидкістю передачі даних до 307,2 кбіт/с для підвищення ефективності використання спектра [20], [21].

У 2014 році затверджено стратегічний план ІМО впровадження е-навігації, яка визначається як "гармонізований збір, інтеграція, обмін, представлення та аналіз морської інформації на борту та на березі за допомогою електронних засобів для покращення навігації від причалу до причалу та пов'язаних послуг з метою забезпечення безпеки на морі та охорони морського середовища". Згідно цього плану VDES розглядається як один із ключових елементів е-навігації для впровадження нових цифрових послуг.

У 2015 році Всесвітня конференція з радіозв'язку (WRC-15) затвердила Рекомендацію МСЕ-R М. 2092–0 «Технічні характеристики для системи обміну даними в УКХ діапазоні в смузі УКХ морської рухомої служби». У ній визначено технічні характеристики всіх радіоліній VDES, які матимуть канали шириною 25, 50 і 100 кГц зі швидкістю передачі даних до 307,2 кбіт/с. Обмін цифровою інформацією здійснюється на каналах наземного (VDE-TER) та супутникового (VDE-SAT) зв'язку.

У 2017 році ІТУ оновив систему нумерації морських УКХ каналів. В частотному плані були прописані 8 цифрових каналів з 4-х значною нумерацією для використання у наземному та супутниковому зв'язку. Префікс 10 або 20 додається до номера каналу.

Підкомітет ІМО NCS 10 (2023) розглянув пропозицію щодо включення VDES в розділи V (Navigation) і IV (Radiocommunication) SOLAS.

З 2024 року розпочався новий етап модернізації ГМЗЛБ. Зміни стосовно визначення морського району ГМЗЛБ АЗ, вимог до радіообладнання суден були внесені у Конвенцію СОЛАС та Регламент Радіозв'язку видань 2024 років [6]. Модернізація торкнулась головним чином скасування обов'язкового статусу радіотелексного зв'язку в ПХ/КХ діапазонах, та системи НАВТЕКС, яка використовує цей спосіб. Натомість офіційний статус супутникової системи ГМЗЛБ отримала система Ірідіум з глобальним покриттям земної поверхні та Бейдау з локальним покриттям додатково до системи INMARSAT. Для суттєвого розширення обсягу інформаційних послуг запроваджується система VDES в рамках реалізації плану е-навігації.

Важливо зауважити, що згідно оновленої редакції СОЛАС 2024 року до вимог щодо обов'язкового УКХ обладнання усіх суден доданий пункт 1.6, правило 7, про необхідність встановлення радіоустаткування, яке здатне передавати та приймати загальні радіоповідомлення на робочих частотах у діапазоні 156 – 174 МГц. Ця вимога може бути виконана шляхом встановлення окремого пристрою або реалізації цієї опції у складі УКХ радіостанції.

Автоматична ідентифікаційна система

Запроваджена вже понад 20 років тому суднова автоматична система (АІС) використовує два 25 МГц канали, позначені як AIS 1 та AIS 2:

AIS 1 (канал А): 161,975 МГц (УКХ канал 87В);

AIS 2 (канал В): 162,025 МГц (УКХ канал 88В).

АІС працює в режимі TDMA з часовим розподілом слотів (часових інтервалів) передавання даних для кожної станції. Часова синхронізація слотів здійснюється за допомогою використання сигналів глобальної супутникової системи навігації (ГНСС), в якості якої зазвичай використовується система GPS – Global Positioning System. За технічним стандартом у суднових пристроях АІС (транспондерах) для передавання даних використовують метод модуляції з мінімальним зсувом та гаусівською фільтрацією (Gaussian Minimum Shift Keying, GMSK). Швидкість передачі даних по кожному каналу складає 9,6 кбіт/с.

АІС спочатку була розроблена як засіб точної ідентифікації та відстеження суден. Це було досягнуто шляхом передачі та отримання статичних, динамічних і рейсових даних суден, а також коротких повідомлень стосовно навігаційної безпеки. Крім того, АІС сприяла безпеці судноплавства та захисту навколишнього середовища, здійсненню моніторингу морського простору, контролю та управлінню рухом суден, наданню різноманітних сервісів. АІС за рахунок огинання УКХ радіохвилями можливих берегових перешкод створюють можливість «бачити» інші судна, які не відображаються на суднових радарх.

