

Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції

Materials of the 5th International Scientific and Practical Conference

ПРОБЛЕМИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ

**PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT
OF THE MARITIME INDUSTRY**

PSDMI – 2025

Збірник матеріалів конференції



**03–04 грудня 2025 р.
Одеса, Україна**

**December 03–04 2025
Odesa, Ukraine**

Організатори конференції

Conference organizers:

- МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
- *MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE*
- ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ (УКРАЇНА)
- *KHERSON STATE MARITIME ACADEMY (Ukraine)*
- НАУКОВИЙ ПАРК ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ
- «ІННОВАЦІЇ МОРСЬКОЇ ІНДУСТРІЇ» (УКРАЇНА)
- *SCIENCE PARK OF KHERSON STATE MARITIME ACADEMY «MARITIME INDUSTRY INNOVATIONS» (Ukraine)*
- ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ І МОН УКРАЇНИ (УКРАЇНА)
- *SOUTHERN SCIENTIFIC CENTER OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE AND THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE (Ukraine)*
- НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА
- МАКАРОВА (УКРАЇНА)
- *ADMIRAL MAKAROV NATIONAL UNIVERSITY OF SHIPBUILDING (Ukraine)*
- НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ» (УКРАЇНА)
- *NATIONAL UNIVERSITY «ODESA MARITIME ACADEMY» (Ukraine)*
- ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (УКРАЇНА)
- *ODESA NATIONAL MARITIME UNIVERSITY (Ukraine)*
- ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ І ТЕХНОЛОГІЙ VILNIUS TECH
- *LITHUANIAN MARITIME ACADEMY (LITHUA)*
- *VILNIUS TECH Lithuanian Maritime Academy (Lithuania)*
- RTU LATVIAN MARITIME ACADEMY (ЛІТВІЯ)
- *RTU LATVIAN MARITIME ACADEMY (Latvia)*
- БАТУМСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ (ГРУЗІЯ)
- *BATUMI STATE MARITIME ACADEMY (Georgia)*
- АЗЕРБАЙДЖАНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ (АЗЕРБАЙДЖАН)
- *AZERBAIJAN STATE MARINE ACADEMY (Azerbaijan)*
- ДУНАЙСЬКИЙ ІНСТИТУТ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ОДЕСЬКА
- МОРСЬКА АКАДЕМІЯ» (УКРАЇНА)
- *DANUBE INSTITUTE OF NATIONAL UNIVERSITY "ODESA MARITIME ACADEMY" (Ukraine)*
- КРЮЇНГОВА КОМПАНІЯ «MARLOW NAVIGATION» (КІПР)
- *MARLOW NAVIGATION (Cyprus)*

Програмний комітет:

Programme Committee:

Андрій Букетов – д.т.н., проф. (Україна) / *Andrii Buketov – DScTech., Professor (Ukraine);*
Валентин Чимшир – д.т.н., проф. (Україна) / *Valentyn Chymshyr – DScTech., Professor (Ukraine);*
Віталій Нікольський, д.т.н., проф. (Україна) / *Vitalii Nikolskyi – DScTech., Professor (Ukraine)*
Вітаутас Дубра – др., доц. (Литва) / *Vytautas*

Dubra – DSci, Associate Professor (Lithuania);
Володимир Блінцов – д.т.н., проф. (Україна) / *Volodymyr Blintsov – DscTech., Professor (Ukraine);*
Вюгар Бєюкага огли Садигов – к.т.н., доц. (Азербайджан) / *Viuhar Beiukaha Sadyhov – Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Azerbaijan);*
Єлена Белова – др., доц. (Литва) / *Yelena Belova – DSci, Associate Professor (Lithuania);*
Єлена Валіонене – др., доц. (Литва) / *Yelena Valionene – DSci, Associate Professor (Lithuania);*

Іраклій Шарабідзе – д.т.н, проф. (Грузія) /
Iraklii Sharabidze – DScTech., Professor
(Georgia);
Микола Цимбал – д.т.н., проф. (Україна) /
Mykola Tsybal – DScTech., Professor
(Ukraine);
Олег Рубель – д.е.н., проф. (Україна) / *Oleh*
Rubel – DScEcon., Professor (Ukraine);
Олександр Сапронов – д.т.н., проф. (Україна)

/ *Oleksandr Sapronov* – DScTech., Professor
(Ukraine);
Роман Варбанець – д.т.н., проф. (Україна) /
Roman Varbanets – DScTech., Professor
(Ukraine);
Сергій Зінченко – д.т.н., проф. (Україна) /
Serhii Zinchenko – DScTech., Professor
(Ukraine).

Організаційний комітет:

Organizing Committee:

Голова/Head: Гусєв Віктор Миколайович – ректор академії.
Viktor Husiev – Rector, Kherson State Maritime Academy.

Заступники
голови/Deputy
Heads: Дягилева Олена Сергіївна – перший проректор.
Olena Diahyleva – First Vice-Rector, Kherson State Maritime Academy.
Бень Андрій Павлович – проректор з науковопедагогічної роботи.
Andrii Ben – Vice-Rector for Research, Kherson State Maritime Academy.
Лещенко Алена Михайлівна – професор кафедри соціально-гуманітарних
дисциплін та інноваційної педагогіки.
Alona Leshchenko – Professor, Department of Humanities, Social Sciences and
Innovative Pedagogy, Kherson State Maritime Academy.

Члени
комітету/Members: Нагрибельний Ярослав Анатолійович – декан факультету судноводіння.
Yaroslav Nahrybelnyi – Dean of the Navigation Faculty, Kherson State Maritime
Academy.
Акімов Олександр Вікторович – декан факультету суднової енергетики.
Oleksandr Akimov – Dean of the Marine Engineering Faculty, Kherson State
Maritime Academy.
Петровський Андрій Валерійович – начальник відділу технічної інформації.
Andrii Petrovskiy – Head of the Technical Information Department, Kherson State
Maritime Academy.
Врублевський Роман Євгенович – начальник редакційно-видавничого
відділу.
Roman Vrublevskiy – Head of the Editorial and Publishing Department, Kherson
State Maritime Academy.
Плутенко Валерій Валерійович – начальник відділу інформаційного
супроводу освітнього процесу.
Valerii Plutenko – Head of the Educational Information Support Department,
Kherson State Maritime Academy.
Онишко Дмитро Миколайович – старший викладач кафедри навігації та
управління судном.
Dmytro Onyshko – Senior Lecturer of the Department of Navigation and Ship
Handling.

У збірнику представлено матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі», яка відбулася у м. Херсоні 03–04 грудня 2025 р. і була присвячена актуальним питанням сталого розвитку морської галузі.

Матеріали збірника розраховані на викладачів та студентів вищих навчальних закладів, фахівців науково-дослідних установ та підприємств.

Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI – 2025) [Збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції (03–04 грудня 2025 р., м. Херсон)]. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2025. – 332 с.

ПЕРЕДМОВА

Шановні колеги!

Ви тримаєте в руках збірник тез доповідей П'ятої Міжнародної науково-практичної конференції *«Проблеми сталого розвитку морської галузі» (PSDMI – 2025)*, метою якої є аналіз та узагальнення нових теоретичних і прикладних результатів щодо вирішення питань сталого розвитку морської галузі. Конференція мала проходити у місті Херсоні, що розташоване на мальовничих берегах річки Дніпро, на базі Херсонської державної морської академії, яка має давню історію та була створена у 1834 році. На жаль повномасштабне вторгнення росії внесло корективи в життя України в цілому і Херсонської державної морської академії також, але не стало на заваді діяльності та розвитку нашого закладу.

В організації та роботі конференції беруть участь провідні науково-дослідні та навчальні заклади України, Казахстану, Канади, Хорватії, Словаччини, Чеської Республіки, Литви, Грузії, Азербайджану та інших країн зарубіжжя. Конференція відбулася в онлайн-режимі і ми дуже вдячні усім, хто доєднався до нас та поділився своїми напрацюваннями.

Головною метою конференції є обговорення широкого спектра нових наукових і практичних результатів, упровадження інновацій, обмін поглядами та визначення перспективних напрямів наукових досліджень. Важливою складовою є також налагодження та розвиток співпраці між навчальними закладами, науковими установами і підприємствами України та інших країн. Однією з ключових особливостей заходу є активне залучення молодих вчених до опрацювання найактуальніших тем у сфері морського транспорту.

Ми переконані, що тематика наукових робіт конференції сприятиме ґрунтовному аналізу та обговоренню зазначених питань, обміну ідеями та думками, визначенню пріоритетних напрямів досліджень, налагодженню нових професійних контактів у сфері наукової співпраці. Це також сприятиме залученню молодих учених до вивчення актуальних проблем морської галузі та наблизить швидке відновлення економічного потенціалу України після перемоги!

Організатори щиро дякують усім учасникам конференції та впевнені, що PSDMI – 2025 стала традиційною платформою для зустрічей та спілкування.

Висловлюємо свою щирю подяку усім авторам доповідей за порозуміння та співпрацю з організаторами.

Бажаємо всім нових наукових ідей та досягнень, плідної роботи.

З повагою, Організаційний та Програмний комітети.

FOREWORD

Dear colleagues!

We bring to your attention the proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «*Problems of Sustainable Development of the Maritime Industry*» (PSDMI – 2025), which aims to analyse and summarise new theoretical and applied results in addressing issues of sustainable development of the maritime industry. The conference was scheduled to be held in the city of Kherson, located on the picturesque banks of the Dnipro River, at the premises of Kherson State Maritime Academy, an institution with a long history, established in 1834. Unfortunately, the full-scale invasion of Russia adjusted the life in Ukraine and Kherson State Maritime Academy as well, but it did not hinder the activity and development of our institution.

Leading research and educational institutions from Ukraine, Kazakhstan, Canada, Croatia, Slovakia, the Czech Republic, Lithuania, Georgia, Azerbaijan, and other foreign countries participated in organizing and conducting the conference. The conference was held online, and we express our gratitude to everyone who joined and shared experience.

The main task of the conference is to discuss a wide range of new scientific and practical results, introduce innovations, exchange views and identify promising directions for scientific research. An important component is also establishing and developing cooperation between educational institutions, research organisations, enterprises in Ukraine and abroad. One of the distinctive features of the event is the active involvement of young scientists in addressing the most relevant areas of research in the field of maritime transport.

We are confident that the conference papers will contribute to a thorough analysis and discussion of the issues above, exchange of ideas and opinions, identification of priority areas of research, establishment of new professional contacts in scientific cooperation. They will also encourage the involvement of young scientists in studying the most relevant issues in the maritime industry and support rapid recovery of Ukraine's economic potential following the victory!

Organisers are sincerely thankful to all the participants and believe that PSDMI – 2025 has become a traditional platform for meetings and professional communication.

We express our sincere gratitude to all the authors of reports for their understanding and cooperation with organisers.

We wish everyone new scientific ideas, achievements, and fruitful work.

Respectfully, Organising and Programme Committees.

СЕКЦІЯ:
ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЗАСОБИ НА МОРСЬКОМУ
ТРАНСПОРТІ
SECTION
INFORMATION AND INTELLIGENT TOOLS IN MARITIME TRANSPORT

УДК 621.436.04:629.5.064

МЕТОД ПАРАЛЕЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ В ЦИЛІНДРІ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ (ТИСК У ЦИЛІНДРІ + ВІБРОАКУСТИКА)

*Варбанець Р. А., Мінчев Д. С., Кучеренко Ю. М., Кирилаш О. І.,
Александровська Н. І.*

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

Запропоновано метод паралельного моніторингу робочого процесу суднових дизелів на основі одночасного аналізу тиску в циліндрі та віброакустичних сигналів. Даний підхід забезпечує можливість точного визначення фаз газорозподілу та паливopoдaчі. Запропоновано новий алгоритм ідентифікації верхньої мертвої точки при трьох невідомих параметрах: ВМТ, тиск наддуву P_{scav} і дійсна ступінь стиснення. Система DEPAS 5.0W забезпечує вимірювання тиску до 250 бар, вібросигналів у високочастотному діапазоні та бездротову передачу даних. Живлення системи складає 3,6 В, 60 мА, повна маса вимірювального комплексу не більше 0,6 кг. В системі передбачено підтримка цифрового двійника Blitz-PRO (розробник проф. Мінчев Д.С.) для прогнозування технічного стану циліндропоршневої групи та механізму газорозподілу, що дозволяє своєчасно виявляти відхилення та оптимізувати роботу паливної апаратури.

Поєднання частотного аналізу (FFT) та wavelet-аналізу дає можливість локалізувати події у часі та отримувати додаткову інформацію про процес горіння. Для оперативної оцінки стабільності робочого процесу застосовано індекс нерівномірності циклів СІІ та коефіцієнт варіації COV.

Проведено лабораторні випробування на дизелі NVD24 OHMU, а також морські випробування на суднах mv «Egy Crown», mv «Vilnius» та mv «Kaunas» у 2025 році. Результати показали можливість зниження питомої витрати палива та шкідливих викидів при експлуатації суднових дизелів, що сприяє досягненню вимог ІМО щодо декарбонізації морського транспорту. Запропонований підхід забезпечує підвищення енергоефективності суднових енергетичних установок шляхом високоточного контролю параметрів робочого циклу та оперативного регулювання процесів згоряння і фаз газорозподілу у реальних умовах експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Varbanets R., et al. Advanced marine diesel engines diagnostics for IMO decarbonization compliance. AIP Conf. Proc., 3104(1), 2024.
2. Kefalas A., et al. Estimation of Combustion Parameters from Engine Vibrations Based on Discrete Wavelet Transform and Gradient Boosting. Graz University of Technology, 2023.

ДИФЕРЕНЦІЙНЕ ШЕСТИБІТНЕ КОДУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕФЕКТИВНОГО ОБМІНУ ДАНИМИ В АВТОНОМНОМУ СУДНОПЛАВСТВІ

Гончарук І.П., Головань А.І.

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. Сучасна цифровізація суден та впровадження автономного судноплавства спричиняють стрімке зростання обсягів бортових даних, що мають передаватися у режимі реального часу до берегових центрів моніторингу [1]. Однак наявні морські канали зв'язку, насамперед супутникові системи, характеризуються обмеженою пропускнуою здатністю та високою вартістю передачі. Це створює суттєві бар'єри для сталого розвитку автономного судноплавства та ефективного віддаленого контролю рейсу.

Актуальність дослідження. Збільшення кількості навігаційних, технічних та екологічних даних на борту судна вимагає пошуку ефективного обміну даними в автономному судноплаві. Вирішень, що дозволяють мінімізувати передані обсяги без втрати інформативності. Ефективні методи стиснення бортових даних здатні зменшити навантаження на канали зв'язку, забезпечити сталість цифрової інфраструктури та підтримати концепцію автономного судна. Запропонований метод диференційного шестибітного кодування демонструє значний потенціал у цій сфері.

Постановка задачі. Метою роботи є аналіз і узагальнення результатів застосування змінної довжини записів та диференційного двійкового кодування для оптимізації обміну цифровими даними між автономним судном і береговою інфраструктурою [2, 3]. Основними завданнями є:

- оцінювання скорочення обсягів переданих даних;
- визначення ефективності шестибітного кодування для передачі бортових даних;
- порівняння продуктивності запропонованого методу з іншими існуючими методиками кодування;
- встановлення перспектив використання підходу для сталого розвитку систем морських комунікацій.

Запропонований метод. Методи кодування даних із фіксованою довжиною запису, що застосовуються, зокрема, для передачі інформації в AIS, передбачають обов'язкове періодичне надсилання повного набору даних у заздалегідь визначеній послідовності. Завдяки фіксованій структурі та стабільному порядку полів такі дані достатньо просто формувати, об'єднуючи їх за допомогою розділових символів, наприклад коми. Однак у сучасних судових системах інформація надходить від численних вимірювальних приладів з дуже малими інтервалами, а динаміка зміни окремих параметрів істотно різниться. Частина даних - як-от координати або курс судна - змінюються практично безперервно, тоді як інші змінюються повільно і можуть залишатися сталими протягом секунд або навіть хвилин. У таких випадках повторна передача незмінних значень призводить до зайвого дублювання інформації та збільшення навантаження на канал зв'язку.

Тому оптимізація обсягу передаваних судових даних може бути досягнута шляхом застосування методів змінної довжини запису. Суть цих методів полягає в тому, що передаються лише ті параметри, значення яких змінилися з моменту попередньої передачі. Такий підхід дозволяє уникнути надлишкової інформації, але потребує маркування кожного значення відповідним ідентифікатором, що дозволяє однозначно ідентифікувати елемент даних. Додатково, щоб запобігти втраті інформації у випадках, коли приймання даних починається із запізненням і частина параметрів тривалий час може не змінюватися, системи зі змінною довжиною запису періодично виконують повну передачу всіх даних.

Основою запропонованого методу є двійкове кодування бортових даних. Оскільки бортові дані представляють собою числові цифрові значення, вони можуть подаватися як у двійковому форматі, так і у вигляді текстових ASCII-послідовностей. Хоча ASCII-подання є інтуїтивно зрозумілішим, саме двійкове представлення забезпечує значно вищу ефективність, оскільки зменшує кількість бітів, необхідних для передачі числової інформації, особливо коли йдеться про багатозначні значення. Застосування двійкового формату передбачає попереднє визначення правил перетворення цілих чисел у бітові комбінації.

На першому етапі визначається кількість бітів, що використовуватимуться для подання числових значень, а також максимально допустима кількість шестибітних «слів» для кожного елемента даних. Подібно до техніки, що використовується в AIS, у запропонованому методі застосовується шестибітне кодування, де результуючі значення передаються у вигляді ASCII-символів. Максимальна довжина бінарного поля встановлюється в межах від одного до п'яти шестибітних слів. На Рисунку 1 наведено приклади довжин таких полів та відповідні діапазони числових значень, які можуть бути представлені в межах кожного поля. Окрім границь діапазону, кожне поле може охоплювати лише додатні значення або містити як додатні, так і від'ємні числа, що відображається у відповідному ідентифікаторі діапазону. Наприклад, мінімальна довжина поля — одне шестибітне слово - дозволяє представляти значення у межах від 0 до 63 або від -32 до 31 залежно від типу діапазону. Натомість п'ять шестибітних слів охоплюють значно ширший діапазон - від 0 до 1 073 741 823 або від -536 870 912 до 536 870 911.

Якби всі дані передавалися у такому двійковому вигляді щоразу для кожного елемента, загальний обсяг переданої інформації залишався б сталим і не сприяв би зменшенню навантаження на канал зв'язку. Саме тому запропонований метод використовує диференційне двійкове кодування, у межах якого передаються лише ті параметри, що змінили свої значення з моменту останньої передачі. Такий підхід дозволяє значно скоротити обсяг інформації без втрати актуальності даних. Формат сформованого запису наведено на Рисунку 2. Як видно з рисунка, один запис включає шість шестибітних слів для передачі часової мітки (YYMMDD та HHMMSS), два слова — для зазначення кількості елементів, включених до поточного запису, по два слова на кожний елемент даних для його ідентифікації, а також набір бінарних слів змінної довжини, які містять власне значення відповідних параметрів.

Довжина бінарного поля	Діапазон значення даних	Діапазон значень ID
bbbbbb 6 біт	0-63 / -32-31	1/-1
bbbbbb bbbbbb 12 біт	0-4 095/-2 048-2 047	2/-2
bbbbbb bbbbbb bbbbbb 18 біт	0-262 143/-131 072-131 071	3/-3
bbbbbb bbbbbb bbbbbb bbbbbb 24 біт	0-16 777 215/-8 388 608-8 388 608-8 388 607	4/-4
bbbbbb bbbbbb bbbbbb bbbbbb bbbbbb 30 біт	0-1 073 741 823/-536 870 912-536 870 911	5/-5

Рисунок 1 — Довжина бінарних полів, що складаються з шестибітних слів, та відповідні

діапазони значень даних

bbbbbb	bbbbbb	bbbbbb		YYMMDD
bbbbbb	bbbbbb	bbbbbb		HHMMSS
bbbbbb	bbbbbb			Кількість позицій (від 0 до 4095):N
bbbbbb	bbbbbb			1-й пункт (0 до 4095)
bbbbbb	bbbbbb			2-й пункт (0 до 4095)
...				
bbbbbb	bbbbbb			Останній пункт (0 до 4095)
bbbbbb	bbbbbb	bbbbbb	...	Дані (слова змінної довжини)
...				...
bbbbbb	bbbbbb	bbbbbb	...	Дані (слова змінної довжини)

Рисунок 2 — Пропонований формат одного запису даних

Таким чином, запропонований підхід поєднує переваги двійкового кодування із принципом змінної довжини запису, що дозволяє уникати передавання незмінних параметрів і суттєво скорочувати загальний обсяг інформації. Рисунок 1 демонструє можливості адаптивного вибору довжини бінарних полів для представлення різних діапазонів значень, що забезпечує гнучкість та ефективність кодування. У свою чергу, Рисунок 2 ілюструє структуру сформованого запису, яка дає можливість передавати лише оновлені елементи даних із точним зазначенням їхніх ідентифікаторів і часових міток.

Результати дослідження. Дослідження проведено на реальних даних, зібраних протягом 22 діб. В експериментальному наборі даних кількість переданих записів сягала 7,5 млн рядків на добу, що при використанні стандарту NMEA-0183 відповідало обсягу близько 400 МБ/добу.

Основні результати:

1. застосування диференційного двійкового кодування з довжиною поля 6 біт дозволило передавати лише ті параметри, які змінювались у часі;
2. запропонований метод зменшив обсяг переданих даних у середньому до 3,4 % від початкового;
3. у порівнянні з іншими методами кодування досягнуто зростання ефективності стиснення до 69,6 %;
4. структура запису забезпечує надійну передачу завдяки використанню контрольної суми XOR;
5. отримані результати дозволяють суттєво знизити вимоги до пропускну здатності супутникових каналів та зменшити витрати на передачу даних.

Завдяки поєднанню диференційного кодування, адаптивної довжини бінарних полів та використання шестибітних слів у форматі ASCII-перетворення, метод забезпечує істотне зменшення навантаження на канали морського зв'язку. Це створює технічні передумови для ефективної роботи сучасних цифрових і автономних суден, де обсяг і частота передачі даних постійно зростають.

Висновки. Запропонований метод стиснення бортових даних є ефективним, простим у реалізації та придатним для інтеграції в системи зв'язку автономних і цифрових суден. Значне скорочення обсягу переданих даних сприяє сталому розвитку морських

комунікацій, оптимізації супутникових каналів та підвищенню ефективності віддаленого моніторингу рейсу. Метод може бути рекомендований для впровадження в сучасні системи підтримки рішень та у цифрові платформи управління суднами.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Maritime Organization (IMO) Autonomous Shipping. Available online: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx> (accessed on 12 June 2021)
2. Jiang, Y.; Zheng, Y.; Wang, J. A Novel random access algorithm for very high frequency data exchange (VDE). J. Mar. Sci. Eng. 2020, 8, 83.
3. Sanchez-Gonzalez, P.-L.; Díaz-Gutiérrez, D.; Leo, T.J.; Núñez-Rivas, L.R. Toward Digitalization of maritime transport? Sensors 2019, 19, 926.

МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Дощенко Г.Г., Наговський Д.А.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. У статті розглядаються аспекти моделювання та аналізу систем автоматичного управління судновими енергетичними установками (СЕУ). Основна увага приділена структурі та функціональним можливостям засобів автоматизації, що забезпечують управління, контроль та сигналізацію стану головного двигуна, дизель-генераторів і загальносуднових систем. Підкреслюється важливість моделювання як інструменту підвищення ефективності управління та зменшення ризику аварійних ситуацій, зокрема у перехідних режимах роботи.

Запропоновано використання моделі орієнтованої системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє знизити ймовірність помилок обслуговуючого персоналу та забезпечити підвищення надійності СЕУ. Розглянуто інтеграцію в систему управління блоків моделювання та підтримки рішень, які реалізуються за допомогою математичних моделей і методів нечіткого висновку. Описано методи моделювання надійності енергетичних установок шляхом структурного аналізу та розрахунку середнього часу безвідмовної роботи.

У статті також аналізується взаємозв'язок між енергетичним профілем судна, його призначенням і конфігурацією енергетичної установки. Результати моделювання використовуються для розробки модульного рівня керування, що дозволяє адаптувати систему автоматизації до змін профілю навантаження. Запропонований підхід сприяє підвищенню ефективності та стабільності функціонування суднових електростанцій, а також слугує основою для подальших удосконалень в галузі автоматизованого управління морськими енергетичними системами.

Виклад основного матеріалу. Устаткування автоматизації, що встановлюється на судах, забезпечує виконання широкого кола завдань управління, контролю та сигналізації, пов'язаних з процесами руху судна та функціонуванням всіх суднових технічних засобів (СТЗ). Моделювання таких систем дозволяє закріпити навичку вирішення критичних ситуацій, які можуть виникати при несподіваних поломках основних компонентів судна.

Автоматичне керування головного двигуна зазвичай складається з: комплексу датчиків та виконавчих механізмів, встановлених безпосередньо на головному двигуні (ГД); блоків управління двигунами та пристроєм контролю двигуна; системи дистанційного керування та контролю.

Спільна робота зазначеного набору засобів забезпечує виконання основних функцій з управління, контролю та захисту ГД:

- підготовка пуску ГД;
- пуск та зупинка ГД;
- вимірювання та відображення контрольних параметрів;
- аварійно-попереджувальна сигналізація; захист ГД у всіх режимах роботи, як за допомогою автоматичної аварійної зупинки ГД, так і за допомогою необхідних засобів блокування.

Система дистанційного керування та контролю ГД забезпечує передачу всієї необхідної інформації у реєстр рейсу. Система забезпечує вирішення завдань дистанційного управління та контролю, технічних засобів, які встановлюються на судах, а також завдань аварійно-попереджувальної сигналізації у необхідному обсязі.

Набір засобів забезпечує виконання основних функцій управління та моніторингу електроенергетичної станції: управління та контроль роботи дизель-генератора (ДГ) у

дистанційному та місцевому режимі; автоматична зупинка ДГ за сигналом «Аварія»; управління та контроль мережі змінного струму; управління та контроль мережі постійного струму.

Крім автоматизації ГЕУ (головних енергетичних установок) з обслуговуючими її системами та ЕЕС (електроенергетичних станцій) обладнання, забезпечує управління та контроль великої кількості загальносуднових систем та пристроїв.

Використання різних засобів контролю відіграє важливу роль у забезпеченні безпечної експлуатації судна. Вони дозволяють запобігти накопичення відмов у комплексі та його складових частинах. Це зменшує ймовірність порушення основних функцій комплексу.

Усі технічні засоби контролю, що входять до комплексу, забезпечують виконання функцій, утворюючи свого роду субкомплекс, ієрархію та структуру, які тісно пов'язані зі структурою комплексу загалом.

У субкомплексі забезпечуються всі необхідні види відображення та подання контрольованої інформації, а саме: індикація контрольованих параметрів та сигналізація про нормальну та робочу стані обладнання; попереджувальна сигналізація — сигналізація про вихід параметрів за межі робочого діапазону та про ненормальний стан обладнання; аварійна сигналізація — сигналізація про вихід контрольованих параметрів за допустимі межі та про аварійне і неприпустимий стан обладнання.

При моделюванні використовуються різні методи та рішення, що дозволяють забезпечити системі необхідну ефективність. Одним із таких методів є модель орієнтованої системи підтримки прийняття рішень для зниження частоти аварій у перехідних та динамічних режимах роботи.

У роботі запропоновано спосіб підвищення ефективності суднової енергетичної установки, що досягається завдяки зниженню аварій при перехідних режимах. Метод заснований на зменшенні кількості помилок обслуговуючого персоналу за рахунок використання моделі орієнтованої системи підтримки прийняття рішень. Для реалізації запропонованого методу покращують структуру системи автоматичного керування суднової енергетичної установки. Таке удосконалення системи управління передбачає інтеграцію до неї структуру блоку моделювання та блоку підтримки прийняття рішень.

Математична модель, яка відповідає описаному у статті методу підвищення продуктивності суднової енергетичної установки (СЕУ) шляхом зниження аварійності у перехідних режимах, складається з трьох основних компонентів, і це:

- Блок моделювання (ВМ);
- Блок підтримки прийняття рішень (СППР);
- Об'єкт керування — суднова енергетична установка (СЕУ).

Перехідний режим описується системою нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t), d(t)), x(0) = x_0$$

де $x(t) \in \mathbb{R}^n$ — вектор станів СЕУ (наприклад: частота, напруга, тиск, температура тощо),

$u(t) \in \mathbb{R}^m$ — вектор керуючих впливів (звід користувача або автоматики),

$d(t) \in \mathbb{R}^p$ — вектор збурень (зовнішні та внутрішні фактори),

$f()$ — нелінійна функція, що описує динаміку СЕУ.

Блок моделювання дозволяє прогнозувати значення контрольованих параметрів при перехідному режимі роботи до того, як вони фактично з'являться в системі внаслідок дій оператора. Для цього блоку будується математична модель системи автоматичного керування при перехідних режимах роботи. Для реалізації блоку підтримки прийняття рішень розробляється метод формалізації завдання управління електростанцією при

перехідних режимах роботи Метод, по суті, полягає у моделюванні перехідного режиму роботи з наступною оцінкою результатів на основі нормативних вимог та емпіричного критерію оцінки якості при паралельній роботі дизель-генераторів. Крім того, для блоку підтримки прийняття рішень використовується метод зниження аварійності та підвищення продуктивності за допомогою математичного апарату нечіткого висновку, логіки та множин. Для використання методу проводять дослідження перехідних режимів роботи, що виникають внаслідок помилкових дій операторів під час рейсів. В результаті використання запропонованої системи продуктивність електростанції підвищується [1].

Моделюванню також піддається надійність суднової електростанції. Завдяки прогнозуванню, заснованому на методі підрахунку, виявляються слабкі ланки системи автоматичного керування. При даному методі уявлення надійності морської електростанції відбувається структурування за допомогою блок-схем та математичної моделі, де отримують середній час напрацювання на відмову морської електростанції при різних умовах роботи. Моделювання надійності суднової електростанції, отримане за різних умов роботи, відповідає фактичному режиму роботи [2].

При проектуванні модельної системи управління судовими ЕЕС необхідно зібрати інформацію: аналізуються енергетичні профілі, компонування силових установок та системи управління суден. Потім енергетичні профілі поділяються на два компоненти — потреба в силовій та допоміжній енергії, де можна виявити взаємозв'язок між енергетичним профілем судна та його призначенням, а також запропонувати алгоритм, який обчислює енергетичний профіль з урахуванням даних про призначення судна. Крім того, також потрібно дослідити взаємозв'язок між профілем потужності та компонуванням енергетичної установки з акцентом на те, як зміни в профілі потужності призводять до модифікацій енергетичної автоматизації установки. Потім вже розробляється додатковий модульний рівень керування для виконання необхідних параметрів автоматизації електростанції шляхом поєднання стратегії еквівалентної мінімізації споживання з автоматичним перемиканням [3].

Запропонована математична модель дає змогу реалізувати попереджувальне керування СЕУ у перехідних режимах з урахуванням можливих помилок персоналу, забезпечити підвищення продуктивності та надійності установки за рахунок застосування нечітких алгоритмів прийняття рішень і прогнозних математичних моделей.

