

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-645-4-63>

WIRELESS COMMUNICATION TOOLS IN TECHNICAL SUPPORT SYSTEMS FOR MARITIME SAFETY

ЗАСОБИ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОРСЬКОЇ БЕЗПЕКИ

Tolok Polina Oleksandrivna

*Candidate of Economic Sciences,
Senior Researcher of the Research
Department of Testing Armaments
and Military Equipment of the Naval
Forces and Marine Medicine
State Research Institute for Testing
and Certification of Armaments
and Military Equipment
Cherkasy, Ukraine*

Толок Поліна Олександрівна

*кандидат економічних наук,
старший науковий співробітник
науково-дослідного відділу
випробувань озброєння та військової
техніки Військово-Морських Сил
та морської медицини
Державний науково-дослідний
інститут випробувань
і сертифікації озброєння
та військової техніки
м. Черкаси, Україна*

Забезпечення морської безпеки в стратегічно важливому Балто-Чорноморському регіоні критично залежить від надійності функціонування систем технічного забезпечення, ключовою складовою яких є бездротовий зв'язок. Ефективна координація дій військово-морських сил, берегової охорони, пошуково-рятувальних операцій та підрозділів ліквідації надзвичайних ситуацій вимагає високошвидкісних, стійких та захищених каналів передачі даних. У таких умовах фізичний рівень комунікаційної системи – а саме моделі розповсюдження радіохвиль та характеристики антен – стають домінуючими факторами, що визначають якість зв'язку.

Точне математичне моделювання реального каналу зв'язку в морському середовищі є надзвичайно складним завданням [1]. Специфіка морської акваторії, динаміка поверхні води, наявність великих металевих конструкцій (судна, платформи) та швидкі зміни атмосферних умов вимагають розробки або адаптації існуючих спрощених математичних моделей, які б дозволяли виявляти найважливіші закономірності розповсюдження, що відрізняються від традиційної наземної двохточкової бездротової багатопроменевої схеми.

Для розробки надійної технології зв'язку в умовах ведення бойових дій необхідно добре вивчити та описати фізичний рівень каналу. Класичні моделі розповсюдження радіохвиль, такі як специфікації

COST 231 [2], в основному зосереджуються на оцінці затухання та затримки радіохвиль для різної статистики трас розповсюдження.

Однак, на морі або поблизу узбережжя багатопробене розповсюдження часто проявляється у вигляді обмеженого числа локальних променів, які обумовлені складною геометрією розміщення та формою відбиваючих поверхонь (корпуси суден, хвилі тощо), а також затіненням та розсіюванням конструкціями, що виникають внаслідок аварії [3].

Розвиток бездротових технологій призвів до появи специфікацій, які базуються на променевих представленнях розповсюдження радіохвиль. Теорія променів визнається перспективною процедурою для розробки нових комунікативних моделей та статистичного моделювання бездротового зв'язку [4]. Проте, при застосуванні цих моделей у морських умовах виникають суттєві обмеження:

Зростаючі вимоги до швидкості, надійності та пропускну здатності систем зв'язку, що використовуються для передачі розвідувальних даних, відео з безпілотних літальних апаратів та координаційних команд, зумовили появу технології Multiple Input Multiple Output (MIMO). MIMO, що є ключовим компонентом стандартів LTE/3GPP, 802.11x та 802.16x, використовує множинні передавальні та приймальні антени для боротьби із загасанням та підвищення ємності каналу.

Це призвело до модифікації моделей безпровідних середовищ, які поділяються на:

1. Аналітичні (нефізичні) моделі, які характеризують матрицю каналу MIMO, враховуючи антенні ефекти (наприклад, кореляційні моделі Кронекера та Вічселбергера);

2. Фізичні хвильові моделі, які враховують затримку, напрямки випромінювання та прийому хвиль, а також складний характер їх розповсюдження, що є незалежними від антени і можуть бути безпосередньо об'єднані з використовуваними антенними системами для оцінки комунікативних характеристик MIMO.

3. Стохастичні моделі на основі геометрії безпровідного середовища, які враховують конкретне положення об'єктів розсіяння.

В умовах бойових дій на морі, де залучаються багато кораблів, рятувальних човнів, дронів та берегових постів, для підвищення надійності зв'язку життєво необхідним є використання технології MIMO [5]. Відповідно, для опису та дослідження комунікативних можливостей такої складної мережі необхідна багатоточкова променева комунікативна модель. Така модель повинна включати дві і більше точок випромінювання та дві і більше точок прийому та одночасно забезпечувати оцінку комунікативних характеристик (наприклад, пропускну здатності, надійності) спільно для каналу та антенних систем.