Важливою перевагою АІС є пряме отримання динамічних параметрів від інших суден у реальному часі, що створює можливість точного та оперативного розрахунку маневрування суден, особливо у стислих умовах навігації. Інтегрування даних АІС в суднову ЕКНІС та РЛС покращують сприйняття навігаційної обстановки судноводієм та забезпечують швидке встановлення зв'язку з використанням ЦВВ [12].

Завдяки прийому сигналів АІС низькоорбітальними супутниками здійснюється глобальний моніторинг суден, які знаходяться поза межами УКХ зв'язку з береговими станціями. Обов'язкова процедура далекої ідентифікації та стеження (Long Range Identification and Tracking, LRIT) для морських суден може здійснюється через супутники на каналах 75 (AIS LR1) та 76 (AIS LR2).

Для розширення інформаційних можливостей АІС можуть використовуватися так звані двійкові повідомлення для передачі повідомлень спеціального призначення (ASM), як засіб

збільшення обсягу даних. АІС повідомлення спеціального призначення передаються на тих самих VHF частотах, що й стандартні повідомлення АІС:

Ці канали призначені на міжнародній основі та використовуються як для стандартних повідомлень АІС, так і для АІСМ. АІСМ зазвичай передаються в системі АІС за допомогою двійкових повідомлень (повідомлення 6, 8, 25 або 26), як визначено стандартом [19], або на додаткових каналах 2027 та 2028.

Але слід враховувати очевидні недоліки АІС: через те, що вона спочатку була розроблена без забезпечення шифрування даних і засобів автентифікації.

Через використання відкритих каналів зв'язку та відсутність за технічними стандартами шифрування інформації, повідомлення АІС можуть бути сфальшовані з будь-яких міркувань. Відома велика кількість втручань в роботу АІС [9], [10]. Найбільш розповсюдженими сценаріями таких фальшувань є передавання вигаданих повідомлень АІС від неіснуючого, примарного судна або свідоме спотворення інформації в повідомленнях, начебто переданих реальним судном. Доступність транспондерів суднового призначення сприяє поширенню кібератак на АІС, що створює загрозу безпеці судноплавства. Зважаючи на критично важливе для судноплавства забезпечення довіри до даних АІС, методам автентифікації, тобто встановлення справжності повідомлень, приділяється особлива увага [10], [25].

Проблема відсутності надійної автентифікації повідомлень АІС особливо показова у теперішній час, коли деякі судна навмисно використовують фальшиві номери ММSІ для обробки вантажів з країн, які потрапили під економічні санкції [27].

Для вирішення проблем втручань в роботу АІС можуть бути використані інформаційні ресурси VDES для перевірки цілісності та автентифікації повідомлень АІС [2], [3].

Повідомлення спеціального призначення (АІСМ)

Через перевантаженість каналів АІС в окремих районах судноплавства виділені окремі канали для потреб передавання повідомлень спеціального призначення:

АІСМ1 (канал 2027): 161,950 МГц;

АІСМ2 (канал 2028): 162 000 МГц.

Ці канали використовують квадратурну фазову модуляцію з зсувом $\pi/4$ ($\pi/4$ QPSK) при швидкості передачі даних 19,2 кбіт/с у кожному каналі [20].

Стандартні канали АІС (161,975 МГц і 162,025 МГц) знаходяться під високим впливом взаємних колізій повідомлень при прийомі супутниками через те, що супутник одночасно приймає передачі від декількох суден. Канали АІСМ 2027 і 2028 сприяють пом'якшенню цієї проблеми.

АІСМ дозволяють зменшити радіотелефонні передачі, одночасно підвищуючи надійність обміну інформацією разом зі зниженням навантаження на операторів берегових станцій.

Канали АІСМ не є загальнообов'язковими для судових трансиверів АІС, але все частіше використовуються в спеціалізованій інфраструктурі АІС, зокрема для супутникового моніторингу і експериментального вдосконалення морського зв'язку.

Сучасна морська галузь потребує впровадження цифрових технологій, які дозволяють підвищити ефективність та надійність операцій. У плані впровадження стратегії е-навігації ІМО [3] визначено низку ключових цифрових сервісів, зокрема:

- процедури заходу в порт,
- розповсюдження навігаційних попереджень,

- VTS-сервіси (служби управління рухом суден).