Результати моделювання використовуються для демонстрації ефективності передбачуваних можливих інновацій в системі управління. Розглядається стабільність компонентів електростанції після внесення зміни в системі автоматизації. Основним вкладом моделювання є новий підхід до системи управління електростанцією на вторинному рівні, що забезпечує модульність в рамках передбачуваної фіксованої компоновки електростанції. Крім того, запропонований алгоритм можна використовувати для визначення очікуваного профілю потужності для нової задачі і для виявлення необхідних змін в обладнанні електростанції [4].

Висновки. Розроблені підходи до моделювання систем автоматичного управління судовими енергетичними установками мають чітке прикладне спрямування та можуть бути впроваджені у навчальні тренажери, системи технічної підготовки персоналу, а також на реальних судових автоматизованих комплексах.

Моделювання систем автоматичного управління судовими електростанціями дозволяє підготувати персонал судна до різних ситуацій. Також дозволяє знайти «слабкі місця» системи, де можна буде спрогнозувати подальші помилки і усунути їх виникнення, якщо підібрати оптимальне рішення. Подібне моделювання адаптується до широкого спектру типів суден та їх функціям. Удосконалена система після впровадження компонентів моделювання може задовольнити потреби та вимоги в області автоматизації. Проектування моделей систем інформації про енергоспоживання забезпечує продуктивність систем обладнання, які дозволяють операторам налаштовувати роботу

установки найбільш енергоефективним способом.

Результати моделювання надійності суднової електростанції можуть бути використані для оптимізації графіків технічного обслуговування, виявлення критичних компонентів та планування модернізації суднового обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Improving the Ship's Power Plant Automatic Control System by Using a Model-Oriented Decision Support System in Order To Reduce Accident Rate Under the Transitional and Dynamic Modes of Operation / I. Voytetsky, T. Voytetskaya, L. Vyshnevskyi, I. Kozyryev, O. Maksymova, M. Maksymov, V. Kryvda // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. — 2021. — № 3(2 (111)) — С. 57–66
2. Papalambrou, G., Samokhin, S., Topaloglou, S., Planakis, N., Kyrtatos, N., Zenger, K. (2017). Model predictive control for hybrid diesel-electric marine propulsion. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1), 11064–11069. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2488>.
3. Шалапко Д.О. Перспективні способи підвищення ефективності експлуатації суднових енергетичних установок: навчальний посібник / Д. О. Шалапко, М. А. Пирисунько, А. А. Андрєєв. — Миколаїв: Іліон, 2023. — 298 с.
4. Sujesh, G., Ramesh, S. (2018). Modeling and control of diesel engines: A systematic review. *Alexandria Engineering Journal*, 57 (4), 4033–4048. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.02.011>.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА СУДНІ

Зайцева Т.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. У сучасних умовах розвитку морського транспорту виникає потреба в оптимізації технічних процесів, пов'язаних із діагностикою, ремонтом і моніторингом судових систем. Одним із ефективних інструментів для вирішення таких завдань є математичне програмування, яке дозволяє знаходити оптимальні рішення при обмежених ресурсах, часі та технічних можливостях.

Практичне застосування цих методів у навчальному процесі реалізується за допомогою програмного середовища Microsoft Excel, зокрема через використання надбудови *Solver* (Пошук розв'язку), що дає змогу моделювати та знаходити оптимальні рішення для технічних і логістичних завдань у судноплаванні.

Актуальність дослідження. Класичні задачі оптимізації, зокрема транспортні задачі, вже тривалий час перебувають у центрі уваги багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців [1-3]. У більшості досліджень ці задачі розглядаються з позиції пошуку найбільш економного способу перевезення вантажів від пунктів відправлення до пунктів призначення з метою мінімізації загальних витрат на транспортування або вирішення пов'язаних із цим економічних питань.

Однак сучасні умови функціонування морської галузі потребують адаптації класичних оптимізаційних моделей до специфічних технічних і організаційних завдань, що виникають на судах. Саме тому у нашому дослідженні методи розв'язання транспортних задач спроектовано на потреби морського транспорту, зокрема — для оптимізації вирішення повсякденних виробничих питань, з якими стикаються електромеханіки суден. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів, зменшити експлуатаційні витрати та сприяти цифровізації процесів технічного обслуговування флоту.

Мета дослідження. Показати застосування методів математичного програмування для побудови оптимізаційних моделей, що дозволяють мінімізувати витрати часу і ресурсів під час технічного обслуговування судових систем.

Основна частина. Математичне програмування (планування) — це розділ математики, що займається розробкою методів відшукування екстремальних значень функції, на аргументи якої накладені обмеження. Методи математичного програмування використовують для розв'язування розподільних задач. Розподільні задачі виникають у випадку, коли наявні ресурси обмежені, і необхідно найкраще розподілити ресурси з метою отримання максимального прибутку або мінімізації витрат (відповідно до обраного критерію оптимальності).

Використання методів математичного програмування передус, мабуть, найважливіший етап — побудова математичної моделі, адекватної фізичному змісту завдання. Очевидно, базовими у цьому сенсі є завдання лінійного програмування (з одноіндексними змінними) та традиційні транспортні задачі (з двоіндексними змінними), на основі яких будуються моделі завдань цілісного, цільового, динамічного, детермінованого, стохастичного програмування.

Головна мета при проведенні навчальних занять — показати, як за фізичним змістом задачі правильно побудувати адекватну математичну модель та за цією моделлю отримати оптимальне рішення, використовуючи вбудований модуль електронних таблиць Excel Solver (Пошук розв'язку).

Лінійне програмування є найпростішим і найкраще вивченим розділом математичного програмування. Характерні риси завдань лінійного програмування

наступні:

1. показник оптимальності $L(X)$ є лінійною функцією від елементів розв'язування (формула 1);

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

2. обмежувальні умови, що накладаються на можливі розв'язки, мають вигляд лінійних рівнянь чи нерівностей.

3. Цільова функція (формула 2)

$$f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \max (\min()) \quad (2)$$

4. Обмеження, які застосовуються до моделі (формула 3):

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq (\geq, =) b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq (\geq, =) b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq (\geq, =) b_m \\ x_1, x_2, \dots, x_k \geq 0 (k \leq n). \end{cases} \quad (3)$$

5. Допустимий розв'язок - це сукупність чисел (план) $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, що задовольняють обмеженням завдання.

6. Оптимальне рішення — це план, у якому цільова функція приймає своє максимальне (мінімальне) значення.

Далі наведемо приклад побудови математичної моделі за фізичним змістом завдання. Розглянемо задачі пошуку несправностей електроніки та датчиків на судні, як задачі оптимізації ресурсів/траєкторії.

Постановка задачі. Необхідно представити судно як сітку локацій, кожна локація відповідає технічному елементу судна (двигун, паливна система, генератор, насосна станція тощо). Несправності — як точки призначення, переміщення між локаціями — це витрати часу або ресурсів. Треба побудувати оптимальний маршрут/план заміни з обмеженим часом або обмеженими ресурсами.

За моделлю оптимізаційних задач, використовуючи надбудову MS Excel Solver, треба задати мету (мінімізувати сумарні витрати на пошук), змінні комірки (послідовність обходу локацій) та обмеження (переміщення між сусідніми точками) для отримання оптимального маршруту.

При розв'язуванні таких задач під час вивчення освітньої компоненти «Інформаційні технології за професійним спрямуванням» курсанти будують інформаційну модель з наступних етапів:

1. **Структурування даних:**

- *Створюється матриця локацій.* Мета цього етапу — представити план судна з усіма можливими локаціями для перевірки (наприклад, каюти, коридори, палуби, машинне відділення). Для цього курсантам дозволяється використовувати зовнішні програмні додатки, які дозволяють за допомогою схематичного зображення електричних та електронних елементів швидко та якісно зображати судові електричні схеми.
- *Визначаються «несправні» точки.* На плані судна позначаються локації, де було виявлено проблему (наприклад, певні групи датчиків чи електричних кіл).
- *Встановлюється «вартість» переміщення.* Для кожної пари сусідніх локацій визначається вартість переміщення між ними (наприклад, час на проходження до наступної точки, витрати на переміщення, амортизація обладнання).

2. **Підготовка моделі для застосування інструменту «Пошуку розв'язку».**

Згідно моделі оптимізаційних задач, курсанти визначають цільову функцію, обмеження, що накладаються на змінні, визначають збалансована чи ні задача з конкретними даними:

- *Змінні комірки:* визначаються, які комірки будуть представляти послідовність

обходу локацій. За допомогою допоміжних змінних вказуються чи відвідувалась певна локація, або яка наступна локація є в маршруті.

- **Цільова функція:** визначається формула, яка буде розраховувати сумарні витрати на обхід усіх необхідних точок (це сума вартостей переміщень між локаціями в залежності від вибраних змінних).
- **Обмеження.** Вони можуть стосуватися як переміщення, наприклад, переміщення можливе тільки між сусідніми локаціями; умовою - відвідування всіх точок, тобто розв'язок задачі повинен забезпечити, щоб усі необхідні точки (локації, та де є несправності) були відвідані, або типом переміщення (встановлюється обмеження на максимальну довжину маршруту або час обходу).

3. **Використання «Пошуку розв'язку» (Solver).** На момент розгляду цієї задачі курсанти вже мають навички розв'язування транспортних задач, вони знайомі як з понятійним апаратом математичного програмування, так і з роботою надбудови «Пошук розв'язку» в MS Excel. Тепер перед ними стоїть завдання – застосувати сформовані цифрові компетенції до змістовних професійно-спрямованих задач.

Приклади задач, які пропонуються курсантам:

Задача 1. На судні є 3 склади електрообладнання (A, B, C) з запасами X, Y, Z. Є 4 зони, де потрібно виконати заміну або перевірку, з певним попитом (кількість одиниць або часу). Треба розрахувати вартість переміщення/роботи між складами і зонами, при цьому можуть накладатися різні обмеження (рис.1):

- час простою потрібно звести до мінімуму;
- чергування по зонах на судні — курсанту треба пройти всі точки перевірки / ремонту, мінімізувавши час або відстань;
- асиметричний варіант (наприклад, рух між зонами зі сходами/допустимими проходами має різний час в обидві сторони.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Store/Zone	Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	Supply S_i		Supply S_j
2	Store A	3	5	4	6	10		=SUM(F2:F4)
3	Store B	2	6	3	5	8		
4	Store C	4	3	5	2	12		
5	Demand d_j	6	7	8	9		=SUM(F2:F4)	
6								
7	Store/Zone	Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	Supply S_i		Remaining supply
8	Store A	0	4	6	0		=SUM(B8:E8)	
9	Store B	6	0	2	0		=SUM(B9:E9)	
10	Store C	0	3	0	9		=SUM(B10:E10)	
11	Demand d_j	=SUM(B8:B10)	=SUM(C8:C10)	=SUM(D8:D10)	=SUM(E8:E10)			

Рисунок 1 — Аркуш Excel з розв'язанням задачі

Задача 2. Розглянемо 6 зон: капітанський місток, машинне відділення, рубка, каюти, стік води, електрощитова. Відомі часи переходу між ними. Початкова точка — щитова. Завдання: перевірити всі зони і повернутись до щитової, мінімізувавши загальний час.

При розв'язуванні задачі курсанти можуть перевірити роботу різних варіантів: так званого «жадібного» алгоритму (nearest neighbor) та знаходження точного рішення.

Після побудови базової моделі курсанти можуть змінювати параметри: додавати нові локації, варіювати час перевірки або вводити додаткові умови (наприклад, пріоритетність огляду певних систем). Це дає можливість проводити моделювання різних сценаріїв і навчати курсантів ухваленню рішень на основі даних. Тому що Excel — це тільки інструмент, який допомагає майбутньому спеціалісту прийняти правильне адекватне рішення.

Висновки. Методи математичного програмування забезпечують ефективне планування технічних процесів на судні та створюють підґрунтя для прийняття оптимальних рішень у складних виробничих ситуаціях. Використання оптимізаційних моделей дозволяє значно зменшити витрати часу та ресурсів під час технічного обслуговування судових систем, підвищити точність планування та раціональність використання матеріалів і персоналу. Надбудова Excel Solver є зручним і доступним інструментом для реалізації таких моделей у навчальному процесі, що робить її корисною не лише для розв’язування практичних завдань, а й для формування у курсантів аналітичного мислення та навичок моделювання. Розроблені алгоритми можуть бути адаптовані для транспортних, ремонтних і логістичних задач, що розширює можливості їх практичного застосування. Таким чином, упровадження оптимізаційних моделей у навчання та практику сприяє підвищенню ефективності технічної експлуатації суден і якості професійної підготовки фахівців морської галузі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Elias, D., Nadler, B., Nadler, F. and Hauger, G. (2016). Optihubs — Multimodal Hub Process Optimization by Means of Microsimulation. *Transportation Research Procedia*. 14. 457–466. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.098>.
2. Щербина, Р. С. (2015). Методологічний аспект основних елементів змішаних перевезень експортних вантажів. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія: Транспортні системи та технології*. 26–27. 242–249.
3. Гончаров, А.В., Могілей, С.О. (2020). Реалізація мультимодальних транспортних задач в різних програмних середовищах. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 3. 67–74. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.3.2020.215516>

ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ВРЯДУВАННЯ У ВИМІРІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ

Захарченко О.В.¹, Крамський С.О.²

¹*Східноєвропейський університет імені Рауфа Аблязова
(Україна)*

²*Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
(Україна)*

Вступ. Повномасштабна військова агресія росії проти України створила безпрецедентні виклики для сталого розвитку в морській галузі. На теперішній час перманентне руйнування інфраструктури, особливо в морській сфері, несе небезпеку торговельному судноплавству України. До тепер внутрішнє переміщення населення внутрішнє (ВПО) і зовнішнє (моряки) та економічні втрати вимагають інноваційних підходів у кризовому управлінні державних підприємств, установ, організацій.

В сучасних умовах сталий інноваційний розвиток для місцевих органів влади означає здатність реагувати на потреби сьогодення, без ризику зіпсувати потреби майбутніх поколінь, при цьому постійно підвищуючи якість життя мешканців міст і регіонів, об'єднаних громад територій України.

Для досягнення результату місцева влада має перейти до інноваційного електронного врядування, що передбачає формування сприятливого середовища для генерування та впровадження нових ідей, а також налагодження ефективної інформаційно-комунікаційної системи [1]. Ця система реалізується через модель «потрійної спіралі», що об'єднує зусилля муніципалітету, бізнесу та установ освіти і науки. Національний застосунок «Дія» є світовим прикладом інтеграції дистанційних державних послуг громадянам (морякам) під час військового стану.

В Україні яскравим прикладом технологічної інновації Е-урядування, яка трансформувала публічні послуги, є національна система «Дія», «Резерв+», «Оберіг», Е-черга, Е-ліки, Е-підтримка, Е-житло та інші Е-сервіси, які суттєво підвищили прозорість та доступність громадянам центрів надання адміністративних послуг. Ключовим рушієм цього процесу є інновації електронного врядування сервісу для моряків - від технологічних рішень до управлінських та соціальних змін є ДП «Моррічсервіс» [2].

Найбільш потужний інноваційний зсув відбувся у сфері програмного забезпечення та управління даними. Отже, успішна реалізація сталого інноваційного розвитку вимагає від публічних управлінців стратегічного лідерства та постійної інституційної трансформації. Концепція «Розумних міст» (Smart City) використовує Інтернет речей (IoT), Big Data та штучний інтелект для оптимізації функціонування електронних систем урядування. Роботизація та IoT. Хоча повномасштабна роботизація залишається дорогою, точкові впровадження стали помітними. Деякі великі гравці E-commerce почали тестове використання роботів-пікерів (AGV — Automated Guided Vehicles) на своїх фулфілмент-центрах. Більш масовою інновацією стало використання IoT (Інтернету речей).

Електронний документообіг (e-TTN). Перехід на електронні товарно-транспортні накладні (e-TTN) став необхідністю. Це не лише економило папір, але й прибиравало ризик втрати документів під час перевезення та значно прискорювало розрахунки між вантажовідправником, перевізником та отримувачем вантажів.

Тотальна цифровізація: Е-сервіси в «хмарі» та смартфоні. У 2023–2025 роках відбулося активне тестування та впровадження цієї системи на національному рівні, а також цифровізація митних декларацій, що дещо скоротило час оформлення на західних кордонах [3]. Агресивна війна в Україні прискорила цифрову трансформацію, яку бізнес лобіював роками перед органами влади.

Сучасні технології наприклад до морського обігу вантажів, особливо цінні або температурно-чутливі (фармацевтика, продукти харчування), почали оснащувати

датчиками, що в реальному часі передають не лише геолокацію, але й температуру, вологість та рівень вібрації. Необхідно інвестувати в аналітичні інструменти (Big Data, BI) та фахівців, які зможуть ці дані інтерпретувати. Ці системи в режимі реального часу аналізують десятки входних змінних і можуть динамічно перепланувати маршрут капітана судна вже в рейсі, надсилаючи оновлення на планшет чи смартфон власнику.

Досягнення у сфері Smart урядування та економічної кластеризації Україна продемонструвала вражаючі успіхи у сфері сучасного електронного врядування.

На місцевому рівні інновації стимулюють економічний розвиток: Львівський ІТ-кластер став зразком успішної «потрійної спіралі», де співпраця влади, бізнесу та університетів забезпечила привабливість міста для високотехнологічних інвестицій під час військового стану в Україні. Соціальні інновації, такі як «громадський бюджет», підвищили рівень партисипативності (участі громадян) та прозорості місцевого управління [4].

На теперішній час процеси глобалізації тісно переплітаються із локалізацією, змушуючи Україну звертати більше уваги на економічний сталий розвиток своїх підконтрольних територій. Глобалізація відкриває нові горизонти для бізнесу, збільшує потужності морських державних підприємств і їхню стійкість, ефективність.

Глобальні виклики в умовах військового стану та інноваційне турбулентне управління, може функціонувати за таких умов:

1) Принцип «Build Back Better»: став базисним для відновлення, вимагаючи впровадження енергоефективних, безбарсрних та стійких до кліматичних змін технологій при відбудові.

2) Адаптація та життестійкість: приймаючі громади (наприклад, центральних, західних регіонів країни) демонструють інноваційну здатність до швидкої адаптації, використовуючи механізми державно-приватного партнерства та міжнародної допомоги для швидкого забезпечення житлом та соціальними послугами ВПО. Державно-приватне партнерство у розбудові кордону. Пропускна здатність західних кордонів залишається «пляшковим горлом». Держава самостійно не зможе швидко модернізувати всі пункти пропуску.

3) Управління даними (Data Governance) для прийняття обґрунтованих рішень владними органами. Залучення грантового фінансування та ведення міжнародного партнерства в сфері морської індустрії [5]. В Україні, завдяки реформі децентралізації, створено інституційну основу для сталого розвитку, що підтверджується успіхами у сфері електронного врядування та економічної кластеризації.

Рекомендації для держави у повосенний період. Такі системні органи влади відповідних галузей економіки повинні залучати найкращі об'єми інвестицій завдяки створенню інноваційних хабів, морських портів і підприємств високої доданої вартості, з розвитку експортноорієнтованого виробництва, впровадженню професійного менеджменту, модернізації транспортної інфраструктури країни. Стимулювання інвестицій приватного капіталу (особливо іноземний) не буде масово інвестувати в капітальну інфраструктуру (склади, термінали, порти) без покриття воєнних ризиків.

Державі необхідно активно впроваджувати механізми страхування таких інвестицій, у тому числі через співпрацю з міжнародними агенціями (наприклад, MIGA, DFC) та створення спеціалізованих державних фондів.

Повна діджиталізація дозвільних процедур. Необхідно завершити розпочаті реформи: забезпечити 100% перехід на e-TTN, повністю діджиталізувати та автоматизувати митні та фітосанітарні процедури, інтегрувавши українські системи з Європейськими (NCTS). [6]. Необхідно активно залучати приватний бізнес на умовах ДПП до будівництва нових та модернізації існуючих пунктів пропуску, а також до розбудови сервісів прилеглої інфраструктури «сухих портів».

Впровадження технологій штучного інтелекту, «цифрові двійники» та предиктивна

аналітика. Якщо у 2022–2024 роках діджиталізація вирішувала поточні завдання (маршрутизація, облік), то у 2025–2026 роках почнеться перехід до предиктивних технологій. Штучний інтелект (AI) буде використовуватися для сервісів з прогнозування попиту, предиктивного обслуговування транспорту (прогнозування поломок) та оптимізації складських запасів підприємств [7].

Великі гравці почнуть впроваджувати технологію «цифрових двійників» (Digital Twins). Це дозволить створювати повні віртуальні копії своїх ланцюгів постачання та «програвати» на них кризові сценарії (наприклад, «Що станеться, якщо цей міст буде зруйновано?» або «Який маршрут буде оптимальним при 3-годинній затримці на кордоні?»), знаходячи рішення до виникнення проблеми в Е-сервісах. Впровадження прогностичних моделей (подібних до S-VRP-RA) має стати стандартом для середнього та великого бізнесу для прийняття рішень щодо роботи. Нова реальність 2024–2025: Е-диверсифікація та «розумна» стійкість [8].

Висновки. Морська галузь була змушена впроваджувати сучасні технології не заради довгострокової конкурентної переваги, а для вирішення негайних проблем безпеки, дефіциту ресурсів та зруйнованих економічних ланцюгів. Вони формують нову, значно більш гнучку, технологічну та інтегровану в Європейський простір цифрову Е-систему сервісів для громадян і бізнесу.

Проте, виклики, пов'язані з війною та післявоєнним відновленням, вимагають від публічних адміністраторів ЦНАПів, морських сервісів кризової життєстійкості, адаптивності. Саме Е-система стане одним із ключових драйверів післявоєнного відновлення та сталого економічного зростання України. Вона ставатиме відповідальною за належний сервіс, економічний потенціал, добробут мешканців і довгострокове планування своєї діяльності. Мінімізація людського фактору — це прямий шлях до прискорення Е-сервісів та шлях подолання корупції в державі під час військового стану.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hutsaliuk, O.M. Technological synergy of engineering integrating in digitalization economy, nanotechnology and intelligent digital marketing for corporate enterprises in provisions of their economic security. *Nanotechnology Perceptions*. 20 No. S8. 2024. 348–366.
2. Manita O.V. Analysis of organizational and economic approaches to management and chartering parameters in conditions of uncertainty of vessel work. *Grail of science*. № 44. 2024. С. 181–191.
3. Захарченко О.В. Аналіз сталого розвитку громад і територій в турбулентних умовах: глобальний та національний досвід. *Грааль науки*. № 58. 2025. С. 389–400.
4. Дарушин О.В. Еволюція електронного урядування сталого розвитку послуг у вимірі турбулентності. *Київський науковий вісник*. Гельветика. № 9. 2025. С. 143–148.
5. Мамонтенко Н.С. Міжнародна економіка та імплементація інформаційно-комунікаційної логістики у вимірі мультимодальних перевезень в турбулентних умовах. *Грааль науки*. № 52. 2025. С. 328–340.
6. Yevdokimova O.M. Management processes of infrastructure projects and programs in the sphere of water transport during turbulence in Ukraine. *Buisness-Navigator*. 1(78). 2025. С. 274–278.
7. Дарушин О.В. Сталий інноваційний розвиток морських портів у вимірі безпекових загроз і турбулентності. «*Грааль науки*». № 57. 2025. С. 281–293.
8. Комлева Т.М. Економічний вимір процесів управління інфраструктурою водного транспорту в умовах турбулентності в Україні. «*Сталий розвиток економіки*». 1(52) 2025. С. 180–187.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ СЕЛЕКЦІЇ НАВІГАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ У СУДНОВОМУ РАДІОЛОКАЦІЙНОМУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОМУ КОМПЛЕКСІ

Корбан Д.В.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. До теперішнього часу в суднових радіолокаційних комплексах (СРК) не вирішена задача забезпечення видимості луна-сигналів навігаційних об'єктів, які знаходяться у зоні атмосферних утворень на судновому індикаторі або дисплеї комп'ютера, що не дає змогу забезпечити, за допомогою СРК, безпеку судноводіння у складних умовах атмосферного середовища [1, 2]. Розроблений експериментальний макет суднового радіолокаційного поляризаційного комплексу (СРПК) дозволяє вирішити задачу поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, які знаходяться у зоні небезпечних атмосферних утворень. Однак, для вирішення поставленої задачі необхідні природні випробування СРПК шляхом порівняльного оцінювання отриманої радіолокаційної інформації з радіолокаційною інформацією отриманою мережевим автоматизованим метеорологічним радіолокаційним комплексом (АМРК), який має нормовані метеорологічні характеристики.

Актуальність досліджень. Проведення порівняльного оцінювання розробленої радіолокаційної методології, радіолокаційних методів, технології та способів підвищення ефективності функціонування суднових РЛК з подальшим використанням поляризаційних характеристик електромагнітної хвилі у СРПК, при вирішенні задачі поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, які знаходяться у складних умовах атмосферного середовища, спрямовано на поліпшення пріоритетності основних функцій СРПК — безпеки судноплавства і є актуальною задачею суднової радіолокації.

Постановка задачі. Використання методів поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, які знаходяться в зоні небезпечних атмосферних утворень, у розробленому експериментальному макеті СРПК під час отримання їм радіолокаційної інформації щодо складного об'єкту, визвало необхідність проведення порівняльного аналізу радіолокаційної інформації про складний об'єкт судновим радіолокаційним поляризаційним комплексом та мережевим автоматизованим метеорологічним радіолокаційним комплексом, який має нормовані метеорологічні характеристики.

Результати досліджень. Проведені сумісні експериментальні випробування радіолокаційних характеристик складного об'єкту (навігаційний об'єкт і атмосферне утворення) на АМРК «МЕТЕОКОМПРКА» (рис.1) та експериментальному СРПК (рис.2).



Рисунок 1 — Індикатори АМРК «МЕТЕОКОМПРКА»

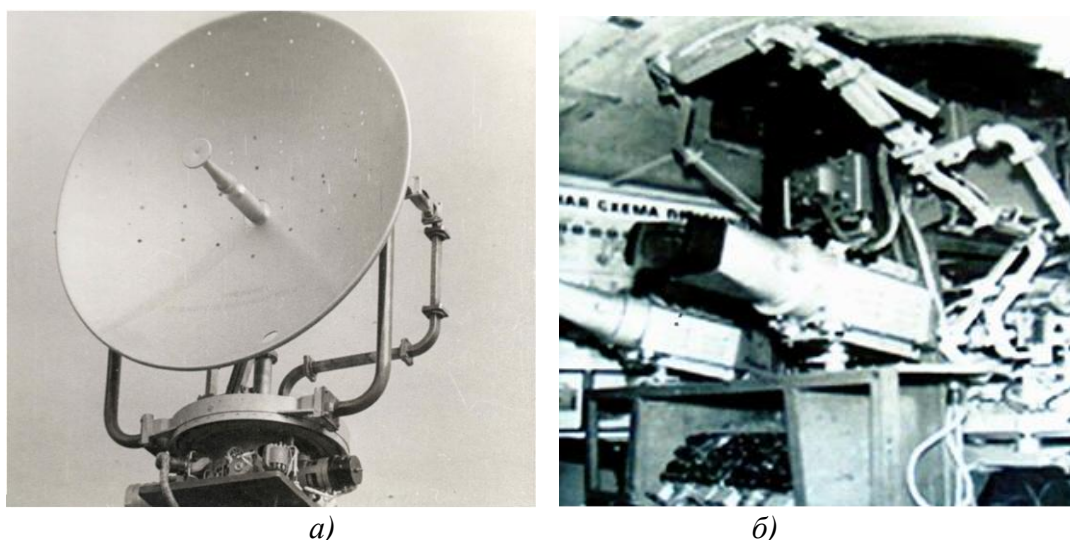


Рисунок 2 — Експериментальний СРПК:

а — всеполяризована антена; *б* — індикатори та пульт керування.

Радіолокаційними характеристиками як навігаційних об'єктів, так і атмосферних утворень є дійсні енергетичні поляризаційні елементи матриці Мюллера, що володіють високою інформативною ознакою під час розв'язання задачі радіолокаційного виявлення та спостереження навігаційних об'єктів за трасою руху судна. При цьому використовується розсіювальний сигнал складних об'єктів, а їх радіолокаційними характеристиками є поляризаційні параметри луна- сигналів електромагнітної хвилі. Використана у СРПК всеполяризована антена (рис.2*а*) надала змогу розробити методи та пристрої поляризаційного аналізу луна-сигналів частково поляризованої хвилі, яка надходить на вхід всеполяризованої антени. Як СРПК, так і АМРК використовують довжину хвилі $\lambda = 3,2$ см, тобто ту на якій працюють судові радіолокаційні комплекси.

Радіолокаційна інформація для атмосферного утворення на індикаторах АМРК і СРПК була отримана у вигляді кольорових карт (рис.3), а для атмосферного утворення і навігаційного об'єкта на індикаторі СРПК вже з рішенням задачі поляризаційної селекції (рис.4)

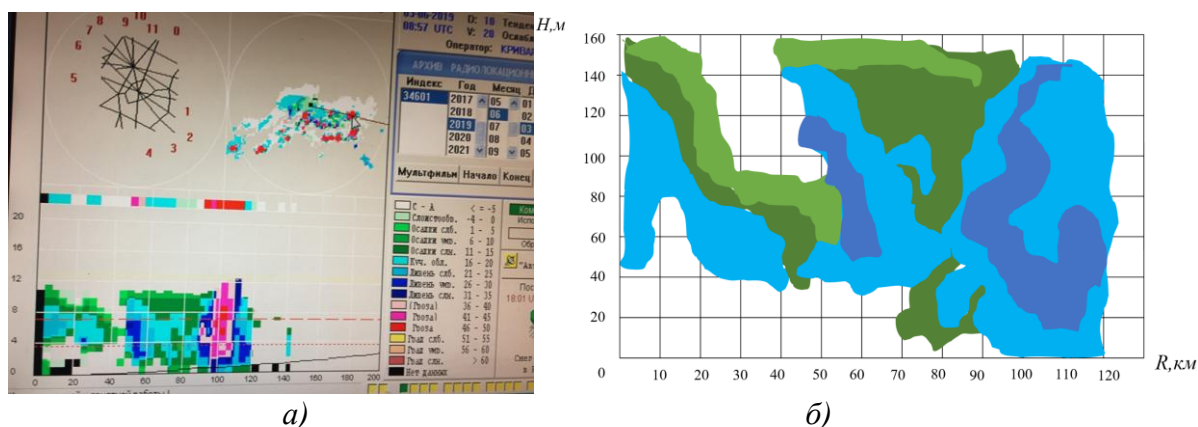


Рисунок 3 — Результати радіолокаційного спостереження атмосферних утворень, представлених на дисплеї АМРК «МЕТЕОКОМІРКА» (*а*) і на дисплеї СРПК (*б*)

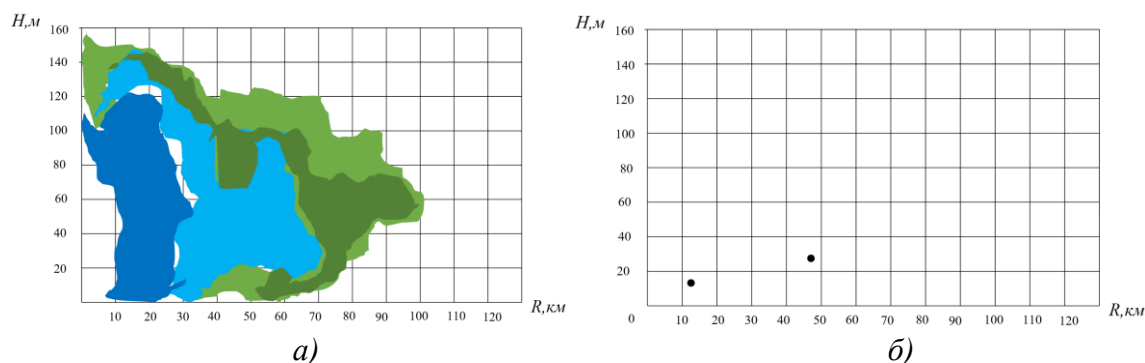


Рисунок 4 — Результати експериментального виявлення на дисплеї СРПК навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів (а), виділені навігаційні об'єкти з складного об'єкта (б)

Висновки.