Дане дослідження, що обмежується моделями безпровідних середовищ, параметри яких не змінюються у часі та просторі (за винятком затухання), та розглядає комунікаційні задачі на площині без урахування поляризаційних параметрів, є лише початковим етапом. Для реального застосування в системах технічного забезпечення морської безпеки, подальші дослідження слід зосередити на наступних критичних напрямках.

Необхідно враховувати нестационарний характер комунікативних моделей, зокрема, просторово-часові параметри, що постійно змінюються внаслідок хитання суден, руху хвиль, дрейфу аварійних об'єктів. Це вимагає розробки динамічних багатоточкових моделей.

У морському середовищі, особливо при залученні безпілотних літальних апаратів та підводних апаратів, розповсюдження радіохвиль є суто тривимірним. Це вимагає відмови від спрощення «задачі на площині» та переходу до повноцінного багатовимірного моделювання [6].

Зміна орієнтації антен на судах внаслідок хитання, а також ефекти відбиття від морської поверхні суттєво впливають на поляризацію радіохвиль. Врахування поляризаційних параметрів випромінювання, їх променевого розповсюдження та прийому є необхідною умовою для підвищення точності моделювання каналів зв'язку.

Розуміння та моделювання цих складних фізичних процесів дозволить розробити надійні комунікаційні протоколи для систем технічного забезпечення, що є основою для ефективного реагування на виклики та загрози в Балто-Чорноморському регіоні.

Література:

1. Zayed M. M., Shokair M. Modeling and simulation of optical wireless communication channels in IoUT considering water types turbulence and transmitter selection. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art.: 28381. DOI: 10.1038/s41598-025-10935-w.
2. Integrating Cost-231 Multiwall Propagation and Adaptive Data Rate Method for Access Point Placement Recommendation / F. S. Mukti et al. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2021. Vol. 12.4. DOI: 10.14569/IJACSA.2021.0120494
3. Zayed M. M., Shokair M. Performance analysis and optimization of modulation techniques for underwater optical wireless communication in varied aquatic environments. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art.: 32570. DOI: 10.1038/s41598-025-18406-y.
4. Chapter 2 – Radio propagation modeling methods and tools / Haneda K. et al. *Inclusive Radio Communications for 5G and Beyond*. Academic Press, 2021. P. 7–48. DOI: 10.1016/B978-0-12-820581-5.00008-0.

5. MIMO Systems for Military Communication/Applications / Jindal S. K. *International Journal of Engineering Research and Application*. 2016. Vol. 6, Issue 3. P. 22–33.

6. Impact of sea cluttering and wave shadowing on U2S MIMO channel model incorporating UAV-ship 6D motion in maritime environments / N. Ahmed et al. *Vehicular Communications*. 2025. Vol. 55. Art.: 100963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2025.100963>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-645-4-64>

**TOPICAL SECURITY RISKS AND CHALLENGES
OF INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE
INTO MILITARY APPLICATIONS**

**АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ ЗАСТОСУВАННЯ
ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВІЙСЬКОВІЙ СФЕРІ:
ВИКЛИКИ ТА ЗАГРОЗИ**

Khomenko Yevhen Valentynovych

*PhD student, Commander
Research Center
Dnipro, Ukraine*

<https://orcid.org/0009-0006-7006-3439>

Хоменко Євген

ВАЛЕНТИНОВИЧ
*аспірант, Начальник
Центр досліджень
м. Дніпро, Україна*

Bulhakova Svitlana Oleksandrivna

*Head of Personnel Department
Research Center
Dnipro, Ukraine*

<https://orcid.org/0009-0001-2952-0371>

Булгакова Світлана

ОЛЕКСАНДРІВНА
*начальник відділення персоналу
та стройової
Центр досліджень
м. Дніпро, Україна*

Svietlichnyi Igor Valeriyovych

*PhD student, Head of the Research
Department
Research Center
Dnipro, Ukraine*

<https://orcid.org/0000-0001-7328-548X>

Researcher ID: LFU-5714-2024

Светлічний Ігор

ВАЛЕРІЙОВИЧ
*аспірант, начальник відділу
досліджень
Центр досліджень
м. Дніпро, Україна*