Однак у порівнянні з наземними галузями рівень цифровізації та автоматизації у морському секторі суттєво відстає. Основна причина такого становища обумовлена наступним чином. Зв'язок у відкритому морі судно – берег є достатньо складним і значно дорожчим через використання супутникових каналів порівняно з оптоволоконними мережами на березі. У прибережних акваторіях судна можуть покладатися на мережі стільникового зв'язку.

Використання ASM вирішує проблему інформаційного обміну для цілей безпеки судноплавства і надання економічно обґрунтованих сервісів.

Система обміну даними в УКХ діапазоні (VDES)

Наступним етапом розгортання цифрових каналів в УКХ діапазоні стала розробка та впровадження нової цифрової системи зі значно кращими показниками, офіційно відомої під назвою VDES. Також використовується популярний термін AIS 2.0 [18]. Розробка та стандартизація системи відбувалась під керівництвом IALA та ITU.

Для розгортання системи виділено 14 каналів зі смугами по 25 кГц, які замінили старі канали, що рідко використовуються. Для нумерації каналів застосована чотирьохзначна нумерація, яка додає префікси 10/20 до попереднього номеру каналу відповідно у нижньому та верхньому піддіапазонах.

VDES розглядається як доцільне та ефективне рішення використання радіочастотного спектру, для вирішення проблеми нестачі пропускної здатності каналів передачі інформації, необхідної для сучасного судноплавства. Основним важелем VDES є нові комунікаційні технології, які забезпечують 32 разове збільшення швидкості обміну необроблених даних у порівнянні з АІС. Крім того, застосований мережевий протокол передачі даних оптимізований для досягнення максимально високою впевненістю отримання повідомлень.

VDES підтримує широкий спектр сервісів, що підвищують безпеку на морі та сприяють ефективності і екологічності морської галузі. Серед таких сервісів – розповсюдження інформації про морську безпеку, обмін даними для покращеної ситуаційної обізнаності в рятувальних операціях та обмін маршрутами для більш безпечних і економічно вигідних вантажних перевезень.

Загальна архітектура побудови VDES з підключенням до Інтернету представлена на Рис. 3. VDES складається з супутникового сегменту – низькоорбітальних наносупутників, берегового сегменту – супутникові та берегові станції наземного базування, і власне судових рухомих станцій. Підсистема супутникового зв'язку VDE-SAT забезпечує супутниковий зв'язок в обох напрямках судно – наземні берегові станції. Підсистема наземного зв'язку VDE-TER забезпечує зв'язок судно – судно та судно – берег в обох напрямках. Підключення до Інтернету забезпечує доступ до багатьох цифрових сервісів та глобальний обмін даними. Але вирішення цієї задачі вимагає міжнародного співробітництва.

На даний час у VDES працюють 4 супутника: Norsat-2, Norsat-TD (Норвегія), Sternula-1 (Данія), Lumelite-4 (Сінгапур) [17]. Данська компанія Sternula планує вивести на орбіту ще 4 супутника у 2025 році. Слід зазначити, що за відсутності міжсупутникового зв'язку кількість супутників не є критичним показником для експлуатації VDES. Ще декілька міжнародних компаній (Kongsberg, Saab, ORBCOMM, японський консорціум VDES) планують запуски супутників VDES призначення за підтримки Європейській космічній агенції (ESA). Кінцевою ціллю є створення глобальної гібридної системи (супутники у кількості не менш 20 + берегова інфраструктура) для реалізації безпечного та надійного морського цифрового зв'язку з низькою затримкою даних.