1. У результаті порівняльного аналізу встановлено, що СРПК вимірює такі ж радіолокаційні характеристики луна-сигналу частково поляризованої хвилі складного об'єкту, що і АМРК.
2. Виділення з луна-сигналу складного об'єкта луна-сигнал навігаційного об'єкта успішно проведено експериментальним СРПК.
3. Проведений порівняльний експериментальний аналіз радіолокаційної інформації, який отримано мережевим АМРК і СРПК підтвердив високу ефективність функціонування експериментального СРПК під час розв'язання задачі поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, які перебувають у зоні випадних опадів певної інтенсивності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Спосіб підвищення ефективності виявлення та супроводження надводних об'єктів судновою навігаційною радіолокаційною станцією на тлі атмосферних утворень різного типу та ступеня інтенсивності: Пат. 151471 Україна: МПК: G01S13/00 G01S13/66 № a2020 07148; заявл. 09.11.2020; опубл. 03.08.2022, Бюл. №31.
2. Трофименко І. В. Визначення перспективних напрямків розвитку навігаційного забезпечення судноводіння з використанням радіолокаційних систем // Новітні технології, 2017. №. 2. С. 29–42.

AUTOMATED DIGITIZATION AND ANALYSIS OF SHIP'S LOGS VIA OCR & NLP: OPERATIONAL ANALYTICS

P. Nosov

*Odessa National Maritime University
(Ukraine)*

Introduction. A large share of safety-critical information aboard vessels is captured manually: watch logs, checklists, remarks on visibility, sea state, COG/SOG, RPM, ID vessel to IMO-cod and more. Management companies often receive these data post factum, while camera streams and ECDIS/AIS alerts do not automatically convert into structured text. The result is reduced situational awareness and delayed response [1–4]. This work shows that even a basic OCR & NLP stack can transform handwritten logs into data that are easy to analyze, visualize, and act upon.

Input data and environment. *Sources:* photographs/scans of log pages (JPG/ PNG/ TIF) or an existing `ship_logs.txt`.

Environment: Python (Anaconda/Jupyter) with Tesseract, TextBlob/ NLTK/ pandas/ matplotlib/ wordcloud/ Textastic.

Outputs: an updated `ship_logs.txt` plus artifacts in outputs (CSV, PNG, readability metrics). The folder structure is designed so students can reproduce the experiment with minimal setup and obtain comparable results.

Method and architecture.

OCR with Minimal Image Normalization:

```
from PIL import Image, ImageOps, ImageFilter
import pytesseract

def ocr_image(path):
    img = Image.open(path).convert("L")
    img = ImageOps.autocontrast(img).filter(ImageFilter.MedianFilter(3))
    return pytesseract.image_to_string(img, lang="eng", config="--oem 1
--psm 6")
```

Ensuring NLTK Corpora (Reproducibility)

```
import nltk
def need(res):
    try: nltk.data.find(res)
    except LookupError: nltk.download(res.split("/")[-1])

for res in ["tokenizers/punkt", "taggers/averaged_perceptron_tagger",
"corpora/wordnet", "corpora/brown", "corpora/conll2000", "corpora/stopwords"]:
    need(res)
```

Automatic checking and retrieval of corpora eliminates common student-side failures and standardizes tokenization, POS tagging, and noun-phrase extraction. The availability of `brown` and `conll2000` improves noun-phrase quality in the telegraphic style of log notes. This built-in «self-check» substantially reduces environment friction and strengthens experimental reproducibility. Consequently, the linguistic features become stable across different machines.

Pre-normalization (grayscale, autocontrast, median filtering) reduces noise and evens out tonal variations that are typical of handheld captures of handwriting. This noticeably stabilizes recognition of digits, apostrophes, and the degree symbol-often distorted when reading coordinates and headings. The resulting text is consolidated into `ship_logs.txt`, ensuring that downstream NLP stages work from a single, coherent source. In effect, OCR ceases to be a bottleneck and becomes a predictable stage of the pipeline.

Domain filter and frequency profile

```
import re, pandas as pd
from nltk.corpus import stopwords
```

```
marine_stop =
{"utc", "pos", "cog", "sog", "kts", "kt", "lat", "lon", "deg", "rpm", "n", "s", "e", "w"}
stops = set(stopwords.words("english")) | marine_stop
ok = lambda t: bool(re.fullmatch(r"[A-Za-z0-9\-\_]+", t))

items = [(w,c) for (w,c) in blob.word_counts.items() if ok(w) and
w.lower() not in stops]
items.sort(key=lambda t: t[1], reverse=True)
pd.DataFrame(items[:20],
columns=["word", "count"]).to_csv(OUT_DIR/"Top20_Words.csv", index=False)
```

Maritime abbreviations and service codes are frequent by nature yet analytically uninformative, so removing them cleans the statistical background substantially. This «domain noise attenuation» brings meaningful watch markers to the foreground—wind, pressure, visibility, pilotage — enhancing interpretability. As a result, histograms and CSV outputs become decision-useful rather than dominated by routine abbreviations. The frequency profile thus becomes a practical instrument for quick briefings.

n-grams as event pattern markers

```
tris = blob.ngrams()[:5] if len(blob.words) >= 3 else []
fives = blob.ngrams(n=5)[:3] if len(blob.words) >= 5 else []
```

n-gram analysis captures stable combinations characteristic of shipboard notes, such as “UTC → POS → COG/SOG” or “Sea State → value → comment.” These recurring constructions are well-suited for conversion into early-warning rules and triggers in shore-side systems. In practice, n-grams help separate regular “watch patterns” from one-off artifacts, reducing the risk of false alerts. Thus, they bridge raw text and straightforward, effective notification policies.

Results. The pipeline consistently produces `ship_logs.txt` even from field-quality images, then computes basic linguistic characteristics (character/word/sentence counts, POS tags, noun phrases). The frequency profile, cleansed of domain abbreviations, highlights semantically salient terms, while n-grams reveal recurring relationships among time, position, and motion parameters. Visualizations (a top-terms histogram, word cloud) and readability indices provide a concise yet informative overview of log entries over a period. Taken together, these outputs form a practical tool for rapid briefings and follow-on preventive action [5].

Results of the program execution. The obtained results demonstrate the efficiency of the developed software in extracting and analyzing information from ship logs. The frequency histogram (Fig. 1) highlights the dominance of key operational terms such as «12» and «NW», which were detected twice, while the remaining nautical indicators (e.g., POS, SOG, COG090, Wind, Pressure, RPM) appeared once. This clearly shows that the algorithm successfully captures both numerical parameters (speed, pressure, coordinates) and descriptive characteristics of navigation conditions.

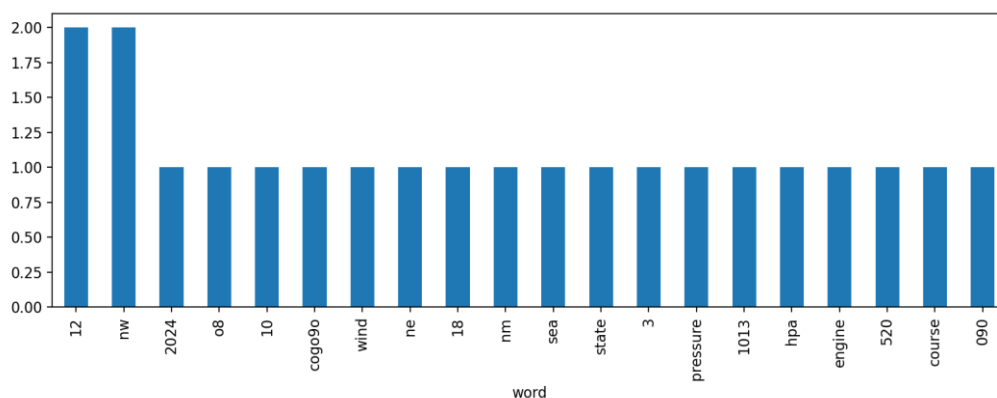


Figure 1 — Frequency distribution of key tokens extracted from the ship’s log after OCR and domain-specific stop-word filtering

The generated word cloud (Fig. 2) provides an intuitive visual representation of the most relevant terms in the analyzed text. Larger words, such as SOG, POS, Wind, Sea, State, emphasize their higher importance and frequency in ship log records. Such visualization facilitates rapid identification of critical parameters by operators or supervisors, especially in cases of emergency reporting or operational assessments.

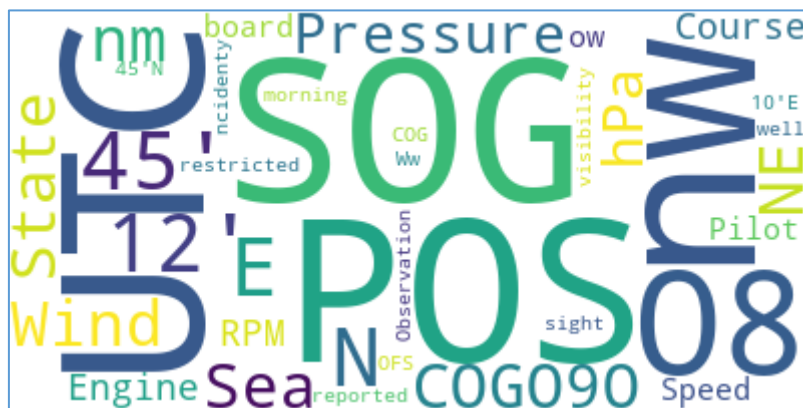


Figure 2 — Word cloud of the ship’s log: term size and prominence are proportional to frequency

Readability analysis confirms the complex, technical nature of the maritime records. With a Flesch–Kincaid score of 20.9 and a Gunning Fog index of 24.2, the text falls into the category of specialized technical documentation, requiring advanced knowledge for correct interpretation:

```
{'char_count': 248,  
'dalechall_score': 14.497208771929824,  
'flesch_score': 46.56947368421055,  
'fleschkincaid_score': 20.92421052631579,  
'gunningfog_score': 24.203508771929826,  
'notdalechall_count': 29,  
'polysyblword_count': 2,  
'sent_count': 1,  
'smog_score': 11.20814326018867,  
'sybl_count': 69,  
'word_count': 57}
```

The presence of a high number of polysyllabic terms (69 syllables across 57 words) indicates that the ship log is densely packed with domain-specific vocabulary, which is expected in professional navigation contexts. These results validate the approach of applying NLP methods to maritime documentation, as they enable structured processing of highly technical content.

Discussion. The chosen methods match the structure of log data: OCR ensures a textual substrate; POS/NP and n-grams capture syntactic and collocational regularities of short telegraphic notes. The domain filter enhances statistical informativeness by diminishing the weight of service abbreviations that would otherwise dominate the top terms. Recognition quality depends strongly on imagery, yet basic normalization and modest OCR parameter control yield tangible accuracy gains without complicating the stack [6-8]. Further enrichment is feasible through specialized HTR models and a maritime ontology for normalization and NER.

Conclusions. The minimalist OCR+NLP pipeline turns handwritten logs from a «paper archive» into a data source for immediate analysis. Each algorithmic step — from image normalization to domain filtering and n-grams — delivers a measurable practical effect and strengthens interpretability. The resulting artifacts (CSV, charts, metrics) are easily embedded into routine reports and monitoring dashboards. The next logical step is integration with ECDIS/AIS screenshots and rule-based early warnings in shore systems, along with progressive adoption of NER/HTR and on-device/offline computation aboard.

REFERENCES

1. Nosov, P. S., Ben, A. P., Matejchuk, V. N., & Safonov, M. S. (2019). IDENTIFICATION OF «HUMAN ERROR» NEGATIVE MANIFESTATION IN MARITIME TRANSPORT. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4). 204–213. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20>.
2. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий. *Materials of the XI «Modern information technologies in transport, MINTT–2019»* May 28–30, 2019 Kherson, Ukraine. С 177–178.
3. Носов П.С., Тонконогий В.М. Використання компонентів мислення експертними системами, як фактору адаптивного впливу в автоматизованих навчальних системах. *Тр. Одес. политехн. ун-та. Одеса: ОНПУ, 2005. Спецвыпуск. С. 101–105.*
4. Mykhailo Sherman, Alona Yurzhenko. Experimental research on the formation of future ship engineers' communicative competence based on gamification approach. *Educational Dimension*. 2020. Volume 3. P. 251–266.
5. Косенко Ю.І., Носов П.С. Механізми ідентифікації та трансформації «знань» суб'єкта критичної інфраструктури // *Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Збірник наукових праць [Текст]. Вип. 3(4) Одеса: Наука і техніка 2013, С. 99–104.*
6. Deitel, P. J., & Deitel, H. M. (2020). *Intro to Python for Computer Science and Data Science: Learning to Program with AI, Big Data and the Cloud*. Pearson. Print ISBN: 978-0135404676.
7. Etienne, M., Khan, S., & Eakambaram, M. (May 2020). *Intelligent Maritime: Modern Ships and Ports*. Dell Technologies; Intel Corporation.
8. Dalaklis, Dimitrios. *Artificial Intelligence (AI) Applications and the Shipping Industry*. Presentation, June 2025. DOI: 10.13140/RG.2.2.35071.52643.

FORMAL APPROACHES TO DATA MANAGEMENT IN MARITIME TRANSPORT SAFETY ANALYSIS PROJECTS

P. Nosov¹, A. Nosov²

¹*Odessa National Maritime University
(Ukraine)*

²*Outlaw Eagle Manufacturing, Designer and Draftsperson
(Canada)*

Introduction. Under current conditions of increasing intensity of global shipping and tightening safety requirements for maritime transport, the development of formalized approaches to data management is gaining particular importance [1–3]. Shipping companies operate in a multi-factor environment where the level of safety is affected by the technical condition of the fleet, the quality of management, compliance with international conventions, and the outcomes of inspections conducted by supervisory authorities. At the same time, the volume of available digital data (PSC inspections, Equasis registers, internal audit indicators, crew training data, etc.) is rapidly increasing, yet is still used in a fragmented manner, mainly for reporting rather than for systematic analytics and managerial decision support.

The absence of harmonized procedures for normalizing indicators, constructing integral indices of the multi-project state, and formalized models for assessing the resilience and reliability of a shipping company's operations limits the possibilities of project-oriented safety management. This complicates the timely detection of critical trends, comparison with benchmarks, and justification of corrective actions [4, 5]. Therefore, the development of formal approaches to the structuring, normalization, and integration of open and internal data into a unified model for analysing maritime transport safety at the project portfolio level is an urgent research task that is consistent with current requirements for project management in the maritime sector.

Main body of the research. The formalization of project management approaches in maritime safety implies the introduction of stages of simulation modelling and software-based data processing for all mutually dependent processes. The main stages of the procedure for collecting real-world data for a formal model at the level of a shipping company are outlined below, for which the corresponding impact indicators are introduced.

1. Indicators of the state and performance of the project portfolio

1.1. Operational cadence (ω_3)

Definition and role. ω_3 reflects the rhythm of consecutive port calls (operational cycles), which characterise the throughput capacity of the execution project (1).

$$\omega_3 = \frac{1}{\text{median}\{\Delta t_k\}}, \quad \Delta t_k = t_k^{(\text{ATA/ATD})} - t_{k-1}^{(\text{ATA/ATD})}, \quad (1)$$

where $\Delta t_k = t_k^{(\text{ATA/ATD})}$ — denote the timestamps of arrival/departure events (ATA/ATD) for the vessels of the analysed cohort.

Input data and format. ATA/ATD event series linked to the IMO number (vessel identifier) and UN/LOCODE (port). The recommended format is CSV/Parquet:

IMO, MMSI, datetime_utc, lat, lon, sog, cog, port_unlocode, event (ATA|ATD).

Automated processing in JupyterLab assumes the use of: pandas (aggregation), geopandas/shapely (pixel-wise detection of entries/exits into port polygons), pyproj (projection transformations). A typical pipeline is: read → filter by company/cohorts → ATA/ATD labelling → intervals → median → computation of ω_3 .

1.2. Process maturity index (I_3)

I_3 reflects the maturity of managerial and production processes within the portfolio/company (standards, competences, digitalisation, institutional memory). For external analysis, an external index $I_{3,basic}$ is constructed on the basis of proxies from open data (PSC: all Paris MoU inspections; Equasis). The full I_3 may additionally include internal KPIs (ISM/ISPS audits, training activities, internal regulations), but these lie outside the open-data perimeter.

Indicator set and “better/worse” orientation.

The minimal robust feature set (within a single cohort: Paris MoU region $\times$ vessel type $\times$ period) is:

p_1 = detentions per 100 inspections (detention frequency) – lower is better;
 p_2 = share(ISM) or share(ISM+ISPS) among detention causes – lower is better;
 p_3 = repeat rate of the top-N deficiencies (recurrence) – lower is better;
 p_4 = fleet age (mean or median vessel age) – lower is better;
 p_5 = flag/RO quality (quality of the company’s flag/class; inverted “black/grey list” indicators) – higher is better.

Where data are available, additional indicators may be included, such as the share of findings closed on schedule, the share of ISM audits without non-conformities, and similar measures.

Normalization (robust)

To make the features comparable, each p_i is normalised to $[0,1]$ within the cohort (2).

$$\tilde{p} = \text{clip} \left(\frac{p_i - q_{0.05}(p_i)}{q_{0.95}(p_i) - q_{0.05}(p_i)}, 0, 1 \right). \quad (2)$$

«Benefit/cost» orientation.

For «lower is better» features, an inverse (cost-to-benefit) transformation is applied $p_i^{(+)} = 1 - \tilde{p}_i$; for «higher is better» features, a direct benefit-type normalisation is used $p_i^{(+)} = \tilde{p}_i$.

Aggregation (3):

$$I_{3,basic} = \sum_{i=1}^m w_i p_i^{(+)}, \quad w_i \geq 0, \quad \sum_i w_i = 1. \quad (3)$$

The aggregated index is obtained as a weighted combination of the normalised features, where m is the number of included features and w_i are the weights (by default equal; if necessary, expert- or entropy-based).

Output data and format

Table «company $\times$ period $\times$ fleet»:

```
company_id, period, cohort_id,
det_per_100, share_ISM, repeat_topN, fleet_age,
flag_ro_quality,
det_per_100_norm_inv, share_ISM_norm_inv,
repeat_topN_norm_inv,
fleet_age_norm_inv, flag_ro_quality_norm,
w1, w2, w3, w4, w5,
I3_basic
```

Automated processing (Anaconda/Python)

PSC parsing (all inspections): lxml/xml.etree $\rightarrow$ pandas (calculation of inspections, detentions, and defect structure by THETIS codes; recurrence defined as the share of inspections with at least one top-N defect).

Equasis: mapping IMO $\rightarrow$ ISM Manager/Owner, flag, RO; calculation of vessel age.

Normalisation and weights: pandas grouping by fleet, quantile percentiles, construction $\tilde{p}_i, p_i^{(+)}$ and aggregation into $I_{3,basic}$.

Stabilisation: exponential moving average (EMA) smoothing of $I_{3,basic}$, basic using

`pandas.DataFrame.ewm.`

1.3. Deviation-from-mission vector (θ)

θ is the angle between the vector of actual indicators v and the benchmark vector v^* within the same tuple (Paris MoU database $\times$ vessel type $\times$ period). The smaller the angle, the better the alignment with the “mission/standard” of the cohort.

Vector composition (minimal, consistent with available data) (4).

$$v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{omega3_norm} \\ 1 - \text{det}/100 \\ 1 - \text{share}(\text{ISM}) \end{bmatrix}, \quad v^* = \begin{bmatrix} v_1^* \\ v_2^* \\ v_3^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{median}_{\text{cohort}}(\text{omega3_norm}) \\ \text{median}_{\text{cohort}}(1 - \text{det}/100) \\ \text{median}_{\text{cohort}}(1 - \text{share}(\text{ISM})) \end{bmatrix} \quad (4)$$

The vector includes, at a minimum, the following components:

`omega3_norm` — normalised cadence ω_3 (derived from AIS);

`det/100` — detention rate per 100 inspections;

`share(ISM)` — share of process-related non-conformities

The tilde notation indicates robust percentile-based normalisation to [0,1] within the cohort, as in Section 1.2. For cost-type features, inversion is applied.

If additional relevant features are available (e.g., ISPS-related indicators separately), the vectors are extended to dimension $d > 3$; the formula below generalises to $i = 1..d$.

Weighted angle formula (5)

$$\theta = \arccos \left(\frac{\sum_{i=1}^3 w_i v_i v_i^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 w_i v_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^3 w_i (v_i^*)^2}} \right), \quad w_i \geq 0, \quad \sum_i w_i = 1, \quad (5)$$

where the weights w_i define the priority of individual components (typically equal; they may be determined by expert judgement or sensitivity analysis).

Output data and format

«Facts + benchmark» table within the cohort:

```
company_id, period, cohort_id,
v1 = omega3_norm,
v2 = det100_norm_inv,
v3 = ism_share_norm_inv,
v1_star, v2_star, v3_star,
w1, w2, w3,
theta
```

Automated processing (Anaconda/Python). Component preparation:

`omega3_norm` — from AIS (DMA/port logs): construction of port calls $\rightarrow$ `tact` $\rightarrow$ $\omega_3 = 1/\text{takt}$ $\rightarrow$ robust normalisation within the cohort.

`det/100`, `share(ISM)` — from PSC (bulk Paris MoU data): counting inspections/detentions and defect structure $\rightarrow$ cohort-wise normalisation.

Benchmark v^* : `pandas` grouping by `cohort_id` i `period`, computation of medians/quantiles for each component.

Computation of θ : `numpy` (dot product, norms) or vectorised implementation in `pandas`; numerical stability control by clipping the argument of `arccos` to $[-1,1]$.

Checks: scale invariance (ensured by normalisation); absence of bias under changes in cohort composition (the cohort definition is fixed for the entire analysis horizon); sensitivity analysis for different w_i .

1.4. Impulse of stable motion (L) and threshold ($L_{кр}$): $L = I_3 \cdot \omega_3$, $L \geq L_{кр}$ (stability condition).

The threshold value $L_{кр}$ specifies the admissible minimum of the system's «operational energy» (cadence $\times$ maturity), below which «nutations» (chaotic reorientations) are likely.

Automated processing. Construction of the time series L_t , labelling of threshold violations (signals for policy correction), and «before/after» analysis (intervention analysis).

2. External disturbances and their aggregation

2.1. Total disturbance moment (τ)

Structure $\tau_t = k_H H_t + k_G G_t + k_S S_t$, where H_t is the threat index (operational/safety-related), G_t is the «gravity» of norms and supervision (inspection intensity/structure), S_t represents socio-geopolitical shocks; k_H , k_G , k_S are sensitivity weights.

Minimal reproducible scenario. In the absence of observations on H_t , S_t , a PSC-driven variant is appropriate: $\tau_t \simeq k_G G_t$.

Automated processing. Construction of sub-indices H_t , G_t , S_t (normalisation to $[0,1]$), selection of weights k_i by calibration against the historical record of losses/events, and formation of the panel $\{\tau_t\}$.

2.2. Components of τ

2.2.1. “Gravity” index of norms and supervision (G_t)

Data. Complete inspection records (not only detentions): dates, ports, outcome, detention duration, full list of deficiencies (codes/categories), and vessel/company attributes.

Derived measures. Inspection density (per 100 vessel calls or another invariant), shares of «process» deficiencies (ISM/ISPS/STCW), and the structure of detention causes.

Automation. XML parsing $\rightarrow$ normalisation to Parquet $\rightarrow$ aggregation in pandas; stabilisation of categories via code dictionaries.

2.2.2. Threat index (H_t)

Data. Piracy/armed robbery incidents (quarterly/annual reports), operational warnings in maritime areas, lists of insurance «listed areas», and aggregates such as “time in port / transshipment” as proxies for operational pressure.

Derived measures. Event counters and intensities per period; robust aggregates (median/percentiles).

Automation. Extraction from PDF/HTML (tabula-py, camelot, BeautifulSoup), harmonisation to CSV with fields: date, area, event/indicator, severity, source, followed by normalisation.

2.2.3. Socio-geopolitical shocks (S_t)

Data. Machine-readable sanctions lists, “strike/blockade” events (geocoded), and other relevant macro-shocks.

Derived measures. Monthly/weekly indicators of event intensity in port regions/cohorts.

Automation. Import of event JSON/CSV files (pandas), filtering (keywords/classes), aggregation, and normalisation.

3. Reconfiguration rate (Ω) and its relation to τ , I_3 , ω_3

Definition and role. The frequency of policy revisions/reprogramming actions (the system's operational «precession»). In the model, the following approximation is used: $\Omega \approx \tau/(I_3 \cdot \omega_3)$ which reflects «how many reconfigurations» are required given the current environmental pressure (τ) and stabilisers ($I_3 \cdot \omega_3$).

In the absence of internal logs of managerial decisions:

1. Event-type changes in registers (change of ISM manager, class/RO, renewal of SMC/DOC);

2. «Breaks» in the structure of deficiencies/detention rate (change-point analysis in PSC time series).

Automation. ruptures/CUSUM (change detection), construction of event frequencies per quarter, cross-validation against $\tau/(I_3 \cdot \omega_3)$.

4. Threshold condition, normalisation, and dissipation parameters

4.1. Threshold inequality and normalisation (κ_L)

The threshold L_{kp} is formed via dimensionless normalisation of the «mechanical scale» into the coefficient κ_L ; the condition $L \geq L_{\kappa}$ is then tested.

Time series $L_t = I_{3,t} \omega_{3,t}$; reference intervals of stability/instability for calibrating L_{kp} (based on retrospective losses/failures).

Automation. Optimisation-based selection of L_{kp} as the value that best separates “unstable” subsamples (classification metrics: ROC–AUC, F-measure), followed by fixing κ_L .

4.2. Dissipation/loss parameters (α, β, δ) – ARX calibration

A linear autoregressive model with exogenous variables (ARX) for dependent risk/loss indicators (e.g., L_t or “detention days”) (6):

$$L_t = \alpha_1 L_{t-1} + \dots + \alpha_p L_{t-p} + \beta_1 \omega_{3,t-1} + \dots + \beta_q \omega_{3,t-q} + \gamma_1 I_{3,t-1} + \dots + \gamma_r I_{3,t-r} + \eta_1 \Omega_{t-1} + \dots + \eta_s \Omega_{t-s} + \tau_1 \tau_{t-1} + \dots + \tau_u \tau_{t-u} + \varepsilon_t \quad (6)$$

The lag structure is refined using information criteria; alternative dependent variables (e.g., «detention days», «excess port time») may also be modelled.

Unified time panels $\{L_t, \omega_{3,t}, I_{3,t}, \Omega_t, \tau_t, B_t\}$ with a weekly/monthly step.

Automation. `statsmodels` (ARIMA/SARIMAX with exogenous regressors) or ARX construction via formula interfaces (`patsy`) and `sklearn` (regularisation, overfitting control, «blocked CV»); residual analysis and diagnostics (Durbin–Watson criterion, Ljung–Box Q-tests).

5. Join keys, reference tables, and ETL organisation

5.1. Join keys

IMO – primary key across AIS / PSC / Equasis (vessel identification).

UN/LOCODE – port unification (spatial anchoring of events).

`company_id` – normalised identifier of the ISM manager/owner (from Equasis), linked to the IMO fleet.

5.2. Reference tables and dictionaries

Deficiency categories (PSC) – official code lists and their mapping to ISM/ISPS/STCW (custom dictionary for automatic classification).

Classification of vessel types / ROs / flags – tables for aggregation and correction of mixed cohorts.

5.3. Data structure and scaling

Directories: `/raw` — source XML / PDF / CSV dumps, `/interim` — cleaned CSVs, `/processed` — analytical Parquet files.

Tools: `pandas`, `polars` (high throughput), `pyarrow` (Parquet), `dask.dataframe` (scaling), `geopandas/shapely/pyproj` (GIS stage), `lxml/BeautifulSoup/tabula-py/camelot` (extraction from XML/PDF/HTML), `numpy` (linear algebra), `statsmodels/sklearn` (identification/forecasting), `ruptures` (structural change detection).

Reproducibility: `environment.yml` (environment specification), version pinning, `notebooks 00_extract.ipynb` → `01_transform.ipynb` → `02_model.ipynb`, and unit tests for dictionaries/ATA–ATD detection algorithms.

Conclusion. The study proposes a comprehensive formal data management framework for analysing maritime transport safety at the level of a shipping company and its project portfolio. A system of indicators has been formulated, including the operational cadence, process maturity index, deviation-from-benchmark angle, impulse of stable motion, total external disturbance moment, and reconfiguration rate. Robust procedures have been developed for normalising these indicators within cohorts, constructing benchmark vectors, and defining a stability threshold condition $L \geq L_{cr}$ with optimisation-based selection of L_{cr} .

The paper demonstrates how to integrate heterogeneous data sources (AIS, PSC, Equasis, sanctions and event registers) via unified keys (IMO, UN/LOCODE, `company_id`), defect-category dictionaries, and a standardised data structure (`raw` → `/interim` → `/processed`). A

reproducible ETL pipeline in Python/JupyterLab is proposed, using modern libraries for data processing, change detection, and model identification (ARX). The resulting formal specification of indices, thresholds, and processing procedures provides a foundation for subsequent simulation modelling, scenario analysis, and decision support aimed [6-8] at enhancing the resilience and safety of shipping companies.