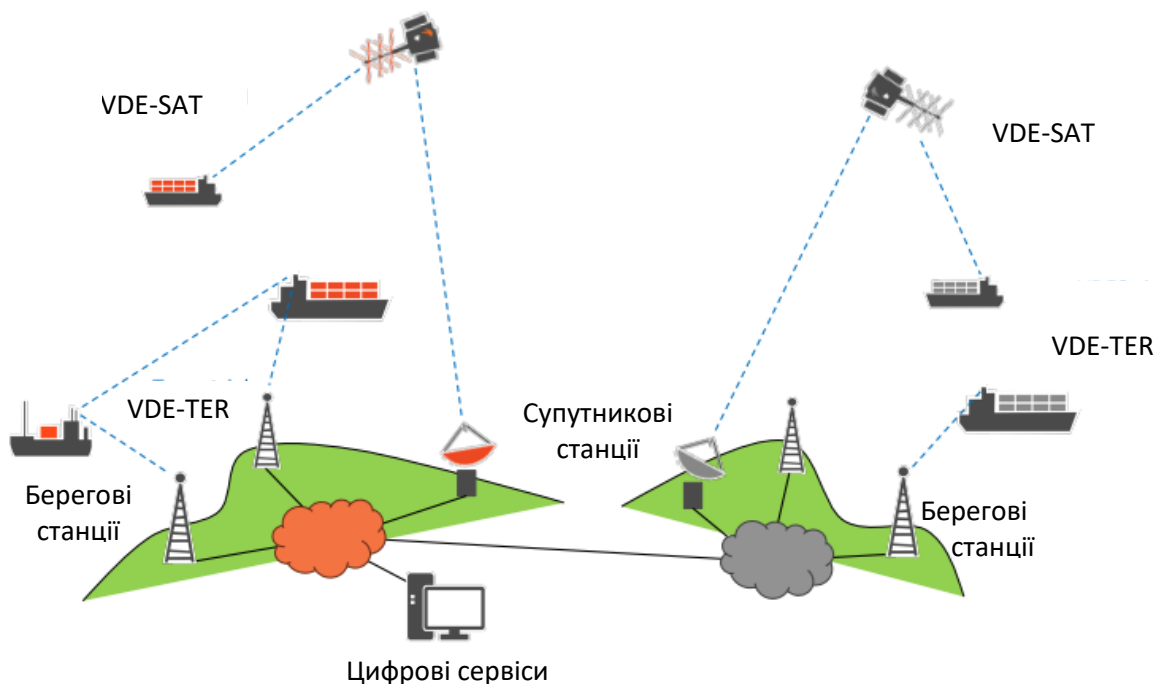


Рис. 3. Архітектура VDES з підключенням до Інтернету [17]

Концепція функціонування VDES базується на наступних положеннях [2]:

- 1) VDES забезпечує можливість обміну даними між суднами та береговими користувачами за допомогою наземного чи супутникового зв'язку;
- 2) Робота VDES підпорядковується береговим станціям управління, але вона може працювати автономно без залучення берегової інфраструктури;
- 3) Обмін даними з судна може здійснюватися автоматично або вручну;
- 4) Обмін даними використовує призначені канали УКХ;
- 5) Передача та прийом даних відбувається з мінімальною участю персоналу судна;
- 6) VDES включає існуючі застосування AIS;
- 7) VDES включає існуючі системи ASM;
- 8) Додаткові можливості VDES включають підтримку VDE;
- 9) Програми, пов'язані з VDES, повинні підтримувати зв'язок, незалежно від мови (наприклад, за допомогою словників цифрових даних);
- 10) VDES реалізує моніторинг цілісності даних на рівні зв'язку VDES (наприклад, контрольна сума);
- 11) Програми, пов'язані з VDES, спрямовані на кібербезпеку (наприклад, автентифікація, управління ключами та, якщо потрібно, шифрування);
- 12) VDES має високий рівень доступності;
- 13) VDES підтримує міжмашинний зв'язок (наприклад, інтерфейси із зовнішнім обладнанням, що забезпечує додатки, пов'язані з VDES) і
- 14) Додатки, пов'язані з VDES, дозволяють чітко розуміти інформацію, надіслану або отриману через VDES.

ІМО працює над інтеграцією нової системи VDES до конвенції SOLAS, про що свідчить затвердження у редакції 2024 року змін до вимог щодо радіобладнання суден, зокрема,

Правило 4 (Функціональні вимоги) та Правило 7 (Радіобладнання: Загальне), які вимагають здатності прийому та передачі загальної кореспонденції. Це є підґрунтям для практичного розгортання VDES.

З технічної точки зору функціонування VDES на фізичному рівні засноване на реалізації доступу до усіх типів станцій – берегового, суднового та супутникового базування – до загального середовища електромагнітного випромінювання з урахуванням просторового, частотного та часового розподілу радіосигналів. Просторовий розподіл сигналів обмежується горизонтом. Враховуючи висоту орбіти супутників 600 км, дальність супутникового зв'язку складатиме приблизно 3000 км [21, с. 46]. Для наземного зв'язку дальність зв'язку складає приблизно 20 – 50 морських миль [20, с. 32]. Частотний розподіл визначається каналами, які використовуються для зв'язку. Часовий розподіл визначається розкладом передач за синхронізацією UTC. Усі передачі здійснюються в режимі розподілу часу доступу до радіоканалу (TDMA). Таким чином, для запобігання колізій планування передач здійснюється у три факторному вимірі: простір, частота, час.

Дані у VDE-TER передаються в межах часового слоту тривалістю 26,67 мс з синхронізацією за UTC (аналогічно AIC) [20, с. 36]. Але на відміну від AIC за рахунок використання смуг 25, 50, 100 кГц один слот вміщує відповідно 512, 1024, 2048 символів, проти 256 біт в AIC. Причому кожний символ представляється 4-ма бітами. Кратне ущільнення інформації і відповідне підвищення бітрейту (швидкості даних) досягається використанням на фізичному рівні просунутих видів амплітудно-фазової модуляції: $\pi/4$ QPSK, 8-PSK, 16-QAM. Характеристики VDES, включно складові частини AIS, ASM, VDE-TER, VDE-SAT, наведені у Табл. 2.

На мережевому рівні підтримуються [20, с. 41]:

- повідомлення розкладу (Bulletin Board), що передаються береговими станціями;
- передачі усім станціям (Multicast) берег-судно, судно-судно, наприклад, льодові мапи, погода, морські повідомлення;
- особисті передачі (Unicast) берег-судно, судно-судно, судно-берег, наприклад, передача файлів конкретному адресату.

У супутниковому зв'язку VDE-SAT в обох напрямках додатково застосовується кодове розділення сигналів за методом прямого розширення спектру (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS). В якості послідовностей, що розширюють, застосовані псевдовипадкові послідовності Голда довжиною 2048 біт [21, с. 110].

Таблиця 2. Складові частини VDES, номери каналів, частоти, напрямки передачі інформації

Складова	Канали	Смуга, кГц	Швидкість даних, кбіт/с	Напрямок передачі
AIS	2087 AIS1 2088 AIS2	25	9,6	Судно – (судно, берег, супутник) Берег-судно
	75 AIS LR1 76 AIS LR2	25	9,6	Судно - супутник
ASM	2027 ASM1 2028 ASM2	25	19,2	Судно – (берег, супутник) Берег - судно

VDE-TER	1024, 1084, 1025, 1085	25 50 100	76,8 153,6 307,2	Судно - берег
	2024, 2084, 2025, 2085	25 50 100	76,8 153,6 307,2	Судно - судно Берег - судно
VDE-SAT	1024, 1084, 1025, 1085, 1026, 1086	50	100,8	Судно - супутник
	2024, 2084, 2025, 2085, 2026, 2086	50, 100, 150	100,8	Супутник - судно

На світовому ринку вже з'явилися пристрої VDES суднового та берегового базування (Табл. 3). Аналіз ринку споживання апаратури VDES прогнозує стійке щорічне зростання виробництва на 16,10% до 2030 року [18].

Таблиця 3. Пристрої VDES

Характеристики	Пристрій		
	R60 VDES Base Station	VDES1000 Module	R6 Supreme AIS/VDES
Виробник	Saab TransponderTech, Sweden	CML Microsystems, UK	Saab, Sweden
Призначення	VDES та AIS Трансивер берегової станції	VDES та AIS	Судновий трансивер класу-A AIS та VDES
Живлення	24 VDC або 100-240 VAC	24 VDC, 4A	12-24 VDC
Потужність	1 Вт або 12,5 Вт	1 Вт або 12,5 Вт	1 Вт – 12,5 Вт
Частоти	155–162.5 МГц	156,025 – 162,025 МГц	156.025 – 162.025 МГц
Підтримка GNSS	GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou	GPS (рекомендовано Siretta Alpha 4A)	GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou
Інтерфейси	3 Ethernet, RS-232/422, цифрові входи/виходи	Ethernet, RS-422, USB	IEC 61162-1/2 4 Sensor/LR input/output 3 ECDIS/ARPA/Pilot plug 2 IEC 61162-450 Ethernet RJ45
Ретрансляція	Підтримується (включаючи AtoN)	Підтримується (через VDES)	Підтримується