REFERENCES

1. Бушуєв, С., Васильєв, І. (2024). Проектний підхід щодо створення керуючої системи для модернізації організації дорожнього руху під час відбудови територіальних громад. *Управління розвитком складних систем*, (59), 24–33. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.24-33>
2. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Control redundancy as a quantitative measure of maneuverability. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал*. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2021. № 3(21). С. 23–35.
3. Малаксіано М.О., Мельник О.М., «Обґрунтування вибору судна для фрахтування на умовах тайм-чартеру з урахуванням можливості його використання для перевезень негабаритних вантажів», *Вісник ВПІ*, вип. 1, с. 90–96, Лют. 2020.
4. Zinchenko, S., Kobets, V., Tovstokoryi, O., Nosov, P., & Popovych, I. (2023). Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 3403, Paper 44, pp. 582-594). CEUR-WS.org.
5. Nosov, P. S., Ben, A. P., Mateychuk, V. N., & Safonov, M. S. (2019). IDENTIFICATION OF «HUMAN ERROR» NEGATIVE MANIFESTATION IN MARITIME TRANSPORT. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4). 204–213. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20>.
6. Zinchenko S. M., Nosov P.S., Mateychuk V.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O.. Use of navigation simulator for development and testing ship control systems. *МНПК пам'яті професорів Фоміна Ю. Я. і Семенова В. С. (FS – 2019)*, 24 – 28 квітня 2019, Одеса Стамбул – Одеса. Pages 350–355.
7. Nosov P., Ben A., Safonova A., Palamarchuk I. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations. *Radio Electronics, Computer Science, Control* № 2(49). 2019. Pages 140-150. Web of Sci-ence. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-2-15>.
8. Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Mateychuk, V. M., Mamenko, P. P., & Grosheva, O. O. (2020). AUTOMATIC COLLISION AVOIDANCE WITH MULTIPLE TARGETS, INCLUDING MANEUVERING ONES. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4), 211–222. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-4-20>

UDC 004:656.61.052

INTELLIGENT IDENTIFICATION OF SHIP TYPES FROM VISUAL-GEOMETRIC FEATURES IN MARITIME SAFETY PROJECTS

P. Nosov, A. Romanov, I. Skalyha
Odessa National Maritime University
(Ukraine)

Introduction and problem statement. One way to enhance the navigational safety of shipping is to improve the situational awareness of masters of ocean-going vessels and officers of the watch under conditions of reduced visibility and heavy traffic in challenging waters [1–3]. In such situations, where the information load is substantially increased, adverse manifestations of the human factor may arise and lead to severe consequences [4]. This creates a need for intelligent tools that determine a ship's type from a set of visual-geometric attributes captured from structured descriptions (forms/tables) or available catalogue data. Despite related solutions and parallel developments [5], this direction remains innovative and can occupy its own niche for simulator training, sea practice, cadet programs, and educational projects [6]. All of the above indicates the necessity of software capable of correctly identifying the vessel class in approximately 65–70% of cases.

Research aim: to obtain an accurate and reproducible classification result that can be explained in the «language of a navigating expert», thereby bringing the program's output closer to expert judgment.

Problem statement in a formal logical form.

Assume a labeled training set (1): $D = \{x_i, y_i\}_{i=1}^n, x_i \in X, y_i \in C, |C| = k$. (1)

The feature vector x contains numeric variables and categorical (binary) indicators (e.g., presence of a Ro-Ro ramp, visible containers, number of hatches/cranes, superstructure position, etc.).

Task: learn a mapping $f_\theta : X \rightarrow C, \hat{y} = f_\theta(x)$.

Quality criteria.

Performance is evaluated on a held-out test set and with k -fold cross-validation:

Accuracy: $Acc = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1\{\hat{y}_i = y_i\}$.

F1macro: $F1_{macro} = \frac{1}{k} \sum_{c \in C} \frac{2P_c R_c}{P_c + R_c}$ де P_c, R_c - precision/recall for c .

Formulation of “expert judgement.”

The implementation returns an ML prediction $\hat{y}^{ML}$ and standard metrics. To align interpretation with a navigator/inspector's expectations, we require that, together with $\hat{y}$, the system outputs a brief explanatory comment $E(x)$ a list of 2–5 features with the largest contribution to the decision. Formally, the output is the pair $(\hat{y}, E(x)), E(x) = \{\text{sign, meaning, brief interpretation}\}$.

$$\hat{y} = \arg \max_{c \in C} [\alpha s_{rules}(c|x) + (1-\alpha) s_{ML}(c|x)], \quad (2)$$

where s_{rules} aggregates the weights of fired IF–THEN rules for class c , and s_{ML} denotes calibrated class scores (or probabilities) from the trained model $\alpha \in [0,1]$.

Thus, the formal problem is multi-class ship-type classification from visual–geometric features with an output format «prediction + concise expert explanation». This formulation embeds interpretability requirements necessary for further development into an expert system.

Materials and Methods. We outline the core stages and elements of the study.

1) Data (7×8 dataset).

Object. Multi-class ship-type classification $y \in C$ from a vector of visual-geometric features $x \in X$.

Size. Approximately 7 classes $\times$ 8 samples (balanced training set for instructional/simulator scenarios).

Format. Tabular CSV files with numeric and categorical attributes; a separate schema file is used for field validation.

Feature acquisition (expert-elicited). Features are extracted by an expert from catalog descriptions; formally (3).

$$D = \{x_i, y_i\}_{i=1}^n, x_i \in \mathbb{R}^p \times \{0,1\}^q, y_i \in C, |C| = 7. \quad (3)$$

2) Features (examples and formalization).

Numeric: length L , beam B , and derived ratios (e.g., L/B).

Categorical/binary class markers: roro_ramp $\in \{0,1\}$, container_bays_visible $\in \{0,1,2+\}$, deck_piping_visible $\in \{0,1\}$, cranes_count $\in \{0,1,2+\}$, hatch_count $\in \{0,1,2+\}$, superstructure_pos $\in \{\text{fore, mid, aft}\}$, etc.

Encoding: categorical fields are one-hot encoded; numeric fields are normalized/scaled as needed (especially for k-NN).

3) Pre-processing and validation.

1. Vocabulary harmonization: lowercase/trim, type casting (int/ float/ category).

2. Schema checks: presence of mandatory columns; admissible category values.

3. Missing data: drop rows with critical omissions or apply conservative imputation (e.g., mode for categories).

4. One-hot encoding:

$$\text{One-hot: } \text{One-hot} : \text{Cat} \xrightarrow{\text{OHE}} \{0,1\}^q.$$

with q the total number of categorical indicators.

Data splitting and cross-validation (Train/Test Split; k-Fold CV; Reproducibility: fix random_state).

5) Machine learning models.

5.1 k-Nearest Neighbors (k-NN) (4).

$$\hat{y} = \arg \max_{c \in C} \sum_{j \in N_k(x)} w_j 1\{y_j = c\}, w_j = \begin{cases} 1, & \text{equal weights} \\ \frac{1}{\|x - x_j\| + \varepsilon}, & \text{distance-weight} \end{cases}. \quad (4)$$

5.2 Support Vector Classifier (SVC) (5).

$$\min_{w,b,\xi} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_i \xi_i \quad \text{s.t. } y_i (w^T \phi(x_i) + b) \geq 1 - \xi_i, \xi_i \geq 0. \quad (5)$$

5.3 Naive Bayes (GaussianNB) (6).

$$\hat{y} = \arg \max_{c \in C} \log P(y = c) + \sum_{m=1}^{p+q} \log P(x_m | y = c). \quad (6)$$

6) Model aggregation (theoretically for the thesis)

To increase robustness and “expert-likeness” we consider soft voting (7):

$$S_c(x) = \alpha \tilde{p}_{kNN}(c|x) + \beta \tilde{p}_{SVC}(c|x) + \gamma \tilde{p}_{NB}(c|x), \alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (7)$$

$$\hat{y} = \arg \max_{c \in C} S_c(x).$$

here $\tilde{p}$ — are calibrated scores (Platt/Isotonic for SVC; distance-weights/ CalibratedClassifierCV for k-NN; NB is probabilistic a priori).

We describe the architecture of the software system:

[Input x] $\rightarrow$ [schema+prep] $\rightarrow$ $\top$ $\rightarrow$ [Rule Engine] $\rightarrow$ s_rules(c)

$$\begin{aligned} & \mathcal{L} \rightarrow [\text{ML Stack}] \rightarrow s_ml(c) \\ & s_rules(c), s_ml(c) \longrightarrow [\text{Aggregator}] \rightarrow (\hat{y}, \text{score}) \\ & \quad \quad \quad \mathcal{L} \rightarrow [\text{Explainer } E(x)] \\ & \quad \quad \quad \mathcal{L} \rightarrow [\text{Missing-data Handler}] \end{aligned}$$

1. Components and API

Input: ship description x_raw (numeric L, B derived features; binary/categorical markers).

Output: $(\hat{y}, \text{score}, E(x), \text{next_questions})$:

$\hat{y}$ — the selected class; $\text{score} \in [0,1]$ — the agreed measure of confidence;

$E(x)$ — a brief explanation (rules/neighbors/features);

next_questions — what to ask if data are missing

1.1 Block $\text{schema+prep}(x_raw) \rightarrow x$.

Перевірка схеми, типів, словників значень.

OHE for categorical features; computation of derived features (L/B).

Optional scaling of numeric features (for k-NN).

1.2 Block $\text{rule_engine}(x) \rightarrow s_rules(c), \text{rules_fired}$

A set of simple production rules (IF–THEN) with weights $w_r \in [0,1]$.

Minimal (for the thesis) — hard conditions, without «fuzzy» memberships:

example: IF $\text{roro_ramp}=1$ AND $\text{cranes_count}=0$ THEN $\text{class}=\text{ro_ro}$ ($w=0.9$).

Aggregation (8):

$$S_{rules}(c) = \sum_{r:r \rightarrow c} w_r \cdot t_r(x), \quad t_r(x) \in \{0,1\}. \quad (8)$$

where $t_r(x) = 1$ if the rule's conditions are true for x .

1.3 Block $\text{ml_stack}(x) \rightarrow s_ml(c), \text{ml_artifacts}$

Returns calibrated class scores (9):

$$S_{ml}(c) = \alpha_{kNN} \tilde{p}_{kNN}(c|x) + \alpha_{SVC} \tilde{p}_{SVC}(c|x) + \alpha_{NB} \tilde{p}_{NB}(c|x), \sum \alpha = 1. \quad (9)$$

1.4 Block $\text{aggregate}(s_rules, s_ml) \rightarrow (\hat{y}, \text{score})$:

Reconciliation: $S(c) = \lambda s_{rules}(c) + (1-\lambda) S_{ml}(c)$, $\hat{y} = \arg \max_c S(c)$, $\text{score} = \max_c S(c)$.

$\lambda = 0$ — «only ML» mode;

$\lambda > 0$ — partial integration of rules.

Confidence thresholds: (if $\text{score} < \tau_1 \rightarrow$ additional features required; if $\tau_1 \leq \text{score} < \tau_2 \rightarrow$ show top-2 with explanation of differences; if $\text{score} \geq \tau_2 \rightarrow$ accept the decision).

1.5 Block $\text{explainer}(\hat{y}, x, \text{rules_fired}, \text{ml_artifacts}) \rightarrow E(x)$

For rules: list of fired rules (ID, brief text).

For k-NN: 3–5 nearest neighbours and their classes.

For NB: features with the largest contribution to $\log P(x|y = \hat{y})$.

For SVC: nearest support vectors / a brief text «what drove the decision away».

1.6 Block $\text{missing_data_handler}(x, S) \rightarrow \text{next_questions}$

S - the set of candidate classes.

Heuristic for selecting the next feature f^* : (a feature that appears in rules distinguishing S ; a feature with the largest mutual information with the class on training; a feature that most strongly changes $\max_c S(c)$ under «0/1/mean» scenarios) (10).

$$f^* = \arg \max_{f \in \text{Miss}} [H(S) - E_{x_f} H(S | x_f)] \quad (10)$$

where H is the entropy of the distribution over S .

Experimental materials.

System configuration:

Data: 56 samples = 7 classes $\times$ 8 (balanced), ships.csv.

Features: numeric (e.g., length_m , beam_m , l_b_ratio , draft_m) + categorical/binary (e.g., roro_ramp , $\text{container_bays_visible}$, $\text{deck_piping_visible}$, cranes_count , $\text{superstructure_pos}$,

...). Categorical → one-hot.

Split: stratified, test_size = 0.25, random_state = 11.

CV: StratifiedKFold with n_splits = 8 (minimum class size = 8).

Table 1. Baseline ML model

Model	CV (mean ± std)	Test Accuracy	Comment
k-NN (k=1)	~69.6%	~64.3%	There are «overconfident» errors; main confusions: tanker→bulk, passenger↔ro ro.
SVC (RBF)	~46.4% ± 15.6%	~64.3%	Unstable on a small sample (7×8); requires careful tuning of C, γ .
GaussianNB	100% ± 0.0%	100%	Strong binary markers are «captured» by NB; illustrative for a thesis, but a broader evaluation is needed.

On this feature representation, GaussianNB captures very strong binary class markers (e.g., deck_piping_visible, ro-ro_ramp, container_bays_visible, etc.), which yields 100% in both CV and test in our case.

Confusion matrix (k-NN, k=1, test).

Main observations on the held-out set (14 samples) (Fig. 1):

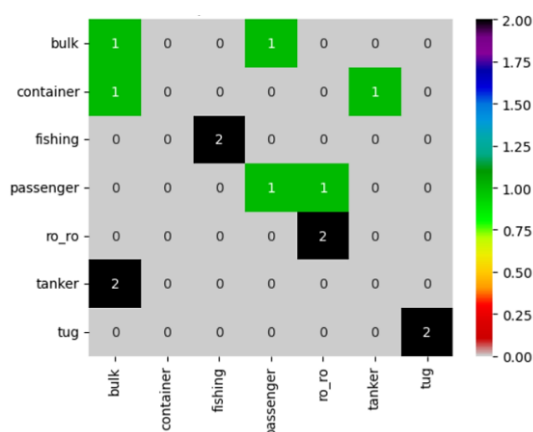


Figure1 — Confusion matrix of the ML model's predictive performance

From the matrix it follows that:

- passenger ↔ ro-ro: mutual confusion is present (1/2 passenger misclassified as ro-ro).
- fishing, tug, ro-ro: correctly classified in this split (2/2 each).

Conclusion. On the balanced dataset (7×8), the Gaussian NB model demonstrates the best results (up to 100%), whereas k-NN systematically errs in the tanker↔bulk and passenger↔ro-ro pairs; SVC shows no noticeable advantage on this small data sample. Switching from $k=1$ to $k=5$ with distance-based weights reduces the overconfidence of k-NN predictions (typically: 1.00 → ≈0.45/0.83/0.76) and creates prerequisites for further probability calibration (Platt/Isotonic, CalibratedClassifierCV), which should lower the Brier score and straighten the reliability curve.

Adding domain marker rules from practice (e.g., deck_piping_visible ∧ cranes → tanker, ro-ro_ramp ∧ cranes ∧ low container_bays → ro-ro) directly addresses typical errors and locally improves the macro-F1 of the «weaker» classes without conflicting with the GaussianNB scenario. The rules + ML hybrid scheme strengthens not only accuracy but also interpretability: together with the prediction, the system provides a concise comment on the key features that drove the decision. In educational use, this behavior properly reflects uncertainty (top-2 mode), suggests which data should be gathered next, and cultivates learners' skills in interpreting results

and critically assessing the completeness of input information [7,8].

Overall, the proposed study will constitute a component of the maritime safety framework aimed at investigating the identification of electronic navigation operators' actions under emergency conditions and establishing a basis for detecting and classifying critical scenarios and generating «expert» prompts [9,10]. A comparative analysis of cadets' emotional–personality traits highlights the human factor and supports the design of explanation modules, adaptive thresholds, and training scenarios; vessel motion optimization under excessive control provides a control-oriented foundation for marker rules and robustness checks. Together, these elements substantiate the integration of ML with domain rules, confidence calibration, and a training mode that enhances navigational safety and the quality of professional preparation [11].

REFERENCES

1. Nosov, P. S., Ben, A. P., Mateychuk, V. N., & Safonov, M. S. (2019). IDENTIFICATION OF «HUMAN ERROR» NEGATIVE MANIFESTATION IN MARITIME TRANSPORT. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4). <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20>.
2. Zinchenko, S., Kobets, V., Tovstokoryi, O., Nosov, P., & Popovych, I. (2023). Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 3403, Paper 44, pp. 582-594). CEUR-WS.org.
3. Mamenko P., Zinchenko S., Kobets V., Nosov P., Popovych I. (2022) Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_17.
4. Melnyk, Oleksiy & Onyshchenko, Svitlana & Onishchenko, Oleg & Prabowo, Aditya & Jurkovič, Martin & Sagaydak, Oleksandr & Pavlova, Nataliia. (2025). Systematic Approach to Ergatic Systems Risk Management in Maritime Operations. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*. 15. 22. <https://doi.org/10.54560/jracr.v15i3.633>.
5. How Marubeni Corp enhances navigational safety and fuel efficiency with Orca AI. URL: <https://www.orca-ai.io/seapod/>
6. Косенко Ю.І., Носов П.С. Механізми ідентифікації та трансформації «знань» суб'єкта критичної інфраструктури // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Збірник наукових праць [Текст]. Вип. 3(4) Одеса: Наука і техніка 2013, С. 99–104
7. Носов П.С., Тонконогий В.М. Використання компонентів мислення експертними системами, як фактору адаптивного впливу в автоматизованих навчальних системах // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одеса: ОН-ПУ, 2005. Спецвыпуск. С. 101–105.
8. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одеса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006. С. 118–122.
9. Zinchenko S., Ben A., Nosov P., Popovych I., Mateichuk V., Hrosheva O. The vessel movement optimisation with excessive control // *Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics*, 2020. № 3(99). P. 86–96. <https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96>.
10. Nosov, P. S., Cherniavskiy, V. V., Zinchenko, S. M., Popovych, I. S., Nahrybelnyi, Y. A., & Nosova, H. V. (2021). Identification of marine emergency response of electronic navigation operator. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (1), 208–223. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-20>.
11. Shevchenko, R., Popovych, I., Splytska, L., Nosov, P., Zinchenko, S., Mateichuk, V. & Blynova, O. (2020). Comparative analysis of emotional personality traits of the students of maritime science majors caused by long-term staying at sea. *Revista Inclusiones*, Vol: 7 num Especial, 538–554.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ДЛЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ НА СУДНІ ТА В МОРСЬКИХ СИСТЕМАХ: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Онишко Д.М.

Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Сучасні суднові системи поєднують кілька підсистем: AIS (система автоматичної ідентифікації суден), що передає дані по VHF (радіо в УКХ-діапазоні) з часовим поділом каналів (TDMA); ECDIS (навігаційні інформаційні системи); радары; а також канали «судно–берег». У AIS немає вбудованої перевірки справжності повідомлень, тому можливе їх підроблення (спуфінг). Є запропоновані доповнення до протоколу (Auth-AIS, TESLA, PKC), але їх масштабне впровадження у флоті тривале. Тож найближчими роками критично потрібні алгоритми виявлення аномалій у потоці AIS [1].

Практичні способи виявляти підміну даних AIS спираються на закономірності руху та часу: перевірка інтервалів TDMA, прогноз курсу і швидкості судна фільтром Калмана (простими словами — математичним «трекером»), статистичні тести і перехресна перевірка з радаром. Ці підходи працюють у реальному часі і не потребують змін стандартів [1].

У суднових радарних мережах добре себе показали методи глибинного навчання: 1D-CNN (одновимірні згорткові нейромережі) з SE-блоками («механізм уваги») та резидуальними зв'язками. Вони автоматично «витягують» корисні ознаки з мережевого трафіку, виявляють різні типи атак (наприклад, DoS — відмова в обслуговуванні, або навмисні «спотворення» об'єктів) і досягають ~98–100% точності в контрольованих умовах; швидкодії достатньо для майже реального часу [5].

Для флотів і портів, де дані розподілені й зв'язок нестабільний, доречне федеративне навчання (FL): моделі IDS (систем виявлення вторгнень) навчаються локально на судах, а береговий сервер періодично об'єднує оновлення (так звана «batch federated aggregation»). Це зменшує потребу передавати сирі логи та краще працює, навіть коли дані на різних судах відрізняються за розподілом (non-IID) [4].

Оглядові праці узагальнюють ці підходи: ML-IDS, детекція аномалій, прогнозування загроз, а також політика «нульової довіри» (zero-trust), де кожен доступ перевіряється. Головні проблеми — мало відкритих галузевих датасетів, регуляторні обмеження і вразливість самих моделей до навмисних «обманів» (adversarial ML). Це потрібно враховувати під час планування реальних впроваджень [3].

Актуальність дослідження зумовлена цілим рядом напрямів морської інформаційної безпеки:

1. AIS — відкритий радіоканал без підпису. AIS (автоматична ідентифікація суден) передає дані в ефір «як є», без криптографічної перевірки. Тому повідомлення можна підробити: змінити позицію, курс або навіть «особу» судна. Навіть якщо з'являться стандарти автентифікації, флот оновлюється повільно. Отже, найближчим часом головний пріоритет — алгоритми раннього виявлення аномалій у потоці AIS на борту або на березі [1]. *Пояснення:* TDMA — поділ радіоканалу за часом; через збої в цих інтервалах теж можна помітити підробки.

2. Потрібна робота в режимі реального часу. Коли зловмисник додає до підроблених треків «правдоподібний шум» (щоб вони виглядали як реальні), моделі, навчені на «ідеальних» прикладах, різко втрачають точність. Тому моделі треба тренувати на даних із реалістичним шумом і застосовувати нейромережі, що добре працюють із послідовностями (наприклад, 1D-CNN або GRU), аби утримувати точність при низькій затримці обробки [1], [2].

3. Радарні мережі — критичний периметр. Трафік від суднових радарів великий і різномірний, а «поганих» прикладів мало. Тут ефективні глибинні моделі з механізмами уваги: вони самі виділяють важливі ознаки і вміють знаходити як прості, так і складні атаки. Такі рішення можна запускати «на борту» (edge) на CPU/GPU і близькі до реального часу [5], [6].

4. Конфіденційність і розподіленість торговельного флоту. Сирі журнали подій з бортів передавати небезпечно і дорого. Федеративне навчання (FL) вирішує це: моделі навчаються локально на суднах, а береговий сервер періодично пакетно об'єднує тільки оновлення (ваги моделі). Це стійкіше до слабкого зв'язку і до відмінностей даних на різних судах [4].

5. Зв'язок із управлінням ризиками. Щоб розумно розподіляти бюджет і сили, потрібні кількісні оцінки ризиків у рамках NIST CSF (5 функцій: Identify–Protect–Detect–Respond–Recover). Тут стануть у пригоді прості моделі на кшталт k-NN (метод найближчих сусідів) і факторизації матриць (узагальнює оцінки), які переводять розрізнені дані у зрозумілі рейтинги ризиків для менеджменту [7].

6. Слабкі місця галузі, які не можна ігнорувати. Головні проблеми: мало відкритих наборів даних, недостатня відтворюваність експериментів, і вразливість самих моделей до навмисних обманів (adversarial прикладів). Саме тому в оцінюванні рішень треба окремо враховувати якість, затримку, стійкість (робастність), простоту впровадження та приватність [3].

Огляд літератури. У статті [1] показано перехід від офлайнових методів виявлення підробок AIS до онлайнового конвеєра, навчального на даних із цілеспрямованою ін'єкцією реалістичного гаусівського шуму (оціненого на реальних треках). Поєднання одновимірних згорткових мереж та рекурентних блоків (1D-CNN/GRU) забезпечило робастність до «шумних» атак і працездатність у реальному часі (приблизно 99% точності на синтетично зашумлених наборах). Додатково впорядковано непрямі ознаки детекції — контроль таймінгу TDMA, статистичні перевірки та звірення з радіолокаційними вимірюваннями.

У порівняльному дослідженні [2] продемонстровано, що «ідеальні» синтетичні підробки відокремлюються відносно просто (стандартні класифікатори дають >99%), однак за додавання реалістичного шуму точність базових моделей різко знижується. Звідси висновок про необхідність доменно узгодженого синтезу даних, регуляризації та валідації на реальних траєкторіях [2], [1].

Систематичний огляд [3] класифікує підходи до морської кібербезпеки на основі III: системи виявлення вторгнень (IDS), детектори аномалій, предиктивні моделі загроз і архітектури «нульової довіри». Відзначено прискорення реагування, але також дефіцит відкритих датасетів, обмеження регуляторики та вразливість моделей до навмисних впливів. Сформульовано напрями інтеграції з блокчейном, федеративним навчанням та квантовою криптографією, що корисно для подальшого формування критеріїв надійності та зрілості рішень.

У роботі [4] запропоновано FedBatch — адаптивну пакетну агрегацію у федеративному навчанні (FL): локальні моделі (CNN-MLP) тренуються на борту, а береговий сервер періодично агрегує оновлення, що знижує вимоги до каналу і підвищує приватність. На наборі NSL-KDD показано приріст точності та стабільності в умовах як IID, так і non-IID розкладок.

У препринті [5] представлено MARINERNet — поєднання 1D-CNN, squeeze-and-excitation та резидуальних з'єднань, що досягає 98,52% (і до 100% у бінарному режимі «anomaly detection») на контрольованих даних. Робота обґрунтовує перевагу глибинних архітектур над «мількими» методами (випадковий ліс, опорні вектори, k-найближчих сусідів) для високовимірних і дисбалансних задач.

У главі [6] систематизовано наслідки атак на радарні мережі та повний цикл їх виявлення: від рсар-дампів і побудови ознак до навчання 1D-CNN для бінарної та багатокласової детекції. Наголошено на важливості ранньої зупинки та налаштування гіперпараметрів для стабільної роботи поблизу реального часу.

У статті [7] запропоновано машинно-навчальну рамку оцінювання кіберризиків, узгоджену з NIST CSF і тріадою «люди–процеси–технології». Для формування рейтингів ризику використано прості та відтворювані моделі (k-найближчих сусідів, факторизація матриць) на прикладі кількох організацій сектора.

Огляд [8] узагальнює ML-підходи до підсилення морської безпеки, акцентуючи на

інтеграційних аспектах (зокрема з блокчейном та IoT), а також на питаннях відповідності нормативам і практичного впровадження. Матеріал слугує «картою технологій» для планування проєктів і пілотів.

Таблиця 1. Аналіз напрямів для планування концептуального кіберзахисту

Напрямок	Джерела	Вплив	Вага	Умови застосування	Переваги	Складності	Вимоги	Обмеження
D1. Антиспуфінг AIS (у реальному часі)	[1], [2]	Дуже високий	20 %	Приймання AIS на борту/березі; бажано поєднання з радаром	Працює без зміни протоколу; онлайн-детекція	Нестача реальних даних; «зсув домену» між симуляцією й реальністю; шум	Ознаки руху та часу (кінематика, TDMA); нейромережі 1D-CNN/GRU	Прогалини покриття AIS; колізії часових інтервалів TDMA
D2. IDS для радарних мереж (глибинні моделі)	[5], [6]	Високий	18 %	Доступ до мереж трафіку радарів (рсар/телеметрія)	Висока точність; робота близька до реального часу	Дисбаланс класів; обчислювальні ресурси	Набори даних; анонімізація; виконання моделі «на борту»	Зміни прошивок/протоколів; періодичне перенавчання
D3. Федеративне IDS для флоту/портів	[4]	Високий	16 %	Багато суден/вузлів; слабкий/нестабільний зв'язок	Приватність (дані не вивозимо); масштабується на флот	Повільні учасники навчання; ризик «отруєння» оновлень	Сервер для агрегування; захищене федеративне навчання	Розрив між лабораторними та польовими метриками
D4. Поєднання AIS і радара (сенсорний ф'южн)	[1], [2], [6]	Високий	14 %	Синхронізація часу; трекінг цілей	Менше хибних спрацювань; стійкість до «гладких» підробок	Калібрування й суміщення даних	Трекінг (Kalman/IMM), зіставлення трас (JPDA); правила для SOC	Метео-завади, тіні; на малих судах може не бути РЛС
D5. Дані, бенчмарки, робастність (OOD/adversarial)	[2], [3], [5], [6]	Середньо-високий	12 %	Політики збору та анонімізації даних	Відтворюваність; порівнювані метрики	Правові питання; вартість розмітки	Каталоги наборів; тести на «вихід за розподіл» і навмисні обмани	Обмежений публічний доступ до судових даних
D6. Розгортання «на борту» та супровід моделей (MLOps)	[1], [4–6]	Середній	10 %	Контейнери; можливість офлайн-роботи	Керована затримка; автономність	Дрейф даних; ризики оновлень «по повітрю»	Телеметрія; безпечні оновлення (криптопідписи)	Енергоспоживання, нагрів; обмеження «заліза»
D7. ML-рамки оцінки ризику (NIST CSF, «люди–процеси–технології»)	[7]	Середній	5 %	Дані з процесів та управління (GRC)	Чітка пріоритизація; підтримка аудиту	Суб'єктивність оцінок	Таксономії ризиків; дашборди	Це не «детектор»; залежить від культури безпеки
D8. Сегментація мереж і політика «нульової довіри»	[3]	Середній	5 %	Інвентаризація активів; політики доступу	Менший радіус поширення атаки			

Результати дослідження. Наведемо цілісну, описову «дорожню карту» впровадження, оформлену у науковому стилі та спираючись на опрацьовані джерела [1–8]. Стратегія побудована поетапно, щоб у мінімальні строки отримати перевірений ефект на борту, а далі — масштабувати рішення без порушення судових процесів і з належним рівнем керованості та аудиту.

На першому етапі (0–3 місяці) доцільно зосередитися на доведенні життєздатності бортових рішень. Практичне ядро становлять алгоритми онлайнового антиспуфінгу AIS (Automatic Identification System) із використанням послідовнісних неймереж (1D-CNN/GRU) та ознак руху/часу (швидкість, курс, інтервали TDMA). Розгортання виконується без змін протоколу, на «edge»-вузлі судна (локальний обчислювальний модуль), із телеметрією затримок, навантаження та якості спрацювань. Щоб мінімізувати операційні ризики, застосовують канарейкові релізи (обмежений запуск нової версії паралельно зі стабільною) та правила безпечного повернення на попередню конфігурацію. Паралельно формують контрольні набори даних для оцінювання стійкості: сценарії з «реалістичним» шумом (наближеним до похибок GPS/середовища) та набори OOD («поза розподілом» навчання), що дозволяє верифікувати робастність моделі до непередбачуваних ситуацій.

Другий етап (3–9 місяців) спрямований на зменшення хибних спрацювань і розширення покриття загроз. Тут до бортового антиспуфінгу додають засоби виявлення вторгнень у радарних мережах на основі глибинних архітектур (1D-CNN із блоками уваги та резидуальними шляхами) у спрощеній, ресурсоощадній конфігурації. Ключовим є сенсорний ф'южн AIS↔Radar: синхронізація часу, трекінг об'єктів фільтром Калмана/ИММ (Interacting Multiple Model), зіставлення трас методом JPDA та ескалація лише за умови узгодженого підтвердження з кількох джерел. Для операторів із кількома судами стартує пілот федеративного навчання (FL): локальне донавчання на борту та періодичне пакетне агрегування оновлень на березі, що зменшує трафік і зберігає приватність. Супровід моделей організовують за принципами CI/CD для ШІ: контроль сумісності версій, підписання артефактів, «синій/зелений» випуск.

Третій етап (6–12 місяців) передбачає гармонізацію процесів і політик, аби зробити безпековий контур керованим і аудитованим. На рівні управління ризиками доцільно застосувати рамку NIST CSF (п'ять функцій: Identify–Protect–Detect–Respond–Recover) у поєднанні з тріадою «люди–процеси–технології», переводячи показники в кількісні рейтинги ризику за допомогою простих, відтворюваних методів (k-найближчих сусідів, факторизація матриць). Паралельно впроваджується сегментація мереж та політика «нульової довіри»: інвентаризація активів, мікросегментація ОТ/IT, контроль доступу на основі сертифікатів (PKI) і мережевих політик (NAC), а також інтеграція з журналюванням подій (SIEM) і напівавтоматизованою реакцією (SOAR). Операційні процедури фіксуються у вигляді RACI-матриць і сценаріїв реагування, а навчальні тривоги дозволяють відпрацювати взаємодію екіпажу й берегових служб безпеки.

Завершальний, безперервний контур - норми якості та стійкості моделей. Тут фіксуються «золоті» бенчмарки, каталогується походження даних (регіон, період, умови збору), задаються обов'язкові випробування на OOD та навмисні обмани (adversarial), а також організовується моніторинг дрейфу розподілів ознак. Оновлення моделей відбувається за «gate-release» під контролем порогів якості: нова версія допускається в експлуатацію лише за доведеної не гіршої (або кращої) продуктивності на стандартних наборах і прийнятної затримки інференсу. Каденс ретренінгу визначається або періодично (раз на 1–3 місяці), або подіями (виявлений дрейф, деградація показників). Такий цикл забезпечує відтворюваність, прозорість і керованість еволюції моделей у реальних морських умовах.

Висновки. Сукупний аналіз джерел [1–8] свідчить, що максимальної практичної віддачі в короткому горизонті можна досягти завдяки онлайновому антиспуфінгу AIS із

реалістичним моделюванням шумів та простими правилами фільтрації, доповненому сенсорним ф'южном із радаром. Глибинні засоби виявлення вторгнень у радарних мережах підвищують повноту виявлення й знижують кількість хибних тривог, а для флотів і портів федеративне навчання дозволяє масштабувати якість детекції без масового переміщення сирих даних. Ефективність і надійність цих рішень істотно залежать від системної роботи з даними: стандартизованих бенчмарків, тестів стійкості (OOD/adversarial) та дисципліни оновлень. Організаційні надбудови — MLOps «на борту», формалізовані ризик-фреймворки та сегментація з політикою «нульової довіри» — трансформують набір технічних рішень у керовану виробничу систему, здатну до аудиту й стійку до еволюції загроз.

Рекомендована послідовність упровадження — від швидких, локальних рішень на борту (AIS-антиспуфінг і супровід моделей) до інтегрованих багатосенсорних і розподілених сценаріїв (радарні IDS, ф'южн, федеративне навчання) з паралельним нарощуванням процесної зрілості. Такий підхід забезпечує збалансоване співвідношення ефекту, ризику й вартості, скорочує час виявлення та реагування на інциденти і створює основу для безперервного покращення кіберзахисту суднових і прибережних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pohontu, A., Ermolai, V., Vertan, C., & Pohontu, A. (2025). Real-time detection of spoofed AIS: Enhancing maritime surveillance against induced noise. *Studies in Informatics and Control*, 34(3), 51–61. <https://doi.org/10.24846/v34i3y202505>
2. Pohontu, A., Vertan, C., Ciocioi, I., & Popa, C. (2025). Detection of spoofed AIS: Simulated tracks vs. real maritime data. *Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control)*, 35(1), 37–50. <https://doi.org/10.33436/v35i1y202503>
3. Miller, T., Durlik, I., Kostecka, E., Sokołowska, S., Kozłowska, P., & Zwolak, R. (2025). Artificial intelligence in maritime cybersecurity: A systematic review of AI-driven threat detection and risk mitigation strategies. *Electronics*, 14, 1844. <https://doi.org/10.3390/electronics14091844>
4. Hossain, M. A., Choupani, R., Hossain, M. D., & Doğdu, E. (2022). Intrusion detection for maritime transportation systems with batch federated aggregation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3142812>
5. Islam, M. S., & Hossain, M. A. (2025, October 8). A novel deep learning approach for intrusion detection in maritime radar networks (Version 1). *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7611107/v1>
6. Hossain, M. A., Hossain, M. D., Khan, L., Ochiai, H., Islam, M. S., & Kadobayashi, Y. (2025). Toward secure marine navigation: A deep learning framework for radar network attack detection. In S. Bauk (Ed.), *Maritime Cybersecurity* (pp. 195–215). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87290-7_11
7. Salako, A. L., Emmanuel, G., & Abubakar, M. A. (2025). Development of a framework for cybersecurity risk assessment in the maritime industry using machine learning techniques. *International Journal of Computer Applications*, 182(33), 37–44.
8. Hossain, M. S., Ahmed, S., Ahmed, S., Rahman, M. A., Islam, M. S., & Rahman, M. M. (2025). Enhancing maritime security through emerging technologies: The role of machine learning in cyber threat detection and mitigation. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(3), 119–132. <https://doi.org/10.47191/ijrpr/v5i3-14.14400>

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ, РОЗВИТКУ ТА УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ДИНАМІЧНИМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ

Прокопчук Ю.О., Пошивалов В.П.

*Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України
(Україна)*

Завдання дослідження. Для вирішення завдання дослідження були проведені наступні роботи:

- дослідження структури моделей функціонування автономних транспортних систем (в різних галузях, зокрема у морській та авіакосмічній);
- розробка моделей функціонування автономних транспортних систем із застосуванням методів штучного інтелекту;
- доопрацювання моделей функціонування та ефективності автономних транспортних систем із застосуванням методів верифікації, самоадаптації та надійного штучного інтелекту;
- аналіз зв'язності та зростання інтелекту у складних динамічних інтелектуальних системах з точки зору самоорганізації, саморефлексії, самодобудови, безперервної взаємної причинності, консенсусного управління, розширених пам'яті та пізнання;
- розробка рекомендацій щодо застосування запропонованої методології керування рухомими об'єктами з використанням методів штучного інтелекту.

Основний матеріал. Встановлено, що доцільно розробляти «Платформу для автономних систем» (приклад НАСА [1]), яка розглядає та інтегрує основні функції для створення інтегрованого рішення щодо автономності. Платформа включає бібліотеки об'єктів та інфраструктуру системних елементів для електричних, механічних, комп'ютерних та комунікаційних програм, які можуть бути використані для широкого кола реалізацій при створенні моделей знань програм багаторазового використання. Підхід НАСА враховано при створенні наших моделей. Розроблено новий підхід до створення моделей функціонування автономних транспортних систем, який засновано на парадигмі граничних узагальнень (ПГУ) та когнітивному підході [2 - 10]. Новий підхід отримав назву «Когнітивні технічні системи» (КТС) [3]. Вивчені властивості КТС. Дослідження в області КТС зосереджені на розробці систем, які здатні автономно сприймати навколишнє середовище і взаємодіяти з ним, як жива істота. Розроблено загальну схему інформаційної моделі розподіленого багатоагентного обчислювального інтелекту автономної транспортної системи на засадах ПГУ [4], [5], [6], [7].

Вдосконалена мова моделювання КТС показала переваги когнітивного підходу у вирішенні завдань забезпечення інформаційно-системної безпеки та ефективності критичних технічних транспортних систем. Інший підхід до керування складністю – це використання ансамблю великих мовних моделей (ВММ).

У результаті робіт наступного етапу досліджень було розроблено принципову загальну схему інформаційної моделі розподіленого багатоагентного обчислювального інтелекту автономної транспортної системи на засадах ПГУ [8]. Гнучкість, яка заявлена транспортними системами наступного покоління, спричиняє глибоку модифікацію самого ядра систем управління. Можливості надзв'язності та управління даними дозволяють створювати більш гнучкі та реактивні системи управління, які засновані на співробітництві автономних та пов'язаних об'єктів у процесі прийняття рішень [7]. Розглянуто особливості холонічної парадигми систем керування та властивості холонів. Розроблено схему стохастичного відмовостійкого управління, зокрема, схему управління сенсорними несправностями та модель розрізнення «континуум задач» [2].

Узагальнена багатомасштабна модель будь якого сигналу на засадах мультіформалізму та досвіду, що дозволяє повністю диверсифікувати шляхи обчислень та

засоби отримання первинної інформації. Розроблено схему застосування морфологічних обчислень для інтеграції та узагальнення первинної інформації. Модель дозволяє реалізувати тотальний аудит інформаційних потоків та втілене прогнозування. Розроблено метод визначення оптимальної кількості вхідних даних для розпізнавання об'єктів чи подій (моделі критичних начерків та «тонкого зрізу» евристик) [2], [9].

Запропонована математична модель розподіленої автономної транспортної системи, в якій окремі компоненти та девайси розглядаються як програмні / «розумні» агенти, що дозволяє розглянути рій компонентів як «мережу агентів можливостей, та агентів потребностей», який самоорганізується при вирішенні будь якого завдання [6]. Архітектура автономної транспортної системи має вигляд «системи систем» з фракталоподібними свойствами структури та інформації, що дозволяє автоматично масштабувати будь які процеси управління та виявляти / нейтралізувати загрози [9].

В результаті виконання наступного етапу досліджень було вдосконалено математичну модель будь якого сигналу, параметру або змінної, яка містить вбудовану верифікацію та само-корекцію [7]. Вдосконалено математичну модель тотального аудиту всіх інформаційних потоків автономної системи на основі моделі цілісності та досвіду. Модель функціонує «на краю хаосу», тобто в стані критичності. Розроблено модель самопородження інформаційних агентів на основі багатоцільового банку знань та досвіду для активного вирішення чисельних задач розрізнення. Запропоновано модель самовдосконалення відкритого простору можливостей для ключової властивості «агентність». Використовується мультифізичність та мультиформалізм.

Суперструктури ПГУ «мережі начерків» та «мережа мереж начерків» відображають базову когнітивну стратегію — категоризацію. Зростання розуміння та зменшення витрат забезпечується не тільки множинною редукцією-масштабуванням начерків, але й посиленням узагальненої заплутаності між мережами начерків (зростає ступінь інтегрованості інформації та операційної замкнутості в межах «мережі мереж начерків») [2]. Мінімальну але достатню для розуміння складності (за Колмогоровим) мають критичні начерки або «тонкий зріз». Активація критичних нарисів вимагає мінімум енергії / ресурсів серед усіх допустимих начерків, що важливо для «крайового інтелекту» в рамках Інтернету «розумних» речей транспортної/автономної системи.

Серед нових підходів, які актуальні або безпосередньо застосовуються до перевірки транспортних систем, з упором на автономність, дедалі більшого значення набувають передові системи машинного навчання та штучного інтелекту. Однак ці системи мають невизначені властивості, що ускладнює верифікацію або робить її навіть неможливою [5]. У більшості інженерних проектів головним завданням є точна специфікація і моделювання архітектури системи та пов'язаних з нею реакцій. Однак для складних систем це не завжди можливо, і використання біоінспірованого дизайну дає змогу імітувати адаптацію біологічних систем до складних, динамічних і швидко мінливих умов.

Проведено аналіз можливості застосування ВММ до виконання окремих задач розрізнення (управління, діагностики, прогнозування) для транспортних прикладень. З аналізу літератури та власних досліджень встановлено, що використання ансамблю ВММ веде до швидкого зростання інтелекту у складних динамічних інтелектуальних системах. Сформована концепція застосування ансамблю ВММ в рамках ПГУ, зокрема, для реалізації конкурентних механізмів дій [9].

Наведемо приклад з аерокосмічної галузі. United Launch Alliance (ULA), спільне підприємство Boeing та Lockheed Martin, в літку 2025 року почала тестувати «RocketGPT» - адаптовану версію чат-бота на основі штучного інтелекту OpenAI, що відповідає вимогам безпеки для оборонних підрядників. Система працює на хмарній платформі Microsoft Azure, яка сертифікована під вимоги безпеки. Розробка RocketGPT велася спільно з OpenAI та PwC. ULA наголошує, що RocketGPT – інструмент асистування, а не заміни персоналу. Людський контроль залишається обов'язковим. Успішний пілотний

проект RocketGPT може призвести до ширшого впровадження в ULA та потенційно ширшого впровадження в оборонному секторі аерокосмічної галузі. Такий підхід може бути застосовано в будь який транспортній галузі, зокрема морської.

RocketGPT - приклад того, як ШІ починає глибоко проникати в керування складними динамічними системами. В подальшому можна очікувати на поліпшення інтеграції з інженерними системами: наприклад, симуляції результатів випробувань; більш суворої сертифікації та аудит ШІ-систем, зокрема в транспортній галузі (що важливо). В ІТМ НАНУ розробляється концепція ПГУ-машини для застосування в транспортних, зокрема космічних технологіях [9].

Слід зазначити, що з точки зору технологічного розвитку, всі світові гіганти ІТ-індустрії націлені на створення AGI (Artificial General Intelligence) в найближчі роки. Створення AGI пов'язують з технологічною сингулярністю, тобто якісно новим рівнем управління великими системами. Проміжним варіантом на сучасному етапі є використання ансамблю ВММ (ансамблю ШІ-асистентів). Загальний висновок такий: розробка систем керування транспортними системами на основі (майбутнього) AGI – це передовий край майбутньої транспортної науки та техніки. Саме тому, важлива ціль розробки ПГУ полягає в розумінні перших принципів та особливостей функціонування «систем с AGI» або «агентивного ШІ», зокрема, морського напрямку [2], [4].

Розглянемо начерк моделі поведінки автономної / когнітивної системи. Оптимальна політика поведінки спонукає автономного / когнітивного агента: збирати інформацію про своє середовище, що відповідає зниженню невизначеності; розширювати простір можливостей у будь-якій ситуації, що підвищує гнучкість; здобувати контроль над своїм середовищем (формувати нішу), що відповідає підвищенню передбачуваності майбутніх станів світу; розширювати каузальну внутрішню Модель Світу з метою формування шаблонів поведінки та пошуку ресурсно-економних описів (критичний стан; обчислення на краю хаосу), що знижує енергозатрати, підвищує швидкість прийняття рішень та передбачуваність майбутніх станів світу; удосконалювати засоби комунікації для формування ефективних команд/симбіозів, що підвищує складність колективно розв'язуваних завдань за одночасного зниження індивідуального (когнітивного) навантаження; вдосконалювати агентність, що передбачає ситуаційну поінформованість, ощадливе спілкування та гнучке/ефективне використання ресурсів (простору можливостей).

Агент повинен знаходити закономірності та працювати на певному рівні грубої зернистості, щоб забезпечити швидкість реакції («виживання»). Груба зернистість може включати різні форми реорганізації даних (ПГУ-концепція «мережі начерків»). Мережа мереж начерків формує цілісну каузальну «Модель Світу», включаючи різні види досвіду, зокрема – просторовий досвід [2].

В якості загальної архітектури агентивного ШІ для КТС запропонована нова концепція «Системи 0/1/2/3» (Поняття «Система як організм»: структура для інтеграції «життєвого досвіду» у проектування та розробку КТС) [10]. Це дозволяє аналізувати і розуміти поведінку складних систем, спрощуючи їх до фундаментальних характеристик (суть «граничного переходу»). Структура Системи 0/1/2/3 представлена як розширення теорії двох процесів, що використовує модель чотирьох процесів пізнання. Розширюючи Систему 1 (швидке, інтуїтивне мислення) та Систему 2 (повільне, обдумане мислення), ПГУ включає Систему 0, яка є до-когнітивними втіленими процесами, та Систему 3, яка охоплює колективний інтелект. Система 0 підкреслює морфологічні обчислення та пасивну динаміку інкубації знань, ілюструючи, як фізичне втілення забезпечує адаптивну поведінку (приклади: формування мереж начерків; «стріла пізнання» в задачах розрізнення).

Ця всеосяжна структура (Система 0/1/2/3) охоплює діапазон від швидких втілених реакцій до колективного інтелекту, що повільно розвивається, пропонуючи єдину перспективу пізнання КТС в різних тимчасових масштабах, рівнях абстракції та формах

гібридного інтелекту. Модель Системи 0/1/2/3 забезпечує нову теоретичну основу для розуміння взаємодії адаптивних та когнітивних процесів, тим самим відкриваючи нові можливості для досліджень у галузі транспортних/автономних технологій, когнітивної науки, ШІ, робототехніки та колективного інтелекту.

ПГУ пропонує **принцип надефективності**, який передбачає, що внутрішній стан КТС самоорганізується до критичного режиму, де досягається оптимальна ефективність вирішення завдань розрізнення, а саме: максимальні адаптивність, гнучкість, предиктивність, швидкість прийняття консенсусного рішення з урахуванням досвіду, економічність, а також антикрихіть.

Рекомендації щодо застосування запропонованої методології керування рухомими/автономними об'єктами з використанням методів штучного інтелекту.

ПГУ формує концептуальну основу методології керування несправностями та попередження загрозливих станів складної техніки. Це дозволяє забезпечити необхідний рівень функціональної відмово-стійкості та катастрофо-стійкості. Для забезпечення гнучкості в умовах обмежених ресурсів та радикальної невизначеності в контур управління або прийняття рішень потрібно включити ансамбль ВММ.

ПГУ описує методологію швидких рішень на основі концепції критичності. Це дозволяє також знаходити економні евристики з максимальним залученням ситуативних можливостей / ресурсів. Логіка миттєвих рішень дуже важлива саме для транспортних / авіакосмічних прикладень. В реальних прикладеннях потрібно забезпечити «критичний стан» системи керування.

ПГУ описує багато масштабний фазовий простір динамічної інтелектуальної системи. Всі дії/сценарії одночасно плануються та реалізуються на всіх масштабних рівнях із залученням відповідних ресурсів. Це дозволяє динамічно об'єднувати стратегічний, тактичний та оперативний рівні управління (динамічна логіка підрулювання). В подальшому необхідно дослідити механізм втіленої взаємодії різних масштабних рівнів.

ПГУ описує як система керування автономної системи постійно само-вдосконалюється. Це означає постійний перегляд (оптимізацію) прийнятих рішень щодо виконання місій як з точки зору цілей, так і з точки зору залучених ресурсів. З урахуванням швидких реакцій на несподівані перепони в виконанні місій це повністю відповідає концепції «агентивного (передового) штучного інтелекту», як найбільш сучасної технології керування автономними системами. В подальшому необхідно дослідити властивості агентивного штучного інтелекту саме в транспортних прикладеннях.

ПГУ дозволяє проводити аналіз зв'язності та зростання інтелекту у складних динамічних інтелектуальних системах з точки зору самоорганізації, саморефлексії, самодобудови, безперервної взаємної причинності, консенсусного управління, розширених пам'яті та пізнання. Це дозволяє впровадити принцип надефективності, який передбачає, що внутрішній стан когнітивних технічних систем самоорганізується до критичного режиму, де досягається оптимальна ефективність вирішення завдань розрізнення. Потрібно в транспортних прикладеннях забезпечити дію принципу надефективності.

ПГУ дозволяє розробити моделі адаптивних процесів та режимів усвідомлення сенсорних сигналів у когнітивних технічних системах. Це дозволяє створити моделі когнітивних сенсорів, що компенсують збої у показах датчиків на основі консенсусних рішень та «штучного конектуму». Потрібно впровадити цю модель в реальні транспортні технології (в усіх середовищах).

Нещодавно Президія Національної академії наук України схвалила «Проект Основ стратегії розвитку і застосування штучного інтелекту в НАНУ». Як ідеться у відповідній постанові, актуальність створення цілісної академічної стратегії зумовлена потребою трансформації НАН України у повноцінного учасника глобального ШІ-простору, здатного не лише генерувати фундаментальні знання, а й продукувати прикладні проривні рішення,

зокрема для потреб безпеки й стійкості держави.

Висновок. Долаючи обмеження існуючих логічних систем, ПГУ розширює можливості автономних (транспортних) систем у міркуваннях та прийнятті рішень в умовах невизначеності, дозволяючи їм діяти більш ефективно та природно. Розроблено моделі адаптивних процесів та режимів усвідомлення сенсорних сигналів у когнітивних технічних системах (Математична модель породження СЕНСУ сигналу / змінної). Створено моделі когнітивних сенсорів, що дозволяють компенсувати збої у показах датчиків на основі «Штучного конектому», що забезпечує відмово / катастрофо-стійкість.

Напрямок «Розробка методології аналізу/синтезу функціонування, розвитку та управління складними динамічними інтелектуальними системами» відповідає «Проекту Основ стратегії розвитку і застосування штучного інтелекту в НАНУ». Також він відповідає сучасній «Таксономії технологій НАСА 2024»: напрямки TX04: Robotic Systems; TX08: Sensors and Instruments; TX10: Autonomous Systems; TX11: Software, Modeling, Simulation, and Information Processing.

ЛІТЕРАТУРА

1. NASA Platform for Autonomous Systems <https://techport.nasa.gov/projects/94884>
2. Прокопчук Ю. О. Інтуїція: досвід формального дослідження. Дніпро: ДВНЗ «ПДАБА», 2022. 724 с.
3. Прокопчук Ю.О., Носов П.С., Зінченко С.М. Концепція «когнітивних технічних систем» як методична основа забезпечення відмовостійкості, катастрофостійкості та антихрупкості. Праці II Міжнародного симпозіуму «Інтелектуальні рішення С: Теорія прийняття рішень» (Київ – Ужгород, Україна, 29 вересня 2021 р.). Київ : КНУ ім.. Т.Г. Шевченка, 2021. С. 135–136.
4. Prokopchuk Y., Nosov P., Ben A. Problems of Meaning, Understanding, Computability and Adaptability in Artificial Cognitive Systems. Proceedings of the 16th Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT-2024)» (May 29-30, 2024, Odesa). Odesa: Kherson State Maritime Academy, 2024. P. 19–25.
5. Прокопчук Ю.О., Пошивалов В.П. Автономні системи: підхід до верифікації на основі концепції «живої розумної системи». Матеріали XIX Наукових Читань «Дніпровська Орбіта —2024». Дніпро, НЦАОМ, 2024. С. 130–136.
6. Prokopchuk Y., Nosov P. Trusted autonomous systems: organization of the «thinking swarm». Proceedings of the International Scientific Conference «Information Technologies and Computer Modelling» (July, 6th to 8th Ivano-Frankivsk). Ivano-Frankivsk: Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2023. P. 104–107.
7. Prokopchuk Y. Designing Ecosystems of Intelligence: Logic of Fast Distinctio. Materials of the 17th international scientific and practical conference «Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT-2025)» (May 28–30, 2025, Odesa). Odesa: Kherson State Maritime Academy, 2025. Pp. 29 – 34.
8. Prokopchuk Y. Combinatorial, Expanding Phase Space of Cognitive Dynamic Systems. Матеріали XXVII Міжнародного науково-практичного семінару «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування» (Кропивницький–Запоріжжя–Київ, 4–6 червня 2025 року).– Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2025. С. 175–183.
9. Прокопчук Ю.О. Відкрита еволюція систем/агентів, що самовдосконалюються: LGR-машина. Матеріали XX Наукових Читань «Дніпровська Орбіта 2025». Дніпро: НЦАОМ, 2025. С. 117–124.
10. Prokopchuk Y. System 0/1/2/3: Debates on the nature of (artificial) general intelligence. Materials of the 11th International Conference Adaptive Technologies in Learning Control. Odesa,: South Ukrainian National Pedagogical University, 2025. P. 14–20.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SENSOR DATA FILTERING METHODS IN SHIP TECHNICAL MONITORING SYSTEMS

A. Romancha, A. Simanenkov
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

Introduction. Modern vessels increasingly rely on data streams generated by numerous sensors — accelerometers, temperature sensors, pressure transducers, current sensors and other instrumentation. These data make it possible to monitor the technical condition of machinery and to detect early signs of faults or degradation. At the same time, operating sensors under harsh marine conditions — characterized by strong vibrations, electromagnetic interference, mounts corrosion, network dropouts — often results in «dirty» signals, i.e., those containing noise, spikes, or missing values. Consequently, the first and critically important step in any monitoring system is the proper processing and cleansing of incoming signals. [1]

A wide variety of approaches exist for filtering and denoising — ranging from simple numerical filters, such as moving-average or median filters, to more advanced methods including the Kalman filter, Savitzky-Golay filter, wavelet-based techniques. For example, in the processing of vibration signals for rotating machinery diagnostics, the Savitzky-Golay filter and wavelet methods are frequently applied due to their ability to preserve informative frequency components during filtering. Applied studies also demonstrate the effectiveness of combining multiple approaches (e.g., wavelet-based techniques together with the Savitzky-Golay filter) to improve signal-to-noise ratio in measurements [1, 2].

The proper choice of a filtering strategy has significant practical implications: excessive smoothing may lead to the loss of early indicators of defects, whereas overly «soft» filtering may leave noise that distorts subsequent stages of analysis. It should also be noted that marine applications often require algorithms capable of real-time operation with minimal latency and adaptability to changing conditions. In such cases, filters like the Kalman filter or its modifications are advantageous due to their ability to account for measurement-error statistics [3].

Relevance of research. The quality of sensor data directly determines the effectiveness of any technical monitoring system, making the problem of signal cleansing critically important for the maritime industry. Reviews of studies on machine and vibration signal analysis show that noisy data significantly reduce diagnostic accuracy, hinder the detection of early fault indicators, may lead to false alarms or erroneous decisions in automated systems. At the same time, marine environments introduce specific noise types — impulsive spikes, vibration-induced distortions, others — that are difficult to mitigate using universal methods [1, 4].

Despite the broad range of available filtering approaches, studies indicate that the quality of cleansing varies significantly depending on the conditions and the type of signal. Most publications describe the application of individual methods; however, comprehensive comparisons of the effectiveness of different strategies for marine sensor data are scarce. This gap is critical both for the development of artificial-intelligence-based algorithms and for the design of reliable monitoring systems that depend on high-quality input data [5, 6].

Problem Statement. The objective of this study is to compare the effectiveness of various sensor data filtering methods used in ship technical monitoring systems. To achieve this, several commonly used filters — moving average, Kalman filter, exponential smoothing, Savitzky-Golay filter, Locally Estimated Scatterplot Smoothing — must be implemented and tested on laboratory and artificially generated signals that simulate typical noise characteristics. The goal is to evaluate accuracy, robustness to various noise types, the ability to preserve key signal features. The resulting findings will form the basis for subsequent validation on real shipborne data, enabling confirmation of the practical applicability of the selected strategies.

Research Results. The conducted study revealed that different filtering methods respond

differently to various noise types and signal shapes. The simplest method — the moving-average filter — smooths random noise effectively but distorts peaks and slows the response to rapid changes, making it more suitable for data with stable dynamics.

The Kalman filter demonstrated a favorable balance between smoothing and preserving signal structure. Its model-based nature allows it to filter not only white noise but also part of impulsive distortions. At the same time, it requires relatively precise parameter tuning, which reduces its universality.

Specific equations for time and measurement updates:

Time update:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = A\hat{\mathbf{x}}_{k-1} + Bu_{k-1}$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q$$

Updated measurements

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + K_k(z_k - H\hat{\mathbf{x}}_k^-)$$

$$P_k = (I - K_k H)P_k^-$$

Exponential smoothing showed itself to be a compromise between simplicity and sensitivity: it reacts to changes more readily than the moving average but filters noise less effectively, particularly non-uniform noise, is therefore better suited for trend-like signals.

The Savitzky-Golay filter effectively preserves local peaks and oscillations, making it suitable for data where fine-scale structure is important. However, it is less robust to impulsive noise and often requires preliminary coarse filtering.

The LOESS (Locally Estimated Scatterplot Smoothing) method provides high-quality smoothing for signals with complex shapes and varying oscillation frequencies, though its computational cost may limit its applicability in real-time systems.

Overall, the most versatile strategies for technical monitoring tasks are the Kalman filter and LOESS. The Savitzky-Golay filter and exponential smoothing are appropriate primarily for specific types of signals, whereas the moving average is suitable only for the simplest conditions (Fig. 1).

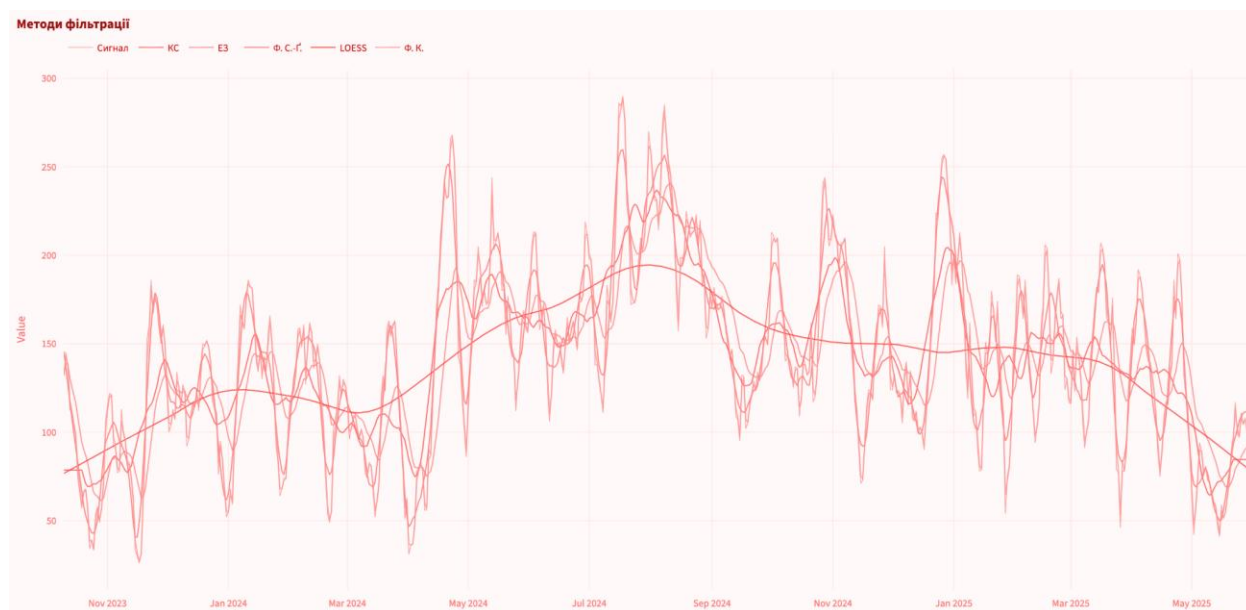


Figure 1 — Comparison of the moving-average filter, exponential smoothing, Savitzky-Golay filter, Kalman filter, LOESS method for smoothing a time series of sunspot counts

Conclusions. The analysis confirms that different methods respond differently to noise, trends and local signal features, therefore, no universal solution exists. The optimal approach depends on the characteristics of the data and on which aspect is prioritized: preservation of fine-scale structure, suppression of random fluctuations, or the ability to operate in real time. Exponential smoothing demonstrated lower accuracy, it performs well with relatively smooth signals but tends to lose fine details. In contrast, the Kalman filter and LOESS better maintain the shape of the curve and provide more consistent results under conditions of non-uniform noise. The Kalman filter effectively suppresses random distortions while preserving the essential structure of the signal. LOESS is more flexible but computationally more demanding, which may limit its use in real-time applications. As a result, the Kalman filter and LOESS provided the best balance between smoothing and accuracy of signal reconstruction, making them promising candidates for further testing on real shipborne data.

REFERENCES

1. Ikram Bagri, Karim Tahir, Aziz Hraiba, Achraf Touil. (2024). Vibration Signal Analysis for Intelligent Rotating Machinery Diagnosis and Prognosis: A Comprehensive Systematic Literature Review. <https://doi.org/10.3390/vibration7040054>
2. Hadi Kordestani, Chunwei Zhang. (2020). Direct Use of the Savitzky-Golay Filter to Develop an Output-Only Trend Line-Based Damage Detection Method. <https://doi.org/10.3390/s20071983>
3. Emine Ayaz. (2015) Detection and identification of mechanical faults by Kalman filtering in electric machines. *Journal of Vibroengineering*, 17(6), 3323-3332. <https://www.extrica.com/article/15961/pdf>
4. Dhiraj Neupane, Mohamed Reda Bouadjenek, Richard Dazeley, Sunil Aryal. (2025). Data-driven machinery fault diagnosis: A comprehensive review. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2025.129588>
5. Xiaolong Zhou, Xiangkun Wang, Haotian Wang, Zhongyuan Xing, Zhilun Yang, Linlin Cao. (2023). Method for Denoising the Vibration Signal of Rotating Machinery through VMD and MODWPT. <https://doi.org/10.3390/s23156904>
6. Min-Ho Park, Siljung Yeo, Jae-Hyuk Choi, Won-Ju Lee. (2024). Review of noise and vibration reduction technologies in marine machinery: Operational insights and engineering experience. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2024.104195>

AI IN SHIPS TECHNICAL INSPECTION: ANALYSIS OF REAL CASES

Samoilov O.O., Samoilov S.O., Seliversova S.R.