Моніторинг	Веб-інтерфейс, тривоги, логування даних	Веб-інтерфейс, тривоги, логування даних	Вбудований Bridge Alarm Management (BAM)
Підтримка AIS	Повна підтримка AIS (повідомлення 1-27)	Підтримка AIS (повідомлення 1-24)	Так, відповідає вимогам SOLAS V
Підтримка VDES	Підтримується (включаючи ASM та VDE)	Підтримується (включаючи ASM та VDE)	Так, включає ASM, VDE-Terrestrial, VDE-Sat
Модуляція	GMSK (AIS), FSK (DSC), $\pi/4$ QPSK (ASM), 16-QAM (VDE)	GMSK (AIS), $\pi/4$ QPSK (ASM), 16-QAM (VDE)	Програмована радіочастотна модуляція (SDR)
Швидкість передачі	9,6 кбіт/с (AIS), 19,2 кбіт/с (ASM), 307,2 кбіт/с (VDE)	9,6 кбіт/с (AIS), 19,2 кбіт/с (ASM), 307,2 кбіт/с (VDE)	9,6 кбіт/с (AIS); 307,2 кбіт/с (VDE-TER); 19,2 кбіт/с (VDE-SAT) 38,4 кбіт/с (ASM)
Посилання	https://www.saab.com/products/r60-vdes-base-station	https://cmlmicro.com/products/maritime-communications/product/vdes1000-vhf-data-exchange-system-vdes-module	https://www.themysgroup.com/details-r6+supreme+vdes+system+incl+junction+box-190.html

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

Проведений аналіз сучасного стану морських УКХ систем зв'язку дозволяє констатувати, що VDES відкриває нові можливості для розвитку морської інфраструктури. Ця технологія демонструє вагому перевагу перед традиційними рішеннями завдяки підвищеній пропускній здатності, розширеним функціональним можливостям та здатності забезпечувати глобальне покриття. Її впровадження створює передумови для повноцінної реалізації концепції е-навігації, суттєвого підвищення рівня безпеки судноплавства та оптимізації логістичних процесів у морській галузі.

Найперспективнішими напрямками подальших наукових пошуків визначаються дослідження з оптимізації використання частотного спектру в умовах постійного зростання кількості підключених пристроїв. Особливої уваги потребують роботи з удосконалення механізмів кібербезпеки, що набуває критичного значення у контексті розвитку автономного судноплавства. Паралельно необхідно продовжувати розвиток супутникового сегменту системи для забезпечення стабільного зв'язку у віддалених районах світового океану. Важливим напрямком є інтеграція VDES з іншими цифровими системами суднового та берегового базування для створення єдиного інформаційного простору.

Ключовим аспектом подальших досліджень має стати розробка комплексних рішень, що поєднують технічні інновації з практичними вимогами експлуатації. Особливе значення набувають роботи з міжнародної стандартизації та гармонізації технічних рішень, що є необхідною умовою для успішного впровадження системи у глобальному масштабі. Реалізація цих напрямів дозволить створити сучасну ефективну інфраструктуру морського зв'язку, яка відповідатиме викликам цифрової епохи та забезпечить сталий розвиток морської галузі в довгостроковій перспективі.