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

Introduction. Maritime transport is a cornerstone of global trade; however, the industry continues to face significant operational challenges and risks that necessitate innovative solutions to ensure safety and efficiency [1]. Traditional maintenance, repair, and inspection procedures rely on manual data entry, regular inspections, and analysis of repair lists. These are increasingly less effective for the operation of new, technology-based ships [2]. Against this backdrop, artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) technologies are transforming from experimental concepts into practical tools that are actively implemented in the maritime industry. They offer radically new opportunities to optimize operational processes, increase safety, and overall fleet efficiency [3].

Relevance of research. The focus of this study is determined by the key benefits that AI brings to the field of technical inspection: increased reliability and availability of equipment, reduced unplanned downtime and associated financial losses [4], significantly improved safety of operations for both the crew and the cargo and the environment [1], as well as optimization of the use of material and human resources. [2]

The problem statement is to analyze and systematize real cases of artificial intelligence applications in technical control and monitoring systems of maritime transport.

Research results are the review of real cases of application of AI in technical inspection:

1. *ABS AI Corrosion Detection.* ABS has developed a proof-of-concept for automatic detection of corrosion and coating damage using AI. The solution, based on the Google Cloud platform, uses machine learning (ML) models to analyze 2D images and video files. Algorithms trained on tens of thousands of images can identify, segment, and classify areas of corrosion and coating damage, providing an objective and quantitative assessment of their extent and severity. In real-world tests on two ships, the system analyzed over 600 images of ballast water tanks and demonstrated an impressive accuracy of 98.9% in identifying corrosion. The project has proven that this approach is safer and more effective than traditional methods. [5]

2. *DNV Corrosion.ai.* As part of this initiative, DNV utilizes a deep learning algorithm to examine 2D images and determine the corrosion condition as either «GOOD», «FAIR», or «POOR». This enables effective remote monitoring, with data stored on the DNV Veracity platform. The next step is to incorporate 3D sensors to precisely calculate the dimensions of the defects. [6]

3. *DNV REDHUS.* This research project aims to create a fully automated hull inspection process using autonomous drones. Since GPS signals are not available inside metal tanks, the drones are equipped with LiDAR technology for simultaneous localization and mapping (SLAM). This allows the drone to autonomously build a 3D model of the space and follow a pre-programmed flight path. Built-in cameras collect visual data, which is then analyzed using AI to detect cracks, corrosion, and other defects. Successful tests on board a tanker have confirmed a radical increase in the safety and efficiency of inspections. [7]

4. *Wärtsilä Expert Insight.* This service employs a hybrid approach, combining AI and rule-based diagnostics to monitor engines in real-time. The system detects anomalies, which are then analyzed by Wärtsilä experts, who provide recommendations to the crew. A real-world case study on the tanker Aurora Spirit demonstrated the successful prevention of a turbocharger bearing failure, avoiding a major accident [8]. In a case study with Japanese shipping company MMS Co., Ltd., a Wärtsilä expert, while analyzing data, noticed an anomaly related to the engine lubrication system on one of their LNG tankers. The company was immediately notified, and the

crew received instructions to fix the problem. This prevented severe damage that could have cost «tens or even hundreds of thousands of euros» to repair [9].

5. *Kongsberg Condition Monitoring Solution (K-CMS)*. This is a comprehensive solution for CBM of rotating equipment, integrated into the K-IMS ecosystem. The system uses advanced sensors to measure vibration, acoustics, pressure, temperature, and electrical parameters. The data is analyzed using self-learning algorithms and Big Data, allowing for the calculation of the Remaining Useful Life (RUL) of equipment. The system provides a simple «traffic light» indicator of equipment status, certified by DNV. The system was implemented on the world's largest heavy lift vessel, Allseas' Pioneering Spirit. The innovative Thruster Remaining Useful Life (RUL) service utilizes digital twin technology to accurately predict component failure times, months, or years in advance, enabling optimized repair planning and maintenance. [10]

6. *Hapag-Lloyd: Bearing wear monitoring*. Bearing failures are a common problem. Hapag-Lloyd has installed the OPENpredictor bearing wear monitoring system from Rovsing Dynamics on its ships. The system is designed for online wear monitoring in crossheads, main, and connecting rod bearings of two-stroke diesel engines. The technology is based on measuring the position of the crosshead relative to the engine frame at bottom dead center, which is an accurate indicator of wear. The system detects signs of wear at an early stage, issues a warning, and predicts the time until the required inspection is due. [11]

7. *Hapag-Lloyd Hazardous Materials Monitoring* has implemented an AI system to monitor hazardous materials on its ships in real time. The system utilizes a network of sensors to continuously monitor the conditions of hazardous cargo, including temperature and pressure. AI algorithms analyze data from the sensors to detect anomalies and potential risks. In one instance, the system detected a significant temperature increase in a container of flammable materials. The AI was activated, and the crew was able to take immediate action to prevent a potential fire. [12]

8. *Maersk: Intelligent Reefer Monitoring (Captain Peter)*: Intelligent Reefer Monitoring Maersk, in partnership with TCS, has developed an IoT solution to automate the monitoring of its fleet of over 385,000 refrigerated containers, which carry temperature-sensitive cargo. Previously, monitoring relied on manual methods, which resulted in delays in detecting faults. The new system integrates data from reefer containers in real time, using predictive algorithms to detect problems before they become critical. This has enabled the move from fault detection within 12-24 hours to immediate response. [13]

9. *DNV Veracity* is an example of not a stand-alone AI tool, but a fundamental infrastructure – an independent cloud data platform and industry ecosystem. Its goal is to unite key players in the maritime industry in a single digital space for secure data exchange. The platform aggregates and, most importantly, verifies operational data from thousands of vessels, ensuring the quality and standardization of this data. Veracity is a critical infrastructure that provides the quality data needed to train and operate AI models. [14]

Conclusions. Corrosion is one of the leading causes of structural damage to ships, and traditional inspections are time-consuming and subjective. Computer vision and AI algorithms offer solutions to automate this process. AI is used to prevent incidents involving hazardous goods and to manage the conditions of transporting sensitive goods. Veracity plays a crucial role in the development of AI in the maritime industry, as it addresses one of the primary challenges: accessing high-quality data. The platform serves as a reliable source of extensive, verified, and standardized datasets, which are the necessary "fuel" for training, testing, and operating complex AI models. Veracity creates a marketplace for digital services, where third-party developers can offer their innovative AI solutions using platform data, which stimulates competition and the development of the entire ecosystem. The analysis of real cases confirms that AI and its ecosystem are increasingly practical tools in the technical monitoring of maritime transport. The key benefits of implementing AI are improved safety, cost optimization, and increased fleet efficiency.

REFERENCES

1. Applicability of Artificial Intelligence and Machine Learning in the Maritime Industry and Port Management. URL: <https://aapa.cms-plus.com/files/PPM/Skournik%20Pavel%20PPM%20Paper%20Nov%202023.pdf> (date of access: 4.10.2025)
2. Durlik, I., Miller, T., Kostecka, E., & Tuński, T. (2024). Artificial Intelligence in Maritime Transportation: A Comprehensive Review of Safety and Risk Management Applications. *Applied Sciences*, 14(18), 8420. <https://doi.org/10.3390/app14188420>
3. Putra, A. P., & Riesvicky, H. (2024). Revolutionizing Planned Maintenance in Maritime Industry: Leveraging Artificial Intelligence and Enhanced Stakeholder Communication. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. <https://doi.org/10.46254/ap05.20240236>
<https://ieomsociety.org/proceedings/2024tokyo/236.pdf>
4. Imran, M. M. H., Jamaludin, S., Ayob, A. F. M., Ali, A. A. I. M., Ahmad, S. Z. A. S., Akhbar, M. F. A., Suhrab, M. I. R., Zainal, N., Norzeli, S. M., & Mohamed, S. B. (2023). Application of Artificial Intelligence in Marine Corrosion Prediction and Detection. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2), 256. <https://doi.org/10.3390/jmse11020256>
5. ABS tests AI Corrosion Detection system - Smart Maritime Network URL: <https://smartmaritimenetwork.com/2021/03/12/abs-tests-ai-corrosion-detection-system/>
6. Corrosion inspection solution — DNV URL: 2025, <https://www.dnv.com/research/review-2020/featured-projects/corrosion-ai-inspection/> (date of access: 4.10.2025)
7. REDHUS Research Project — Altera Infrastructure URL: <https://alterainfra.com/articles/redhus-research-project> (date of access: 4.10.2025)
8. Wärtsilä Expert Insight service. URL: <https://www.wartsila.com/marine/services/lifecycle-agreements/expert-insight-service> (date of access: 4.10.2025)
9. 3 unexpected AI-powered strategies for improving your vessel efficiency – Wärtsilä. URL: <https://www.wartsila.com/insights/article/3-unexpected-ai-powered-strategies-for-improving-your-vessel-efficiency> (date of access: 4.10.2025)
10. Condition monitoring — Kongsberg. URL: <https://www.kongsberg.com/contentassets/52a8e12aba9547d09f7d63aa2afb4299/424417a.pdf> (date of access: 4.10.2025)
11. Hapag-Lloyd measures upbearing wear solutions — Riviera. URL: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/hapag-lloyd-measures-upbearing-wear-solutions-52439> (date of access: 4.10.2025)
12. Durlik, I., Miller, T., Kostecka, E., & Tuński, T. (2024). Artificial Intelligence in Maritime Transportation: A Comprehensive Review of Safety and Risk Management Applications. *Applied Sciences*, 14(18), 8420. <https://doi.org/10.3390/app14188420>
13. Maersk partners with TCS for end-to-end IoT-based reefer monitoring solution - Tata Consultancy Services. URL: <https://www.tcs.com/what-we-do/industries/travel-and-logistics/case-study/maersk-cloud-iot-platform-automate-reefer-monitoring-system> (date of access: 4.10.2025)
14. Veracity — a secure platform for efficient industry collaboration — DNV. URL: <https://www.dnv.us/data-platform/> (date of access: 4.10.2025)

ADAPTATION OF THE FORD-FULKERSON ALGORITHM TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF MARITIME TRANSPORTATION UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

*O. Sharko*¹, *D. Stepanchikov*², *A. Sharko*³, *O. Doroshenko*¹

¹*Kherson State Maritime Academy*

(Ukraine)

²*Kherson National Technical University*

(Ukraine)

³*Technical University of Liberec*

(Czech Republic)

Introduction. A practical organizational and methodological task of maritime transport under conditions of uncertainty is to find a method for balancing operational resources. Among the considered types of models, the most acceptable are deterministic models of fuel consumption under situational changes caused by fluctuations in the external environment and stochastic models of choosing the optimal path on short sections of the route under extreme influences of external disturbances and generating scenarios of consumption of operational resources taking into account navigation and meteorological conditions. The closest transport task suitable for this with some improvements and modifications is the Ford-Fulkerson method.

The relevance of research into operational resources in maritime transport is due to their direct impact on the economic efficiency, safety and sustainable development of the transport industry. Research helps to optimize the use of equipment, extend its service life, reduce maintenance and repair costs, and prevent emergency situations.

Problem statement. In the traditional formulation, the Ford-Fulkerson algorithm cannot be used as the main tool for balancing operational resources when passing route sections with unpredictable environmental influences. However, in the context of transport systems analysis, it can be adapted and used as an auxiliary mechanism for distributing operational resources through a series of static states with the algorithm running at each time state. The research task is to build a system of invariant interactions of operational resources based on the Ford-Fulkerson algorithm with situational changes in their use.

Research results. In application to maritime transport, it is proposed to consider the speed of transition as a flow, i.e. the intensity of use of operational resources. The nodes are considered to be operational factors such as fuel, load on the main engine, navigation and meteorological conditions. The source of the graph is the port of departure, the drain is the port of destination, the throughput of arcs is the permissible range of operational parameters for trouble-free operation of maritime transport, given in relative units, the network is a set of operational parameters and external constraints. The algorithm redistributes operational resources between sections of the path in order to preserve the total flow and make it maximum. The algorithm redistributes operational resources between route sections to maintain the overall flow and maximize it. The algorithm results in a visual interpretation of the assessment and redistribution of operational resources of maritime transport on transport sections under unpredictable changes in the external environment.

An example of constructing a directed graph of initialization of a transport problem through operational resources is presented in Fig. 1(a), the result of constructing an optimal system of invariant interactions of operational resources based on the Ford-Fulkerson algorithm is in Fig. 1(b).

To calculate the maximum flow in the transport network $G(V, E)$ by updating the flow attribute for each edge $(u, v) \in E$ together with the transport network, bandwidths are set $c(u, v)$ ($c(u, v) = 0$, if $(u, v) \notin E$) [1,2].

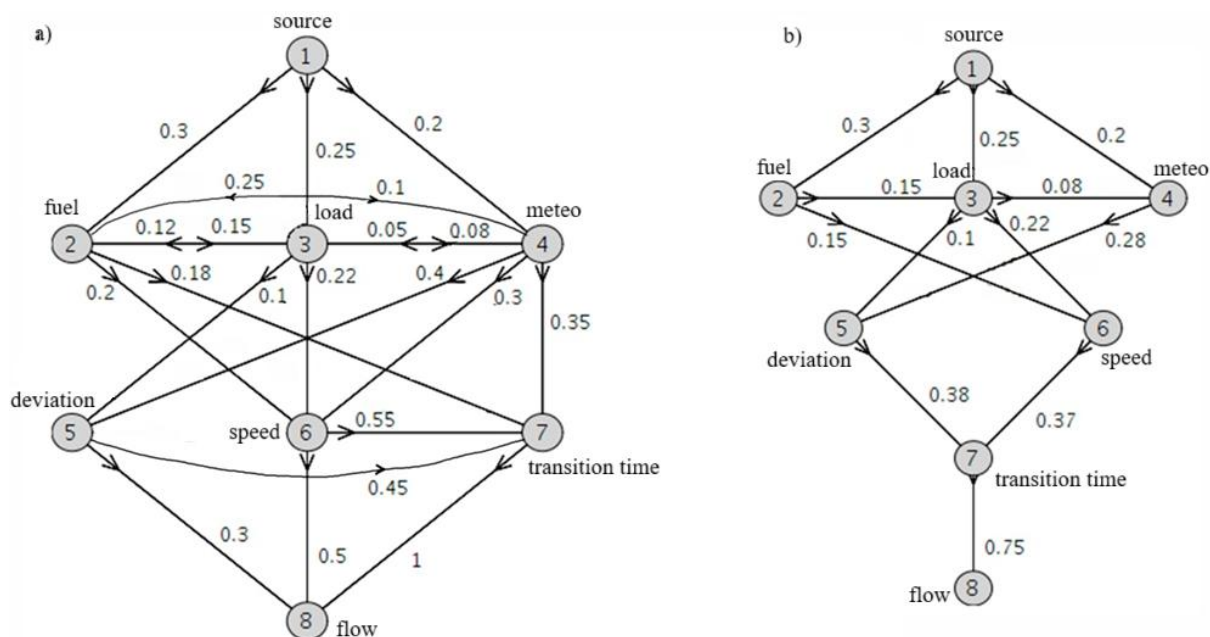


Figure 1 — Directed initialization graph of the transport problem through operational resources (a), optimal system of invariant interactions of operational resources obtained based on the Ford-Fulkerson algorithm (b)

The residual capacity is calculated by the formula [1,3]

$$C_f(u, v) = \begin{cases} c(u, v) - f(u, v), & \text{if } (u, v) \in E \\ f(v, u), & \text{if } (v, u) \in E \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

Expression $c(u, v)$ is a time variable that stores the residual path capacity P .

Thus, in the network $G(v, s, t, c)$ with a given flow f there are regularities [3]:

- there is such a cut (S, T) what $|f| = C(S, T)$;
- in the residual network G_f there is no complementary path.

The magnitude of the maximum flow is equal to the throughput of the minimum cut.

Formalization of iteration $f(u, v) = 0$ - formula for all edges (u, v)

On the way P with S in t of the residual network G_f value $G_f(u, v) > 0$ for all edges $(u, v) \in P$. Need to find

$$G_f(P) = \min\{G_f(u, v) | (u, v) \in P\} \quad (2)$$

For each edge

$$\begin{aligned} f(u, v) &= f(u, v) + G_f(P) \\ f(v, u) &= f(v, u) - G_f(P) \\ G_f(u, v) &= C(u, v) - f(u, v) \\ G_f(u, v) &= f(u, v) \end{aligned} \quad (3)$$

The method of finding the maximum flow in the network continues repeatedly until there is an increase in the flow along the paths from the source to the drain until such paths are exhausted.

Effective organization of logistics systems of transport transportation is ensured by the method of estimating the maximum throughput capacity of the transport network. Solving problems related to the maximum throughput capacity of the transport network and predicting the interference of weather conditions in the process of cargo transportation is carried out on the basis of the theory of controlled systems and methods of integral linear programming of cargo

flow distribution, selection of favorable transportation routes based on the Ford–Fulkerson theory of maximum flow and minimum cut.

The algorithm finds the maximum flow in the network. In this case, its value is equal to the capacity of the minimum section. The algorithm iteratively finds paths with available capacity and increases the flow until the maximum is reached.

The improvement of the maritime transport logistics model taking into account the Ford–Fulkerson algorithm consists in its interpretation. The interpretation of the results of using the classical Ford–Fulkerson algorithm, in addition to finding the maximum flow under given constraints through the network, bypasses the question:

- what types of operational resources are used in building the management model;
- what is the volume of resource components used;
- what is the contribution of each of these resources to the overall result;
- what is the management structure using the adaptive Ford–Fulkerson algorithm.

The interpreted flow structure used should answer the questions of quantitative information support of the management process:

- what amount of fuel is required to pass difficult sections of the route with extreme environmental impact;
- what is the load on the main engine;
- what is the extent of deterioration in weather conditions;
- what is the magnitude of deviations from the route;
- what is the time to pass a difficult section of the route.

Based on this, it is necessary to apply the improved Ford–Fulkerson algorithm step by step, iteratively adding resources. In this case, there is a sequential iterative saturation of the arcs with resources and the network turns into a multi-level resource system.

Conclusions. The scientific justification for choosing the method of non-standard use of the Ford–Fulkerson algorithm in maritime logistics is presented, in which the flow is the efficiency of using the vessel's operational resources, and the nodes are operational factors: fuel, load on the main engine, weather, speed, time, deviation from the course.

The improvement of the maritime transport model consists of its adaptation to changes in the external environment and ensuring the possibility of consistent use of different types of resources to maintain their overall balance during transportation.

REFERENCES

1. Стьопкін А.В., Пластун Д.А. (2016) Алгоритм Форда-Фалкерсона. Інформатика та методика її викладання, №6, С.84–91. <http://ddpu.edu.ua:8083/ddpu/handle/123456789/374>
2. Зимич А. П., Ніколюк П. К. (2023) Алгоритм Форда-Фалкерсона. Знаходження максимальних потоків в графах. Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладні інформаційні технології»: збірник наукових праць – Вінниця, ДонНУ імені Василя Стуса, 19 травня 2023, С.124–127
3. Backman, Spencer; Huynh, Tony (2018). Transfinite Ford–Fulkerson on a finite network. *Computability*. 7 (4): 341–347. DOI:10.3233/COM-180082

ОПТИМІЗОВАНИЙ СІТКОВИЙ АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ МОРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ У НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ З ОБМЕЖЕНИМИ РЕСУРСАМИ

Шатна А.В., Шатний С.В., Бойчура М.В., Сидор А.І., Реут Д.Т.

*Національний університет водного господарства та природокористування
(Україна)*

Вступ. У навігаційних буях встановлюють камери, які можуть використовуватись для систем запобігання зіткненням на основі аналізу відеозображень. Проте більшість існуючих алгоритмів обробки зображень орієнтовані на наземні системи відеоспостереження та потребують значних обчислювальних ресурсів. Для морських навігаційних засобів, що працюють автономно від батарей, ключовим є енергоефективність і швидкість обробки. У дослідженні запропоновано сітковий алгоритм виявлення морських об'єктів, який кластеризує пікселі за відтінками сірого, що дає змогу суттєво зменшити обчислювальні витрати. Моделювання показало, що запропонований підхід забезпечує до п'ятиразового прискорення обробки зображень і підвищує точність виявлення об'єктів у морському середовищі.

Розвиток сучасних ІТ-технологій сприяв автоматизації збору, аналізу та управління даними у різних галузях промисловості, що дало поштовх до створення інтелектуальних систем. Морський транспорт, який забезпечує понад 80% світової торгівлі, також активно інтегрує штучний інтелект у процеси автономного управління. Навігаційні буї, що традиційно виконували роль орієнтирів, нині оснащуються цифровими модулями для моніторингу погоди, стану моря та передавання інформації про безпеку судноплавства [1].

Попри технологічний прогрес, залишається проблема зіткнень навігаційних засобів, часто спричинених незаконними або незареєстрованими риболовецькими суднами, які вимикають системи автоматичної ідентифікації (AIS). Це створює ризики пошкодження навігаційної інфраструктури та значні фінансові втрати. Одним із перспективних рішень є встановлення камер на буях для візуального моніторингу морського середовища. Використання алгоритмів штучного інтелекту та методів обробки зображень дозволяє своєчасно виявляти об'єкти, оцінювати ситуації до і після аварій та запобігати небезпечним інцидентам.

Сучасні інформаційні технології активно впроваджуються в різні галузі, зокрема у морську, де вони забезпечують автоматичний збір, аналіз і передавання даних. Морська навігація дедалі більше інтегрує цифрові технології та штучний інтелект, що сприяє розвитку автономного морського транспорту, який забезпечує більшу частку світової торгівлі. Цифрові навігаційні засоби сьогодні не лише вказують маршрути, а й збирають дані про стан моря, погоду, рух суден і екологічні показники, що дозволяє підвищити безпеку та ефективність судноплавства.

Однак аварії навігаційних буїв і засобів трапляються досить часто, особливо через діяльність незаконних або незареєстрованих рибальських суден, які вимикають системи автоматичної ідентифікації (AIS) [2], уникаючи виявлення. Оскільки ремонт таких об'єктів є дорогим і тривалим процесом, виникає потреба у створенні систем раннього виявлення потенційних загроз. Одним із перспективних рішень є використання камер, встановлених на навігаційних буях, для безперервного моніторингу морського простору. Завдяки розвитку алгоритмів обробки зображень та технологій штучного інтелекту такі системи можуть ідентифікувати об'єкти, аналізувати зміни в середовищі та запобігати аваріям.

Попри наявність альтернативних методів, таких як радар, інфрачервоні датчики чи AIS, саме камери забезпечують найбільш інформативні та візуально достовірні дані при відносно низькій вартості. Ефективність алгоритмів виявлення об'єктів, однак, залежить

від освітлення та погодних умов, тому системи обробки зображень часто адаптуються до певних сценаріїв — дощу, туману, низької видимості чи нічного часу. У цьому дослідженні розглядається обробка зображень у межах денного освітлення (від сходу до заходу сонця) для підвищення точності виявлення морських об'єктів і запобігання аваріям навігаційних засобів.

Метою запропонованого алгоритму GLC є зменшення обсягу обчислень під час виявлення морських об'єктів. Запропонований підхід спрямований на спрощення процесів аналізу зображень за умови можливості визначення області інтересу (ROI) [3]. Алгоритм складається з кількох основних етапів: кластеризації пікселів і перетворення зображення у відтінки сірого, спрощення процедури виявлення ліній, а також визначення об'єкта відносно опорної лінії. У результаті GLC формує інформацію про область інтересу, що забезпечує ефективне виявлення з мінімальними обчислювальними витратами.

У більшості традиційних алгоритмів обробки зображень найбільше навантаження створює необхідність зчитування значення кожного окремого пікселя. Для зменшення цього обсягу GLC виконує кластеризацію пікселів, тобто перетворює піксельне зображення у сіткову структуру. Такий підхід зменшує кількість операцій зчитування — замість аналізу мільйонів пікселів обробляються лише окремі сіткові комірки. Це дозволяє підвищити швидкість виявлення об'єктів, одночасно фільтруючи незначні шуми у фоні.

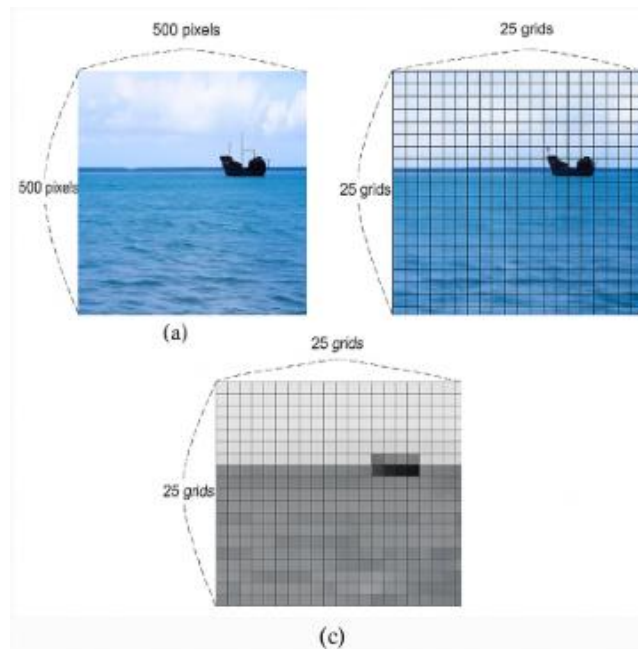


Рисунок 1 — Сітки за допомогою кластеризації пікселів та зображення, перетворене у градації сірого: (а) зображення з камери з зміненим розміром 500×500 ; (б) зображення після кластеризації 25×25 пікселів; (с) зображення, перетворене у градації сірого

Після отримання зображення з камери алгоритм змінює його розмір до 500×500 пікселів, а потім виконує кластеризацію у вигляді сітки 25×25 . Така конфігурація забезпечує оптимальний баланс між точністю виявлення та кількістю обчислень, що підтверджено експериментальними дослідженнями, наведеними далі [4].

Експериментальне середовище. Дослідження проводилися на платформі Raspberry Pi 4 під керуванням ОС Raspbian Buster з використанням бібліотеки OpenCV 4.1. Тестовий набір складався зі 100 зображень (65 із об'єктом і 35 без нього) з роздільною здатністю 500×500 пікселів.

Методика визначення результатів. Для кожного зображення алгоритм GLC (Grid Line Clustering) визначав лінію горизонту та наявність об'єкта. Результати

класифікувалися як успішні або невдалі залежно від точності виявлення. Помилки найчастіше виникали через світлові відблиски, віддзеркалення або незначні шуми на поверхні води.

Оцінка ефективності GLC. Було проведено аналіз впливу кількості сіток на точність та швидкість роботи алгоритму. Менша кількість сіток (наприклад, 5×5) призводила до зниження точності через розмиті межі зон, тоді як занадто велика кількість сіток спричиняла підвищення рівня шумів. Найкращі результати виявлення досягалися при сітці 25×25 . GLC стабільно визначав горизонт незалежно від кількості сіток, демонструючи надійність методу.

Таблиця 1. Порівняння ефективності виявлення об'єктів

	65 зображень з об'єктом		35 зображень без об'єктів	
	ГЗК	CE + HT + Otsu		CE + HT + Otsu
Успішне виявлення горизонту	65 зображень	25 зображень	28 зображень	18 зображень
Успішне виявлення об'єкта	ГЗК	ККЛ	ГЗК	ККЛ
	57 зображень	18 зображень	27 зображень	11 зображень

Порівняння з іншими алгоритмами. Ефективність GLC порівнювалася з методами «Canny + Хафа» та «Canny + Хафа + Otsu». Запропонований алгоритм показав до 2,5 раза вищу точність виявлення об'єктів і приблизно у п'ять разів більшу швидкість обробки кадрів. Алгоритми на основі Хафа демонстрували високу точність ліній, проте поступалися за швидкістю через більшу обчислювальну складність.

Порівняння виявлення об'єктів. GLC також порівнювався з методом CCL (Connected Component Labeling), який використовує кольорове маркування пікселів. Незважаючи на те, що CCL може ефективно виділяти об'єкти, він вимагає додаткового етапу визначення горизонту, що збільшує час обробки. У середньому GLC виявляв об'єкти у 2,7 раза швидше, забезпечуючи при цьому співставну або кращу точність [5].

Таблиця 2 — Порівняння результатів швидкості виявлення об'єктів

Алгоритм	Канні + Хаф + Оцу + CCL	ГЗК (сітки 25×25)
Час	71 мс (47 мс: виявлення лінії, 24 мс: виявлення об'єкта)	9 мс (розпізнавання ліній та об'єктів)

Висновки. З розвитком цифрових технологій навігаційні засоби перетворилися з простих показників у багатофункціональні системи. Проте будь-які збої чи пошкодження таких пристроїв призводять до значних фінансових і часових витрат, оскільки для їх усунення необхідна участь людини на місці події, а самі буї є дорогими у виробництві. Для мінімізації ризику аварій можна застосовувати методи комп'ютерного зору, однак більшість наявних алгоритмів спочатку створювались для наземних умов і не враховують постійно змінного фону морського середовища. Крім того, наземні алгоритми орієнтовані переважно на високу точність і виконують значну кількість обчислень, що робить їх енергозатратними. У морських системах, де живлення часто забезпечується від автономних джерел, енергоефективність стає критично важливою.

Особливість зображень морської поверхні полягає в тому, що вони здебільшого містять лише горизонт і один об'єкт, тому для їх аналізу не потрібні складні високоточні моделі. На основі цього запропоновано новий алгоритм GLC (Grid Line Clustering), оптимізований для умов обмежених ресурсів. Його головна ідея полягає у поділі зображення на сітку та обробці даних у межах великих кластерів пікселів, що значно зменшує обсяг обчислень і споживання енергії. Алгоритм працює з відтінками сірого,

визначає лінію горизонту шляхом аналізу змін яскравості між рядками, а далі шукає об'єкти поблизу виявленої лінії. Якщо контраст перевищує заданий поріг, координати передаються до модулів штучного інтелекту для подальшої обробки.

Моделювання з використанням 100 типових морських зображень підтвердило ефективність GLC. Алгоритм продемонстрував у п'ять разів швидшу обробку кадрів під час визначення горизонту та до 2,5 раза вищу швидкість виявлення об'єктів порівняно з традиційними методами.

Основні результати дослідження: запропоновано енергоефективний алгоритм GLC для виявлення морських об'єктів; сітковий принцип обробки дозволяє зменшити вплив рухомого фону та шумів; порівняння з класичними методами показало, що GLC істотно скорочує час обробки без втрати точності; алгоритм може бути використаний у складі навігаційних систем для реалізації довготривалого автоматизованого контролю та запобігання аварій.

Таким чином, GLC спрощує процес виявлення об'єктів у морському середовищі, забезпечує швидкість, стабільність і низьке енергоспоживання, що робить його перспективним рішенням для автономних навігаційних пристроїв і систем моніторингу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kiritat, A.; Krejcar, O.; Kertesz, A.; Tasgetiren, M.F. Future trends and current state of smart city concepts: A survey. *IEEE Access* 2020, 8, 86448–86467. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992441>
2. Forti, N.; d'Afflisio, E.; Braca, P.; Millefiori, L.M.; Carniel, S.; Willett, P. Next-Gen Intelligent Situational Awareness Systems for Maritime Surveillance and Autonomous Navigation. *Proc. IEEE* 2022, 110, 1532–1537. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2022.3194445>
3. Babić, A.; Oreč, M.; Mišković, N. Developing the concept of multifunctional smart buoys. In *Proceedings of the OCEANS 2021: San Diego—Porto, San Diego, CA, USA*, 20–23 September 2021. <https://doi.org/10.23919/OCEANS44145.2021.9705916>
4. Ng, Y.; Pereira, J.M.; Garagic, D.; Tarokh, V. Robust Marine Buoy Placement for Ship Detection Using Dropout K-Means. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Barcelona, Spain, 4–8 May 2020. <https://doi.org/10.1109/ICASSP40776.2020.9053064>
5. Raymond, B.; Christopher, H.; Robert, C.; Helmut, P. Counter-vandalism at NDBC. In *Proceedings of the 2014 Oceans—St. John's, St. John's, NL, Canada*, 14–19 September 2014. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2014.7003182>

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ANALYTICAL SYSTEM FOR THE LEVEL OF CYBERSECURITY IN THE MARITIME SECTOR

M. Shumskyi, P. Nosov

*Odessa National Maritime University
(Ukraine)*

Introduction. Maritime transport still plays the leading role in international trade: it accounts for 70–90% of the global volume of trade in goods for various purposes [1]. To increase efficiency, ensure safety, and maintain uninterrupted navigation, digital transformation is being actively implemented in this sector. In 2024 alone, the market volume of digital transformation of maritime transportation is estimated at 18.7 billion US dollars and is projected to increase to 47.3 billion already in 2034 [2]. One example of digitization is the introduction, from 1 January 2024, of the mandatory use of the single centralized electronic platform “Maritime Single Window” (MSW), which is used for the collection and exchange of information with ships when they call at ports [3].

At the same time as the introduction of information and intelligent tools, the problem arises of an increase in the number of cyberattacks on the maritime sector. ICS Maritime Barometer reports indicate that for several years cyberattacks have been among the most significant threats alongside political and physical ones [4]. Moreover, the risks of cyberattacks increase every year. According to the report *Cyber Trends and Insights in the Marine Environment*, from 2022 to 2023 alone the number of ransomware incidents in the USA increased by 80% [5]. The damage caused by attacks can reach hundreds of millions of dollars. For example, in 2017 one of the largest attacks on the maritime industry was carried out using the NotPetya malware. The company Maersk, which specializes in maritime cargo transportation, incurred losses of 250–300 million dollars [6].

Therefore, there arises a need to analyze the dynamics of cyberattacks, study their characteristics, and determine measures that will effectively counteract the threats.

Relevance of the research. The relevance of the research follows from the active introduction of digital technologies in the maritime sector, which automatically increases the cyber-dependence of the maritime sector [7, 8].

Thus, information security is critical for navigation: digital systems control navigation, port logistics, and supply chains, and cyberattacks are capable of paralyzing operations, causing disruption of temperature regimes and losses of perishable cargoes, triggering a “domino effect” across the entire sector [9, 10].

Official ISPS/SOLAS approaches already classify cybercrimes as key threats alongside piracy and terrorism, which underscores the need for systematic protection of the information contours of fleets and ports. Modern risk management must take into account the ergatic nature of maritime systems—the interaction of humans, automation, and organization—and rely on integrated models of resilience and decision support [11].

Although companies already implement means to counter attacks, this requires large time expenditures, the construction of complex infrastructure, and the replacement of old systems with newer ones. Precisely to accelerate and optimize costs, there arises a need to study data on cyber incidents from both closed and open sources, for example, such as the Maritime Cyber Attack Database (MCAD) from NHL Stenden University of Applied Sciences [12].

Attention should also be paid to the comprehensive interaction of cyber defense and intelligent ship control systems [13].

Problem Statement. The task consists in creating a parser in the Python programming language to collect data on recorded cyberattacks based on the MCAD dataset. The obtained data are to be analyzed for the dynamics of cyberattack cases by years, the methods used by hackers, which impact zones they are directed at, and from which countries they are most frequently directed. Additionally, to study the prevention and counteraction methods employed by

companies.

Research Results. For the study of the MCAD data, a parser was created in the Python programming language to record all cyber incidents in CSV format, which is convenient for further analysis. After obtaining the data, they were normalized and charts were created, which we will consider further. The general scheme of the created program has the following appearance.



Figure 1 — Block diagram of the program

For the study, several charts were created. And to begin with, we will examine the

number of cyberattacks for each year. We have the following:

Cyberattack Trends by Year

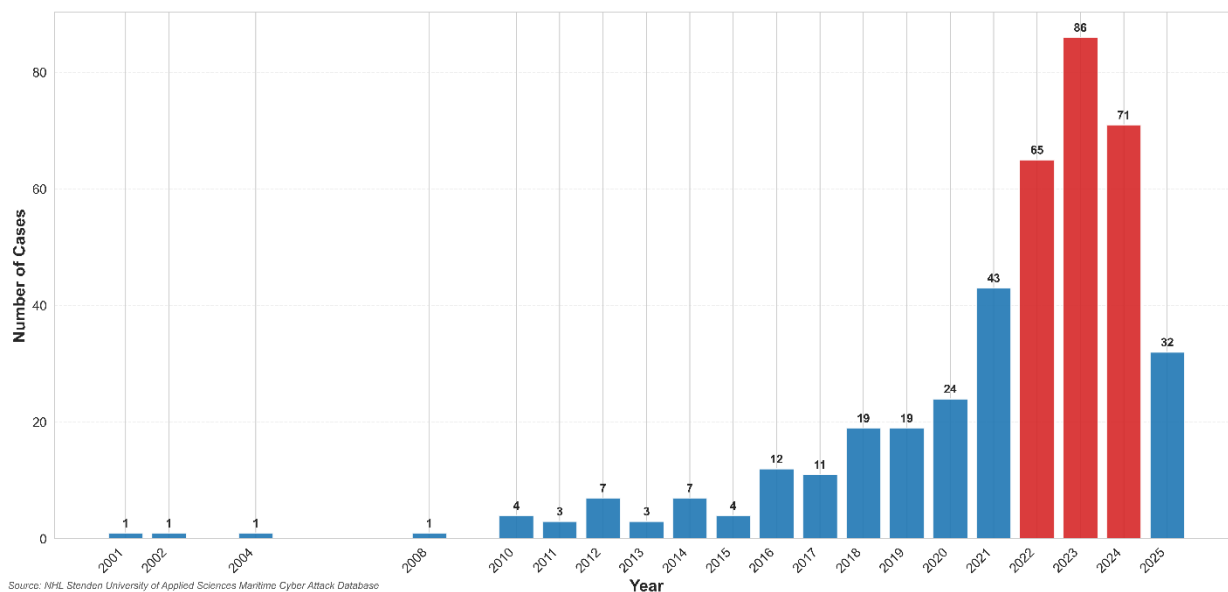


Figure 2 — Number of cyberattacks by years

In the obtained chart, the top three years with the largest number of incidents are marked in red: 2022, 2023, and 2024. The number of cyberattacks began to increase sharply from 2017 and reached its peak in 2023 (86 incidents). Although in the following years the number of recorded cyberattacks is lower, it still remains at a high level. The obtained data confirm that there is a great threat to the maritime industry.

Now it is necessary to answer the question: which parts of the maritime sector suffer the most attacks? For the analysis we have the following chart.

Distribution of Attacks by Impact Area

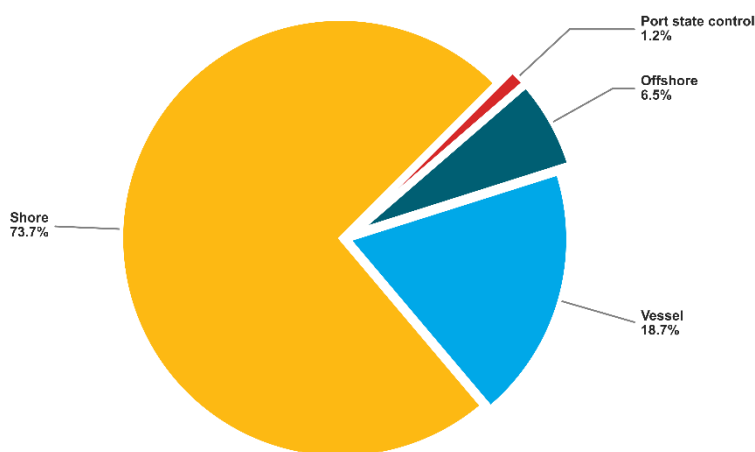


Figure 3 — Cyberattack zones

From the pie chart it is immediately visible that almost 75% of the attacks were directed at the shore zone (Shore), that is, at ports or other maritime infrastructure on land. In second place are attacks on vessels (Vessel), and the remaining share falls on offshore (Offshore) and port state control (Port state control). The main attacks are directed at shore infrastructure due to

the concentration of such critical systems as: logistics networks, cargo management systems, financial operations, etc. Although attacks on vessels are much fewer, they still remain dangerous.

Next, it is necessary to determine which cyberattack methods are the most widespread among criminals.

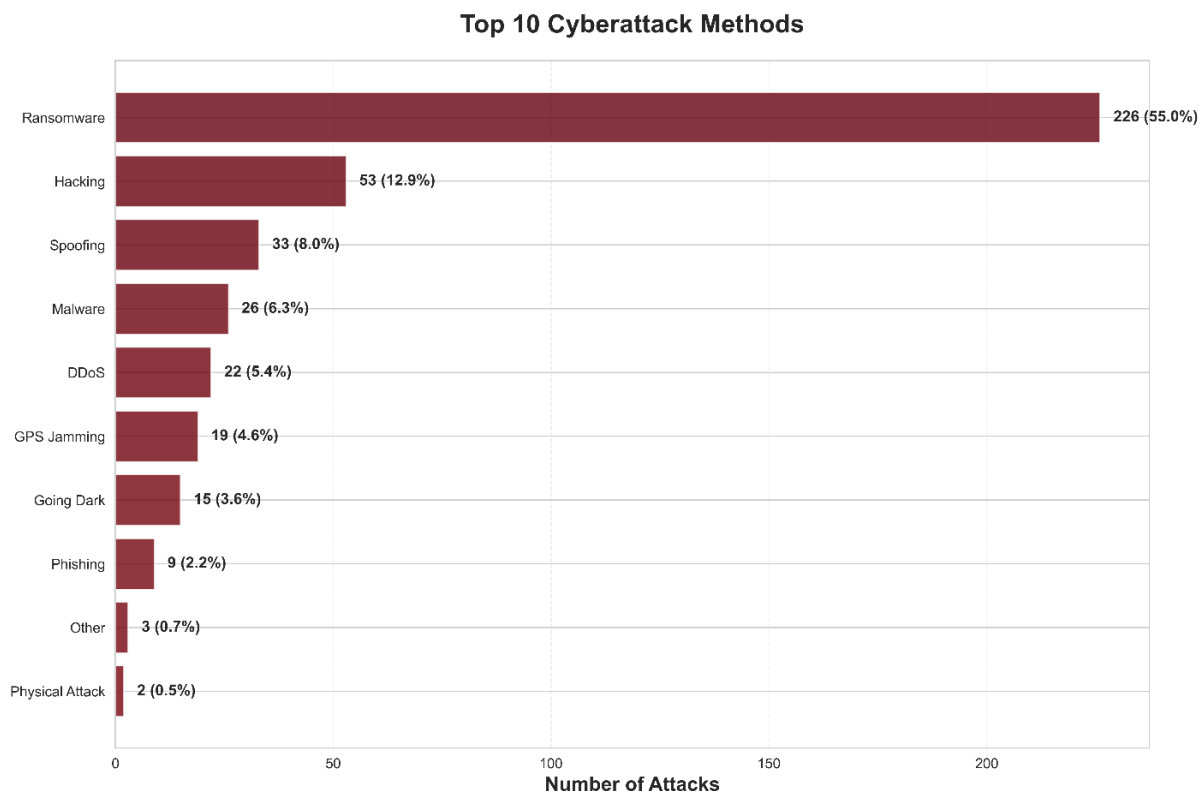


Figure 4 — Top 10 cyberattack methods

From the chart it is visible that in most cases the attackers used ransomware. Next, hacking and spoofing enter the top three. Despite the small percentage of other methods, they can also cause great damage. For example, in the first quarter of 2025 in the Baltic Sea and the Gulf of Finland, 1,225 vessels were affected by GPS jamming, and already in the second quarter this number increased to 5,800.

Thus, the data obtained during the analysis prove that, first, cyberattacks are a real and very dangerous threat to the maritime sector. Second, attackers use different methods in order to inflict maximum damage. Therefore, the question arises of studying the methods that help to counter cyber incidents preventively and minimize their harm.

The protection of critical infrastructure requires the implementation of comprehensive countermeasures [14]. The main ones are:

1. Network segmentation – this is the division of a vessel's systems into isolated elements in order to localize attacks and prevent their spread.
2. Malware protection – installation and configuration of programs on all possible critical systems. If it is not possible to install them, for example, as for the ECDIS navigation system, then other measures must be taken (segmentation, access restriction).
3. Control of remote access – the use of multi-factor authentication, VPN connections, etc.
4. Regular updating of systems, especially after vulnerabilities are found in software.

Conclusions. A program has been developed by means of which the collection of data from MCAD, normalization, and obtaining of charts—on the basis of which analysis can be

carried out—are automated. The number of cyber incidents is constantly increasing; therefore, the automated tool helps to obtain up-to-date data without manual intervention. In the future, the program can be expanded to obtain records from different sources and automatically create charts for them. It should also be emphasized that the proposed approaches can be used in the training of specialists of the corresponding field, as well as in the creation of automated systems of an educational profile [15–17]. In addition, one of the reasons for the spread of cyber incidents is the negative human factor of ship navigators [18].

We identified the most widespread methods of cyberattacks: Ransomware and Hacking. We learned that it is precisely the shore infrastructure that is subjected to the majority of attacks. The basic existing countermeasures to protect maritime infrastructure are proposed. The dynamics of cyberattacks prove that cybersecurity in the maritime sector must be a priority direction of development for maritime companies.

REFERENCES

1. Fahmiasari H. Accelerating digitalization: critical actions to strengthen the resilience of the maritime supply chain. URL: <https://www.unescap.org/sites/default/d8files/event-documents/00HafidaFahmiasari.pdf>.
2. Sawal J. Digital transformation of maritime freight market. URL: <https://www.emergenresearch.com/industry-report/digital-transformation-of-maritime-freight-market>.
3. Maritime single window. *International Maritime Organization*. URL: <https://www.imo.org/en/ourwork/facilitation/pages/maritimesinglewindow-default.aspx>.
4. ICS maritime barometer report 2024–2025. *International Chamber of Shipping*. URL: <https://www.ics-shipping.org/resource/ics-maritime-barometer-report-2024-2025/>.
5. 2023 cyber trends and insights in the marine environment report. *United States Coast Guard News*. URL: <https://www.news.uscg.mil/maritime-commons/Article/3750095/2023-cyber-trends-and-insights-in-the-marine-environment-report/>.
6. Throwback attack: how notpetya ransomware took down maersk. *Control Engineering*. URL: <https://www.controleng.com/throwback-attack-how-notpetya-accidentally-took-down-global-shipping-giant-maersk/>.
7. Melnyk, O.; Drozdov, O.; Kuznichenko, S. Cybersecurity in Maritime Transport: An International Perspective on Regulatory Frameworks and Countermeasures. *Lex Portus* 2025, 11(1), 7–19. DOI: 10.62821/lp11101.
8. Melnyk, O.; Kuznichenko, S.; Onishchenko, O. Impact of AIS Manipulation on Shipping Safety and Strategic Countermeasures. *Lex Portus* 2024, 10(4), 31–39. DOI: 10.62821/lp10403.
9. Lapkina, I.O.; Malaksiano, M.O. Modelling and Optimization of Perishable Cargo Delivery System through Odesa Port. *Actual Problems of Economics* 2016, 177(3), 353–365.
10. Melnyk, O.; Onyshchenko, S.; Koryakin, K. Nature and Origin of Major Security Concerns and Potential Threats to the Shipping Industry. *Sci. J. Silesian Univ. Technol. Ser. Transp.* 2021, 113, 145–153. <https://doi.org/10.20858/SJSUTST.2021.113.11>
11. Melnyk, Oleksiy & Onyshchenko, Svitlana & Onishchenko, Oleg & Prabowo, Aditya & Jurković, Martin & Sagaydak, Oleksandr & Pavlova, Nataliia. (2025). Systematic Approach to Ergatic Systems Risk Management in Maritime Operations. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*. 15. 22. <https://doi.org/10.54560/jracr.v15i3.633>.
12. MCAD maritime cyber attack database. URL: <https://maritimecybersecurity.nl/listview>.
13. Zinchenko, S., Kobets, V., Tovstokoryi, O., Nosov, P., & Popovych, I. (2023). Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 3403, Paper 44, pp. 582–594). CEUR-WS.org.
14. Maritime Cybersecurity — best practices for vessels. *Finnish Shipowners'*

Association. URL: <https://shipowners.fi/wp-content/uploads/2021/09/Maritime-Cyber-Security---Best-Practices-for-Vessels.pdf>.

15. Носов П.С., Тонконогий В.М. Використання компонентів мислення експертними системами, як фактору адаптивного впливу в автоматизованих навчальних системах // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одеса: ОН-ПУ, 2005. Спецвыпуск. С. 101–105.

16. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одеса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006. С. 118–122.

17. Косенко Ю.І., Носов П.С. Механізми ідентифікації та трансформації «знань» суб'єкта критичної інфраструктури // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Збірник наукових праць [Текст]. Вип. 3(4) Одеса: Наука і техніка 2013, С. 99–104

18. Nosov, P. S., Ben, A. P., Matejchuk, V. N., & Safonov, M. S. (2019). IDENTIFICATION OF «HUMAN ERROR» NEGATIVE MANIFESTATION IN MARITIME TRANSPORT. Radio Electronics, Computer Science, Control, (4). <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20>.

СЕКЦІЯ:
АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ МОРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ ТА
АВТОНОМНІ СУДНА
SECTION
AUTOMATION OF MARITIME TRANSPORT MANAGEMENT AND
AUTONOMOUS VESSELS

ЦЕНТР БОКОВОГО ОПОРУ, ЦЕНТР ОБЕРТАННЯ І ПОЛЮС ПОВОРОТУ

Зінченко С. М.¹, Товстокорий О. М.¹, Товстокорий К. О.¹, Козачок Ю. А.²

¹Херсонська державна морська академія
(Україна)

²Software development Company N-IX LTD
(Україна)

Вступ. Центр бокового опору, центр обертання і полюс повороту судна продовжують бути у центрі уваги дослідників. Це пов'язано з тим, що дані центри є ключовими для розуміння поведінки судна і оптимізації маневрів. Найбільш важливими роботами за останні 40 років, які сформували сучасне уявлення про поведінку судна, є роботи Н. Hooyer, Ч. Tzeng, А. G. Chase, Н. Cauvier, С. G. Seo, інших авторів, а також написане на їх основі керівництво по судноводінню, порт Ревель, 2014 рік (Port Revel. Shiphandling. Course Manual, 2014), яке є результатом спільної роботи діючих та колишніх інструкторів навчального центру судноплавства порту Ревель.

У статті «Behavior and Handling of Ships» [1], опублікованій у 1983 році, автор розглядає поведінку центру обертання судна (автор називає його Pivot Point) на прикладі двох буксирів, що штовхають судно лагом. Показано, що поява поздовжньої швидкості судна призводить до його обертання. Автор пояснює цей ефект зміною плечей буксирів через зміщення центру обертання у сторону руху судна.

Властивості полюсу повороту, як умовної точки обертання, були розглянуті у статті «Analysys of the Pivot Point for a turning ship» [2], Tzeng, 1998 р. Автор наводить формулу для визначення положення полюсу повороту через бокову швидкість судна та кутову швидкість обертання судна навколо центру ваги. Проведено лінеаризацію диференціальних рівнянь у каналах бічного та кутового рухів, для усталеного руху наведено формулу визначення положення полюсу повороту через гідродинамічні характеристики судна та керування.

Стаття капітана Н. Cauvier «The Pivot Point» була опублікована у жовтні 2008 року, у № 295 журналу «The Pilot» - офіційного органу асоціації морських лоцманів Об'єднаного Королівства [3]. До виходу даної статті вважалося, що при відхиленні стерна судно обертається навколо центру обертання, який може зміщуватися у напрямку руху судна. Практичні маневрування показали, що таке уявлення призводить до навалювання судна на стінку доку при заході або виході. Хьюг Ков'є показав, що існуючі уявлення не враховували бокову швидкість, яка виникає при відхиленні стерна. Із врахуванням цієї швидкості, судно обертається не навколо центру обертання, а навколо іншої точки – полюсу повороту, який знаходиться по іншу сторону від міделя, що і було причиною навалювання. Також автор описує положення COLR (Center of Lateral Resistance), який вважає точкою опори для важелів. Положення COLR, на думку автора, залежить від положення центру ваги, центру площі підводної поверхні та розподілу тиску навколо судна.

Стаття Dr. Seong-Gi Seo та Mahbub Mishu «The Use of Pivot Point in Ship Handling for Safer and More Accurate Ship Manoeuvring» опублікована у журналі Саутгемптонського університету, Велика Британія, у 2011 році [4]. Метою статті є формулювання правильних визначень, дослідження теоретичного аспекту полюсу повороту та його застосування для практичного виконання базових і спеціальних маневрів. Вкладом авторів статті у розвиток теорії полюсу повороту є дослідження поведінки полюсу повороту для плоского руху судна, за наявності поздовжньої, бокової і кутової швидкості русання. Автори вводять три центри: центр Е планарного обертання, центр S обертання судна і полюс повороту Р та розглядають положення цих центрів для різних варіантів обертання: чистий обертальний рух (Yaw only), боковий та обертальний рух (Sway+Yaw), поздовжній та обертальний рух (Surge+Yaw), поздовжній, боковий та обертальний рух

(Surge+Sway+Yaw). У матеріалах першої та другої [5] статті положення полюсу повороту розраховується відносно центру ваги.

Підводячи підсумок, слід зазначити, що останні уявлення про положення центру обертання, центру бокового опору та полюсу повороту наступні:

1. COLR [3] та Neutral Point [8] є точкою опори для важелів (центром обертання). Прикладена у цю точку бокова сила не викликає оберտального руху (через відсутність важелів), а викликає лише боковий рух в сторону дії сили.

2. Положення COLR [3], Neutral Point [8] визначаються положенням центру ваги, положенням центру площі підводної поверхні та полем тиску навколо судна.

3. Положення COLR [3], Neutral Point [3] залежить від диференту та поздовжньої швидкості судна.

4. Центр бокового опору (Centre of Drift) є точка, куди прикладені результуючі усіх сил: зовнішніх сил буксиру, вітру, тощо, сила стерна, гідродинамічна сила опору [8].

5. Полюс повороту є видимою точкою повороту, положення якої визначається абсцисою і ординатою. Абсциса та ордината полюсу повороту знаходяться за формулами

$$R_x = -\frac{V_y}{\omega_z}, R_y = \frac{V_x}{\omega_z}. \text{ Абсциса полюсу повороту вимірюється відносно центру ваги судна.}$$

Актуальність дослідження. Частина наведених вище уявлень є сумнівними з точки зору механіки твердого тіла і потребують уточнень, а отже, дослідження поведінки центру обертання, центру бокового опору і полюсу повороту залишається актуальною науково-технічною задачею.

Постановка задачі. Розробити модель поведінки судна на основі існуючих положень механіки твердого тіла, наукових методів дослідження, отриманих раніше і не врахованих результатів.

Результати дослідження.

Уявлення 1. COLR [3] та Neutral Point [8] є точкою опори для важелів (центром обертання). Прикладена у цю точку бокова сила не викликає оберտального руху (через відсутність важелів), а викликає лише боковий рух в сторону дії сили.

Із теоретичної механіки відомо, що центр обертання (RC) твердого тіла співпадає з центром ваги, так як головні моменти інерції тіла найменші відносно осей, що проходять через центр ваги.

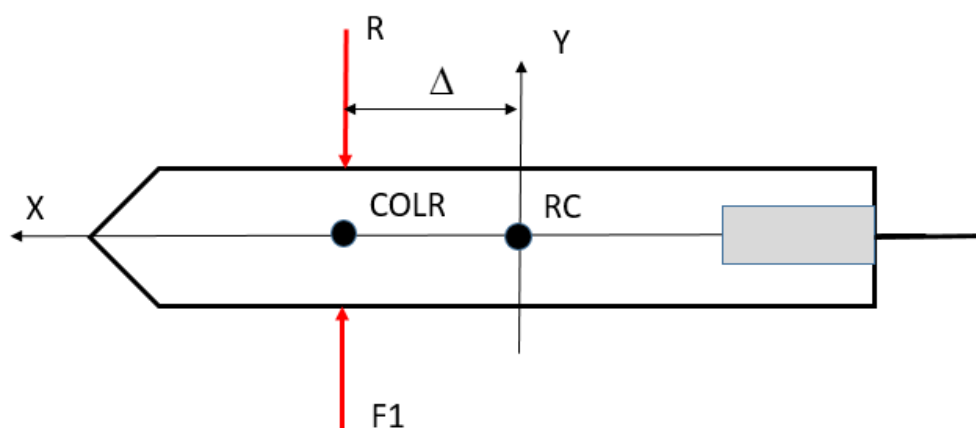


Рисунок 1 — Момент бокової сили, прикладеної до COLR, урівноважується моментом результуючої сили гідродинамічного опору

У цьому випадку бокова сила, прикладена до COLR (Neutral Point) не створює оберտального моменту відносно центру обертання (RC) тому, що в усталеному русі (*if the vessel has a steady heading*) момент від цієї сили відносно центру обертання (RC) урівноважується моментом результуючої сили гідродинамічного опору, рис.1.

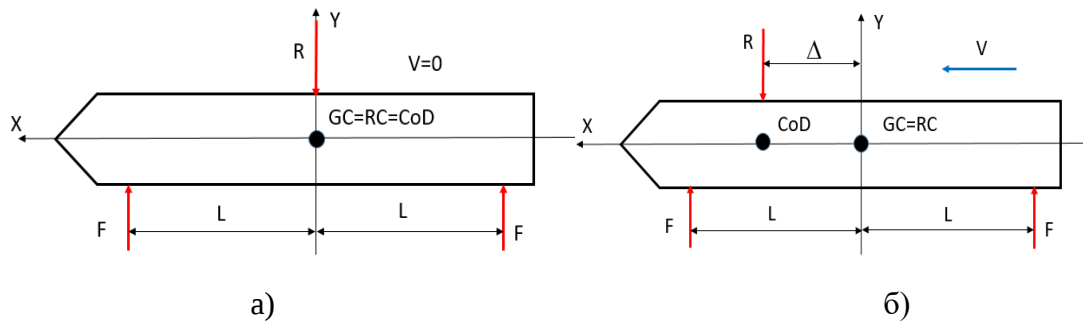


Рисунок 2 — Система сил в експерименті, за відсутності та наявності поздовжнього руху

На рис. 2. наведена система сил в експерименті, описаному у роботі [1], за відсутності та наявності поздовжнього руху.

За відсутності поздовжнього руху, рис 2а), сили буксирів F урівноважуються силою гідродинамічного опору R , прикладеною до центру обертання RC . Моменти сил від буксирів також урівноважені, тому судно рухається лагом, без обертання.

За наявності поздовжнього руху, рис 2б), центр прикладання результуючої сили гідродинамічного опору (Centre of Drift) зміщується у напрямку руху судна на величину Δ внаслідок чого виникає додатковий обертаючий момент $M_z = -R\Delta$, який обертає судно проти часової стрілки. Із наведеного прикладу видно, що причиною обертання судна є зміщення центру бокового опору (Centre of Drift), при цьому центр обертання залишається у центрі ваги судна, що узгоджується з положеннями теоретичної механіки.

Уявлення 2. Положення COLR, Neutral Point визначаються положенням центру ваги, положенням центру площі підводної поверхні та полем тиску навколо судна.

Центр підводної області та поле тиску навколо судна визначають величину та точку прикладання результуючої бокової гідродинамічної сили, яка не може впливати на масово інерційні характеристики судна та зміщувати центр обертання відносно центру ваги. Навколишнє середовище впливає на рух зануреного в нього тіла лише через створювані сили та моменти, а не через зміну положення центру обертання.

Уявлення 3. Положення COLR, Neutral Point залежить від диференту та поздовжньої швидкості судна.

Від диференту та поздовжньої швидкості судна залежить положення центру бокового опору (а не центру обертання). Зміщення центру обертання можливе лише внаслідок перерозподілу мас та моментів інерції судна, із врахуванням приєднаних мас води. Положення центру бокового опору (Centre of Drift) може також залежати і від кута дрейфу. Дана залежність наведена, наприклад, у роботах [6, 7]. У посібнику [6] представлена формула визначення плеча бокової гідродинамічної сили (положення центру бокового опору), у залежності від кута дрейфу

$$\bar{l}_R = 0,5 + \frac{l_{\text{ЦБО}}}{L} - \frac{\beta}{180} \quad (1)$$

Формула (1) не враховує форму обводів корпусу, яка суттєво впливає на положення центру бокового опору. У роботі [7] показано, що: положення центру бокового опору залежить від кута дрейфу для обводів корпусу із змінною похідною по довжині судна (наприклад, для еліптичного корпусу); положення центру бокового опору не залежить від кута дрейфу і зміщене відносно геометричного центру підводної частини судна на постійну величину для обводів корпусу із постійною похідною по довжині судна (наприклад, для клиновидного корпусу); положення центру бокового опору не залежить від кута дрейфу і співпадає з геометричним центром підводної частини судна для обводів корпусу з нульовою похідною по довжині судна (наприклад, для прямокутного корпусу).

Уявлення 4. Центр бокового опору (Centre of Drift) є точка, куди прикладені результуючі усіх сил: зовнішніх сил буксиру, вітру, тощо, сила стерна, гідродинамічна сила опору [8].

У центрі бокового опору прикладена лише результуюча гідродинамічна сила (underwater resistance). Зовнішня сила буксира прикладена у точці контакту буксиру із корпусом судна. Зовнішня сила вітру прикладена у центрі парусності судна. Сила керма прикладена у центрі керма, тощо. При переносі даних сил у Centre of Drift потрібно додатково враховувати моменти, які вони створюють.

Висновки.