REFERENCES

- [1] Dimakopoulou A., Rantos K. Comprehensive Analysis of Maritime Cybersecurity Landscape Based on the NIST CSF v2.0 // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2024. – Vol. 12. – Article 919. – DOI: 10.3390/jmse12060919
- [2] G1139 - The Technical Specification of VDES. Guideline / IALA. – Ed. 3. – 2019. – URL: https://www.e-navigation.nl/sites/default/files/1139-ed.3-the-technical-specification-of-vdes_june-2019.pdf
- [3] G1181 - VDES VHF Data Link (VDL) Integrity Monitoring. IALA Guideline. – Ed. 1.0. – 2023. – URL: <https://www.iala.int/product/g1181-vdes-vdl-integrity-monitoring>
- [4] Golaya A. P., Yogeswaran N. Maritime communication: From flags to the VHF Data Exchange System (VDES) // *Maritime Affairs*. – 2020. – DOI: 10.1080/09733159.2020.1845456
- [5] Goudossis A., Katsikas S. K. Towards a secure automatic identification system (AIS) // *Journal of Marine Science and Technology*. – 2018. – Vol. 24, № 6. – P. 410–423. – DOI: 10.1007/s00773-018-0561-3
- [6] IMO. Resolution MSC.496(105). Amendments to the SOLAS Convention. – 2022.
- [7] International Maritime Organization. Guidance on the Use of AIS Application Specific Messages: SN.1/Circ.289. – 2010.
- [8] International Telecommunication Union. Radio Regulations. – Vol. 1. – 2024.
- [9] Karahalios H. Appraisal of a Ship's Cybersecurity efficiency: the case of piracy // *Journal of Transportation Security*. – 2020. – Vol. 13. – P. 179–201. – DOI:10.1007/s12198-020-00223-1
- [10] Kessler G. C. Protected AIS: A Demonstration of Capability Scheme to Provide Authentication and Message Integrity // *TransNav*. – 2020. – Vol. 14, № 2. – P. 279–285.
- [11] Korcz K. Some Aspects of the Modernization Plan for the GMDSS // *TransNav*. – 2017. – Vol. 11, № 1.
- [12] Koshevyy V., Shyshkin O. Standardization of Interface for VHF, MF/HF Communication Using DSC within Its Integration with INS in the Framework of e-Navigation Concept // *TransNav*. – 2019. – Vol. 13, № 3. – P. 593–596.
- [13] Lázaro F., Raulefs R., Wang W. et al. VHF Data Exchange System (VDES): an enabling technology for maritime communications // *CEAS Space Journal*. – 2019. – Vol. 11. – P. 55–63. – DOI: 10.1007/s12567-018-0214-8
- [14] Li M., Zhou J., Chattopadhyay S., Goh M. Maritime Cybersecurity: A Comprehensive Review // *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*. – 2024. – URL: <https://arxiv.org/abs/2409.11417>
- [15] Meland P. H. et al. A Retrospective Analysis of Maritime Cyber Security Incidents // *TransNav*. – 2021. – Vol. 15, № 3. – P. 519–530.
- [16] Molina N., Cabrera F., Tichavska M. An Overview About the Physical Layer of the VHF Data Exchange System (VDES) // *EUROCAST 2019 Conference Proceedings*. – 2019. – P. 67–74.
- [17] Moltsen L. Overseas satellite VDES development plans and international alliances. – 2024. – URL: <https://vdes.jp/site/wp-content/uploads/2024/05/Sternula-Lars-Moltsen.pdf>

- [18] Moltsen L., Pielmeier S. AIS 2.0 – A New Maritime Telecommunications Network // *Autonomous Ships Conference*. – 2022. – 31 March–1 April. – London. – URL: <https://www.sternula.com/wp-content/uploads/2022/09/2022-04-01-AIS-will-be-an-IoT-network-1.pdf>
- [19] Recommendation ITU-R M.1371. Technical characteristics for an automatic identification system using TDMA. – 2014.
- [20] Recommendation ITU-R M.2092-0. VHF Data Exchange System. – 2015.
- [21] Recommendation ITU-R M.2092-1. VHF Data Exchange System. – 2022.
- [22] Recommendation ITU-R M.493-15. Digital selective-calling system. – 2019.
- [23] Report ITU-R M.2231-1. Use of Appendix 18 to the Radio Regulations. – 2014.
- [24] Report ITU-R M.2435-0. Technical studies on the satellite component of the VHF data exchange system. – 2018. – URL: <https://www.e-navigation.nl/sites/default/files/r-rep-m.2435-2018-pdf-e.pdf>
- [25] Shyshkin O. Cybersecurity Providing for Maritime Automatic Identification System // *IEEE ELNANO 2022 Conference Proceedings*. – Kyiv, 2022. – P. 736–740.
- [26] Walter M. et al. Visualisation of cyber vulnerabilities in maritime human-autonomy teaming technology // *WMU Journal of Maritime Affairs*. – 2025. – Vol. 24. – P. 5–31. – DOI: 10.1007/s13437-025-00362-z
- [27] Westbrook Tegg. Lethal empowerment and electronic crime: A focus on radio-frequency interference capabilities // *Security and Defence Quarterly*. – 2025. – DOI: 10.35467/sdq/196515
- [28] Wimpenny G., Lázaró F., Šafář J., Raulefs R. A pragmatic approach to VDES authentication // *NAVIGATION*. – 2025. – Vol. 72, № 1. – DOI: 10.33012/navi.681
- [29] Wu Z. et al. Application Prospects and Challenges of VHF Data Exchange System (VDES) in Smart Fisheries // *J. Mar. Sci. Eng.* – 2025. – Vol. 13. – Article 250. – DOI: 10.3390/jmse13020250