1. Усталений боковий рух судна і обертальний рух судна навколо центру ваги еквівалентні «чистому» обертанню навколо видимої точки - полюсу повороту.
2. Положення полюсу повороту визначається абсцисою і ординатою полюсу повороту.
3. Бокова сила, прикладена до COLR (Neutral Point) не створює обертального моменту відносно COLR (Neutral Point) тому, що в усталеному русі момент від цієї сили урівноважується моментом сили гідродинамічного опору боковому руху.
4. Центр підводної області та поле тиску навколо судна визначають величину та точку прикладання результуючої бокової гідродинамічної сили, яка не може впливати на масово інерційні характеристики судна та зміщувати COLR (Neutral Point) відносно центру ваги. Навколишнє середовище впливає на рух зануреного в нього тіла лише через створювані сили та моменти, а не через зміну положення центру обертання.
5. Від диференту та швидкості судна залежить положення центру бокового опору (а не COLR (Neutral Point)). Також, положення центру бокового опору залежить від кута набігання потоку та обводів корпусу судна. Зміщення Центру обертання можливе лише внаслідок перерозподілу мас та моментів інерції судна, із врахуванням приєднаних мас води.
6. В центрі бокового опору прикладена лише результуюча гідродинамічна сила (underwater resistance). Зовнішня сила буксира прикладена у точці контакту буксиру із корпусом судна. Зовнішня сила вітру прикладена у центрі парусності судна. Сила керма прикладена у центрі керма, тощо. При переносі даних сил у Centre of Drift потрібно додатково враховувати моменти, які вони створюють.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hooyer, H. H. (1983). Behavior and Handling of Ships. Cornell Maritime Press.
2. Tzeng, Ch. (1998). Analysys of the pivot point for a turning ship. Journal of marine science and technology 6(1), pp. 39–44. <http://jmst.ntou.edu.tw/marine/6/39-44.pdf>
3. Cauvier, H. The Pivot Point. (2008). The PILOT. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilots' Association. p. 295. <http://www.pilotmag.co.uk/wp-content/uploads/2008/06/pilotmag-295-final-web.pdf>.
4. Seo, S. G. (2011). The Use of Pivot Point in Ship Handling for Safer and More Accurate Ship Manoeuvring. Proceedings of IMLA. Vol. 1, Issue 29, pp. 271-280. https://www.academia.edu/36456506/The_Use_of_Pivot_Point_in_Ship_Handling_for_Safer_and_d_More_Accurate_Ship_Manoeuvring
5. Seo, S. G. (2016). Safer and More Efficient Ship Handling with the Pivot Point Concept. The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol.10, Issue 4, pp. 605-612. doi: 12.12716/1001.10.04.09.
6. Демин, С. И., Жуков, Е. М., Кубачев, Н. А. (1991). Управление судном: учебник для ВУЗов // С. И. Демин, Е.М. Жуков, Н. А. Кубачев и др., 359 с.
7. Zinchenko, S., Kalinichenko, Ye., Kozachok Yu., Mateichuk V. (2024). Influence of hull and cargo contours on lateral force and yaw torque in real - time vessel control systems. Scientific Bulletin Kherson State Maritime Academy, Vol 2, № 29, p. 24-34. DOI: 10.33815/2313-4763.2024.2.29.024-034
8. Shiphhandling. Course Manual, Port Revel, 2014.

ІНТЕГРАЦІЯ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В AI-МОДЕЛЬ АВТОНОМНОГО СУДНА

Козачок Ю. А.¹, Зінченко С. М.²

¹*Software development Company N-IX LTD
(Ukraine)*

²*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Розвиток технологій автономного судноплавства є одним із ключових напрямів цифрової трансформації морської галузі у контексті сталого розвитку. Автономні судна майбутнього повинні мати здатність до самостійного сприйняття навколишнього середовища, аналізу ситуації та прийняття рішень без втручання людини. Критичною складовою таких систем є комп'ютерний зір, що забезпечує виявлення, розпізнавання та класифікацію морських об'єктів у реальному часі. Інтеграція методів глибокого навчання у систему комп'ютерного зору автономного судна дозволяє істотно підвищити точність сприйняття та стійкість до складних погодних і навігаційних умов, що сприяє безпеці морських перевезень та зменшенню екологічних ризиків.

Актуальність досліджень. У сучасних умовах швидкого розвитку технологій автономного судноплавства спостерігається зростання кількості безекіпажних морських платформ, таких як Yara Birkeland, Mayflower Autonomous Ship, Sea Hunter, тощо. Ці системи демонструють високий потенціал для автоматизації процесів навігації, проте традиційні підходи до комп'ютерного зору залишаються обмеженими у можливостях адаптивного реагування на динамічні зміни морського середовища. Зокрема, класичні алгоритми розпізнавання не здатні забезпечити достатню стійкість до шумів, відблисків, туманності та хвильових коливань, що призводить до зниження точності прийняття рішень. Саме тому актуальною є інтеграція моделей глибокого навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), із системами штучного інтелекту [1], які реалізують навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning) [2]. Такий підхід дозволяє поєднати здатність судна «бачити» з його спроможністю «розуміти контекст» навігаційної ситуації [3], тобто не лише фіксувати наявність об'єктів, а й інтерпретувати їхню поведінку та прогнозувати можливі сценарії розвитку подій у реальному часі.

Постановка задачі. Однією з ключових передумов повної автономності морських суден є наявність системи, здатної самостійно сприймати навколишнє середовище, виявляти об'єкти, оцінювати ситуацію та приймати навігаційні рішення без участі оператора. Існуючі системи машинного зору, що базуються на класичних методах обробки зображень, обмежені у точності та швидкодії, особливо в умовах туману, відблисків або хвильових спотворень. Тому постає завдання розробити інтелектуальну систему комп'ютерного зору, інтегровану в AI-модель автономного судна [4–8], яка здатна до стабільного функціонування у реальному морському середовищі. Для вирішення цієї проблеми пропонується застосувати сучасну архітектуру YOLOv8 (You Only Look Once), яка забезпечує одночасне виявлення та класифікацію об'єктів у реальному часі з високою точністю. YOLOv8 має оптимізовану структуру згорткових шарів, що дозволяє досягати ефективного балансу між швидкістю та точністю навіть за обмежених обчислювальних ресурсів, характерних для бортових систем судна. Поставлене завдання полягає у створенні інтегрованої системи, де модуль комп'ютерного зору на основі YOLOv8 здійснює виявлення та класифікацію об'єктів морського середовища (судна, буї, люди, уламки, контейнери), а результати цієї класифікації передаються до інтелектуального модуля прийняття рішень, реалізованого на основі алгоритмів навчання з підкріпленням. У такій архітектурі система зору виконує роль сенсорного входу, тоді як AI-модуль забезпечує поведінкову адаптацію судна — зміну курсу, швидкості чи ухилення від перешкод. Основною науковою задачею є визначення

ефективної структури взаємодії між CNN-модулем YOLOv8 та агентом прийняття рішень, що дасть змогу створити єдину адаптивну модель «сприйняття – аналіз – дія». Така система має забезпечити не лише точну класифікацію об'єктів, а й оптимальну реакцію судна на динамічні зміни навігаційного середовища, підвищуючи рівень безпеки та автономності морського руху.

Результати досліджень. Для навчання моделі використано відкриті набори морських зображень, а також експериментальні кадри, отримані з відео потоків суднових камер. Усі зображення були розмічені вручну за класами: *ship*, *buoy*, *person*, *container*, *debris*. Для покращення узагальнюючої здатності моделі застосовано аугментацію даних: повороти, зміни яскравості, контрасту, додавання шуму та зміну масштабу (рис. 1).

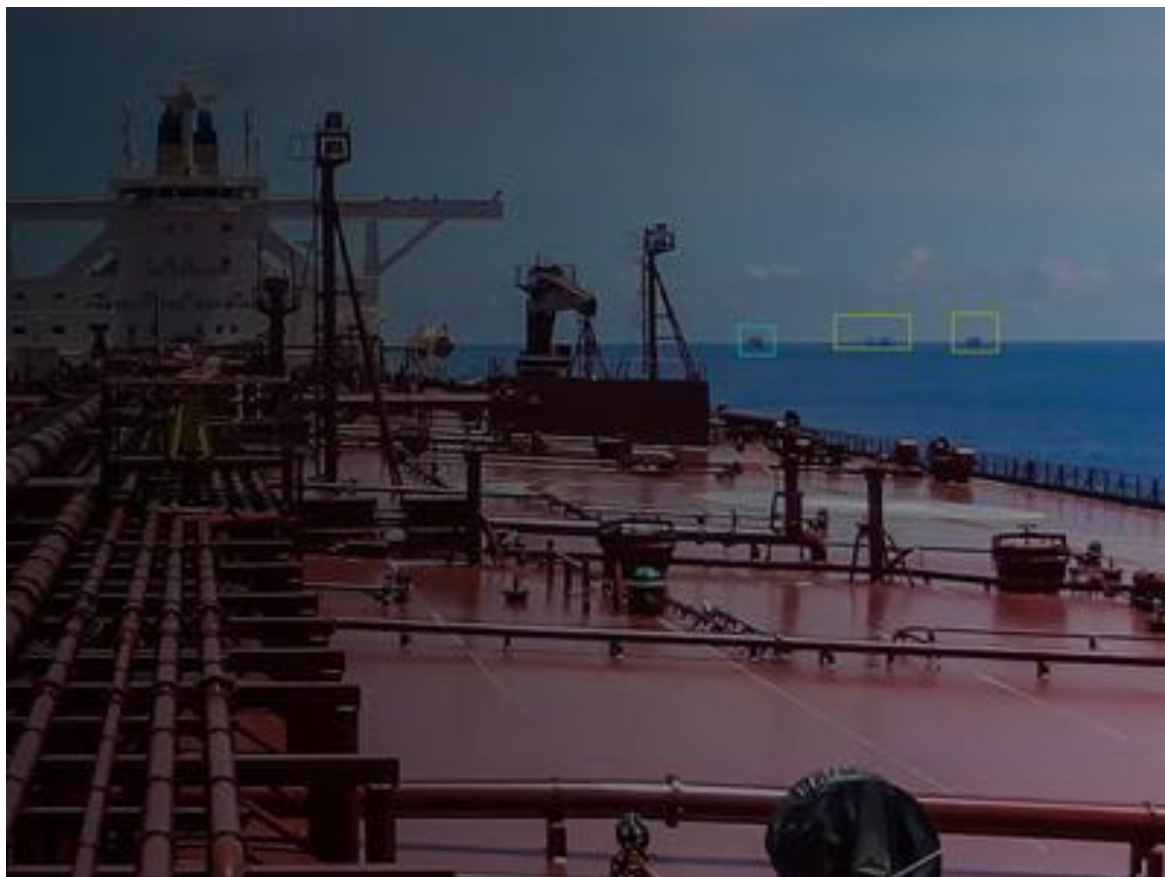


Рисунок 1 — Експериментальне зображення з камери судна

Модель YOLOv8 реалізовано у середовищі Python з використанням попередньо натренованих ваг набору COCO Dataset. Подальше донавчання виконано на спеціалізованих морських зображеннях із параметрами: *batch size* = 16, *learning rate* = 0.001, оптимізатор Adam, функція втрат — сума класифікаційної, об'єктної та локалізаційної похибок. Інтеграція системи комп'ютерного зору YOLOv8 в AI-модель автономного судна здійснювалася через модуль передачі результатів детекції до системи прийняття рішень, реалізованої на основі алгоритму навчання з підкріпленням. Отримані від мережі дані (класи об'єктів, координати та ймовірності) формують вектор стану середовища, на основі якого AI-агент обирає дію, спрямовану на максимізацію функції винагороди. У моделюванні враховувалися фактори безпеки руху, уникнення колізій, збереження енергоефективності та дотримання оптимального маршруту. Наведений фрагмент (рис.2) демонструє базову послідовність етапів використання моделі YOLOv8 у дослідженні: завантаження попередньо навченої моделі, її донавчання на спеціалізованих морських даних, оцінювання продуктивності, прогнозування в реальному часі та експорт у формат, сумісний із бортовими AI-системами.

```
from ultralytics import YOLO

# Завантаження попередньо натренованої моделі YOLOv8n
model = YOLO("yolov8n.pt")

# Навчання моделі на наборі даних COCO128 (можна замінити на власний набір морських зображень)
model.train(data="coco128.yaml")

# Оцінювання точності та якості моделі на валідаційному наборі
model.val()

# Виконання прогнозу (розпізнавання об'єктів) для зображення за посиланням
model.predict(source="D://Yuri/images/ship5453.jpg")

# Експорт навченої моделі у формат ONNX для подальшої інтеграції в автономну систему судна
model.export(format="onnx")
```

Рисунок 2 — Фрагмент програмного коду навчання YOLOv8

У процесі тестування модель продемонструвала середню точність 94,2% на спеціалізованому наборі морських зображень, що підтверджує її здатність стабільно працювати в умовах змінного освітлення, туманності, відблисків і хвильових спотворень. Розроблений модуль комп'ютерного зору було інтегровано в AI-систему автономного судна, яка функціонує за принципом навчання з підкріпленням. На основі результатів детекції (рис. 3) формується вектор стану середовища, який використовувався агентом для вибору оптимальної дії. Система успішно навчилася приймати рішення, спрямовані на мінімізацію ризику колізій та збереження енергоефективності маршруту. У процесі експериментів середній час обробки одного кадру становив 35–40 мс, що забезпечує роботу в режимі реального часу з частотою до 25 FPS. Отримані результати свідчать про можливість практичного застосування інтегрованої системи на автономних суднах для підтримки навігаційних рішень та уникнення небезпечних ситуацій.



Рисунок 3 — Кадр виявлення судна в реальному часі

Висновки. Результати моделювання підтвердили, що взаємодія між CNN-модулем комп'ютерного зору та AI-модулем прийняття рішень створює замкнутий цикл сприйняття, аналізу та дії, який дозволяє судну реагувати на зміни навігаційного середовища без зовнішнього втручання. Такий підхід може стати базою для подальшого

розвитку колективного штучного інтелекту флоту, у якому автономні судна обмінюються даними про виявлені об'єкти та формують спільну ситуаційну обізнаність. Подальший розвиток дослідження передбачає впровадження мультимодальної обробки даних (радар + відео + AIS), а також використання методів колективного навчання між групою автономних суден для підвищення узагальнюючих властивостей моделей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зінченко, С. Н., Ляшенко, В. Г. (2017). Использование нейросетевой модели судна для решения задач управления. Науковий вісник ХДМА №2 (17), с. 231-237. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/587/524>.
2. Козачок Ю. А., Зінченко С. М. (2024). Використання мультиагентного навчання з підкріпленням для координації поведінки автономних суден. Проблеми сталого розвитку морської галузі с. 56-58.
3. Козачок, Ю. А., Зінченко, С. М., Сіманенков А. (2024). Колективна кібербезпека автономних морських суден на основі децентралізованого інтелектуального аналізу. Науковий вісник ХДМА №30, <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.006-015>
4. Moosbauer, S., Lubeck, T., Schumann, A., Beyerer, J. (2019). A benchmark for deep learning based object detection in maritime environments. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW 2019)*, pp. maritime-1–maritime-10.
5. Yu, C., Huang, Y., Yang, X., Zhang, W. (2024). An efficient deep learning-based maritime object detection method using YOLO-MRS. *Robotics and Autonomous Systems*.
6. Ганношина І. М. (2023). Розробка моделі глибокої нейронної мережі для оцінки стану моря на основі руху судна. *Системи управління, навігації та зв'язку*, № 3, с. 25-31. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.3.025>
7. Калінніченко І. (2024). Використання штучного інтелекту безпілотних суден при русі в морському середовищі. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3(3), 92-103
8. Mnih, Volodymyr; Kavukcuoglu, Koray; Silver, David; Rusu, Andrei A.; Veness, Joel; Bellemare, Marc G.; Graves, Alex; Riedmiller, Martin; Fidjeland, Andreas K. (Feb 2015). Human-level control through deep reinforcement learning.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗЕКІПАЖНОГО АВТОНОМНОГО СУДНА В УМОВАХ ЧАСТКОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ НАВІГАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА

Пелихівський Л.О.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Сучасна морська індустрія перебуває на етапі глибокої технологічної трансформації, що зумовлена розвитком цифровізації, автоматизації та інтеграції інтелектуальних систем керування. Одним із найважливіших напрямів цієї трансформації є створення безекіпажних автономних суден (БАС), здатних виконувати навігаційні завдання без постійної участі людини-оператора. Такі судна мають потенціал суттєво зменшити вплив людського фактору, підвищити рівень безпеки мореплавства та ефективність перевезень, а також забезпечити виконання місій у віддалених чи небезпечних акваторіях [1].

Починаючи з 2017 року, Міжнародна морська організація (ІМО) активно досліджує правовий статус і технічні аспекти впровадження БАС у рамках нормативно-правового регулювання, визначивши чотири рівні автономності та заклавши основу для майбутнього нормативного регулювання автономного судноплавства [1]. Паралельно вчені та промислові компанії зосереджують увагу на створенні надійних систем автоматизованого управління, здатних діяти в умовах часткової невизначеності навігаційного середовища, тобто вітрових збурень, течій, хвиль, похибок сенсорів і неповноти навігаційних даних [2].

У таких умовах класичні системи керування (PID-регулятори, адаптивні чи робастні алгоритми) демонструють обмежену ефективність, оскільки не забезпечують потрібної гнучкості й швидкодії при невизначеності зовнішніх впливів. Що в свою чергу актуалізує необхідність розроблення автоматизованих інтелектуальних систем керування рухом, що поєднують переваги нечіткої логіки, моделей прогнозованого керування та поясненого штучного інтелекту для підвищення адаптивності, надійності та прозорості процесу ухвалення рішень.

Актуальність досліджень. Проблематика створення інтелектуальних систем керування рухом БАС є однією з центральних у дослідженнях сучасного автономного судноплавства. За даними ІМО [1], однією з головних умов впровадження БАС є гарантування їх передбачуваної поведінки у змінних морських умовах.

Як зазначають у роботі [2], невизначеність навігаційного середовища спричинена низкою факторів: варіаціями гідродинамічних параметрів, неповнотою сенсорних даних, впливом течій, хвиль і вітру. Ці фактори змінюють динаміку судна, роблячи її непередбачуваною у класичному сенсі, що унеможливорює точне моделювання процесу руху.

Перспективним напрямом досліджень є гібридні системи, які поєднують переваги нечіткої логіки, моделей прогнозованого керування та поясненого штучного інтелекту. У роботі [3] дослідники довели ефективність поєднання нечіткої логіки з байєсівськими методами для ухвалення рішень у невизначених навігаційних ситуаціях, а у праці [4] продемонстрували можливість використання моделей прогнозованого керування для уникнення зіткнень і стабілізації курсу у змінному середовищі. Додаткове впровадження рішень поясненого штучного інтелекту, як показано в огляді [5], підвищує прозорість алгоритмів керування та рівень довіри до автономних систем, що є критично важливим для їх сертифікації. Таким чином, створення автоматизованої системи керування рухом БАС, здатної функціонувати в умовах часткової невизначеності навігаційного середовища, є актуальним науково-прикладним завданням, спрямованим на підвищення надійності, адаптивності та безпеки автономних суден.

Мета дослідження. Метою дослідження є розроблення архітектури автоматизованої системи керування рухом безекіпажного автономного судна (БАС), яка забезпечує стійке та адаптивне функціонування в умовах часткової невизначеності навігаційного середовища, враховуючи динамічні зовнішні впливи (вітер, хвилювання, течії), похибки вимірювань та неповноту сенсорних даних. Запропонована система має забезпечити інтелектуальне прийняття рішень у реальному часі на основі гібридного підходу, що поєднує методи нечіткої логіки, моделей прогнозного керування та поясненого штучного інтелекту.

Результати досліджень. На основі проведеного аналізу наукових публікації та вивчення сучасних підходів до побудови систем керування автономними суднами пропонується застосовувати архітектуру автоматизованої системи керування рухом БАС, побудовану за багаторівневою ієрархією та включає чотири основні підсистеми:

1. Система обробки вхідних даних;
2. Система оцінки ситуації та ризику;
3. Система прийняття рішень та керування;
4. Система контролю безпеки та обміну даними.

Підсистема обробки вхідних даних. Зазначений рівень забезпечує створення узгодженої, достовірної картини навколишнього середовища та поточного стану судна на основі неповних, шумних і часово неузгоджених даних від різномірних сенсорів. Його завдання зменшити невизначеність вимірювань і передати стабілізовані оцінки далі у систему ухвалення рішень.

Наступна підсистема у пропонованій архітектурі – **оцінки поточної ситуації та визначення ризиків**. Дані отримані вище від сенсорів та спостерігачів передаються в модуль оцінки ситуації, що виконує обчислення СРА (найменша відстань між власним та цільовим судном), ТСРА (час через який ця мінімальна відстань буде досягнута), виявлення конфліктних траєкторій, та класифікацію взаємного положення суден відносно правил COLREGs наприклад зустрічний курс, перетин курсу чи обгін. Подальша оцінка рівня небезпеки здійснюється за допомогою модуля оцінки ризиків. Призначенням цього модуля є перетворити набір числових даних (СРА, ТСРА, напрямок руху цільового судна) у якісну оцінку ризику зіткнення. Вище зазначене дозволить судну приймати рішення не за жорсткими порогами, а за людською логікою. Результатом роботи підсистеми є рівень ризику зіткнення у діапазоні Низький–Середній–Високий. Як показано у [3, 7, 8] застосування нечітких систем для навігаційних оцінок дозволяє ефективно враховувати невизначеність даних і підвищує стійкість прийняття рішень.

Підсистема прийняття рішень та керування рухом. На основі результатів оцінки ризику, курсу судна та обмежень визначається оптимальний режим керування. Якщо рівень ризику високий, то активується МРС-модуль, що прогнозує поведінку судна на горизонті із урахуванням гідродинамічних обмежень і затримок виконавчих систем. Також у цій підсистемі присутній модуль нечіткої логіки, який генерує короткострокові команди для стабілізації курсу й швидкості. Адаптивність системи забезпечується модуль спостерігач за порушеннями, який коригує параметри контролера при змінах зовнішніх умов.

Підсистема контролю безпеки та обміну даними з користувачем виконує діагностику сенсорів, приводів, і контролерів а також переводить судно у безпечний режим при виявленні відмови. Ця підсистема включає в себе модуль поясненого ШІ, що забезпечує інтерпретацію рішень, генеруючи текстові пояснення дій системи. На цьому рівні відбувається обмін даними між судном і береговим центром керування, передаються ШІ-звіти оператору та приймає команди дистанційного контролю або аварійного втручання.

Описану вище архітектуру зображено на рисунку 1.

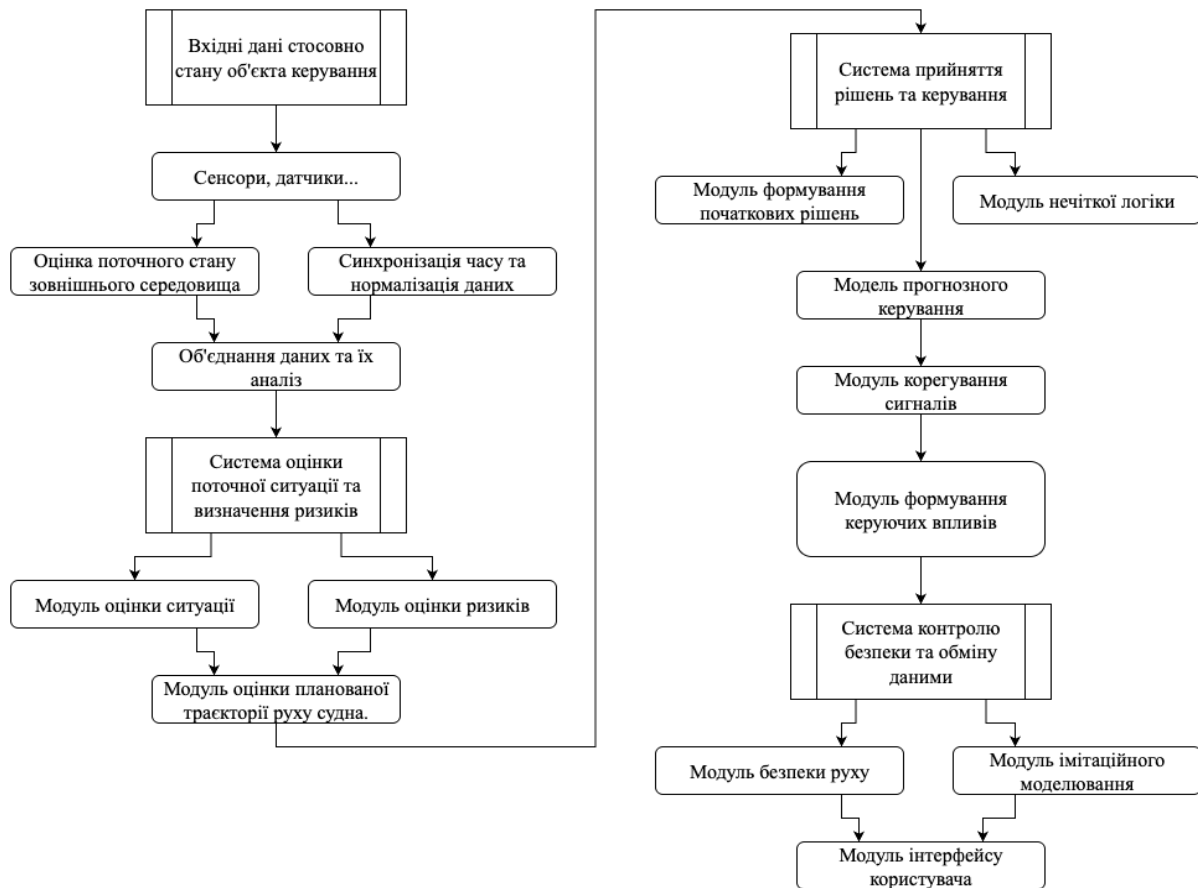


Рисунок 1 —Архітектура автоматизованого керування БАС

Висновки. Розроблена архітектура автоматизованої системи керування рухом безпечного автономного судна спрямована на підвищення надійності, безпеки та автономності прийняття рішень морських навігаційних систем у реальних умовах експлуатації. Запропоноване рішення дозволяє забезпечити узгоджену взаємодію між підсистемами сприйняття, оцінки ситуації, прийняття рішень, керування, безпеки та пояснення прийнятих рішень оператору на березі, що формує цілісну концепцію адаптивного управління рухом БАС. Основна мета розробки полягає у створенні системи, здатної ефективно функціонувати в умовах часткової невизначеності навігаційного середовища коли дані про зовнішні впливи є неповними, неточними або змінними. Реалізація мультисенсорного злиття даних, оцінки достовірності вимірювань, спостерігачів зовнішніх збурень і адаптивного налаштування контролерів дає змогу зменшити вплив невизначеності на точність керування, покращити стійкість судна до збурень та підвищити ефективність навігації.

Поєднання методів нечіткої логіки та прогнозного керування забезпечує не лише стабільність руху, а й адаптацію до змінних морських умов у реальному часі. Впровадження штучного інтелекту підвищує прозорість і довіру до прийнятих рішень, створюючи умови для подальшої сертифікації таких систем відповідно до стандартів ІМО.

Таким чином, запропонована архітектура дозволяє вдосконалити та поліпшити роботу систем управління автономними суднами, оскільки містить нові принципи керування рухом БАС, здатних діяти у складних та непередбачуваних морських умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. IMO. (2021). Outcome of the Regulatory Scoping Exercise for the Use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) — MSC.1-Circ.1638, London, UK. <https://www.imo.org>.

2. Wang Y., Shen C., Huang J., Chen H. (2024). Model-Free Adaptive Control for Unmanned Surface Vessels: A Literature Review. Ocean Engineering. <https://doi.org/10.1080/21642583.2024.2316170>.
3. Perera L. P., Carvalho J. P., Soares C. G. (2012). Intelligent Ocean Navigation and Fuzzy-Bayesian Decision/Action Formulation. <https://doi.org/10.1109/JOE.2012.2184949>.
4. Eriksen B.-O. H., Breivik M., Wilthil E. F., Flåten A. L., Brekke E. F. (2019). The Branching-Course Model Predictive Control Algorithm for Maritime Collision Avoidance. <http://doi.org/10.1002/rob.21900>.
5. Angelov P. P., Soares E. A. et al. (2021). Explainable Artificial Intelligence: An Analytical Review. WIREs Data Mining and Knowledge Discovery. <https://doi.org/10.1002/widm.1424>
7. Lyu H., Yin Y. (2018). COLREGs-Constrained Real-time Path Planning for Autonomous Ships Using Modified Artificial Potential Fields. <https://doi.org/10.1017/S0373463318000796>.
8. Zhou Y., Zhang H., Wang B., Sun Y. (2023). Fuzzy Collision Risk Assessment for Autonomous Surface Vessels Considering Environmental Uncertainty. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3001626>.

МОДЕЛЮВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА СУДНОВИМ ДИЗЕЛЬНИМ ГЕНЕРАТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРПОЛЯЦІЙНОГО МНОГОЧЛЕНА ЛАГРАНЖА

Самойлов С.О., Поливода В. В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Сучасна морська індустрія функціонує в умовах жорстких економічних та екологічних обмежень. Витрати на паливо становлять значну частину операційних витрат судноплавних компаній, що робить завдання оптимізації енергоспоживання одним із головних пріоритетів. Одночасно, посилення міжнародних нормативів щодо викидів парникових газів та шкідливих речовин, зокрема вимог Міжнародної морської організації (ІМО), змушує судновласників впроваджувати комплексні заходи для підвищення енергоефективності суден [1].

Актуальність проблеми. Суднові дизель-генератори (ДГ) відіграють ключову роль у загальному енергетичному балансі судна, забезпечуючи електроенергією всі бортові системи, включаючи двигуни, вантажні механізми, навігаційне обладнання та побутові потреби екіпажу. Неточність в оцінці витрати палива ДГ призводить до неефективного планування рейсів, надлишкових запасів палива на борту та, як наслідок, до фінансових втрат та невиправданого екологічного навантаження. Тому розробка точних математичних моделей, що описують залежність витрати палива від навантаження, є фундаментальною задачею для створення сучасних систем моніторингу, управління та оптимізації роботи суднової електросистеми [2].

Постановка задачі. Метою даного дослідження є розробка та валідація неперервної математичної моделі, що описує залежність годинної витрати палива від електричного навантаження для суднового дизель-генератора CUMMINS C275D5 в режимі основної потужності (Prime Power), використовуючи метод поліноміальної інтерполяції Лагранжа.

Задачі дослідження:

1. надати теоретичне обґрунтування вибору методу поліноміальної інтерполяції Лагранжа для вирішення поставленої задачі;
2. проаналізувати технічні специфікації дизель-генератора CUMMINS C275D5 для формування базового набору вихідних даних;
3. побудувати явний вигляд поліноміальної функції на основі обраних вузлових точок;
4. провести графічний аналіз отриманої моделі та продемонструвати її використання для розрахунку витрати палива при проміжних значеннях навантаження;
5. окреслити сфери практичного застосування моделі.

Результати дослідження. Використання методу інтерполяції Лагранжа для даної задачі обумовлено такими перевагами:

- точність: метод забезпечує побудову функції, яка гарантовано проходить через усі вузлові точки, що є критично важливим при роботі з еталонними паспортними даними;
- простота реалізації: на відміну від прямого методу побудови полінома, який вимагає розв'язання системи лінійних рівнянь, формула Лагранжа надає прямий аналітичний вираз для функції, що спрощує її програмну реалізацію;
- єдиний аналітичний вираз: результатом є єдина неперервна та диференційована функція для всього робочого діапазону. Це дозволяє не тільки обчислювати

проміжні значення, а й проводити подальший аналіз, наприклад, знаходити точки екстремуму (мінімальної питомої витрати палива) шляхом взяття похідної [3,4].

Об'єктом дослідження є дизель-генераторна установка CUMMINS C275D5, яка широко використовується на судах морського та річкового флоту як допоміжне джерело електроенергії [5]. Основні технічні характеристики установки, що є релевантними для даного дослідження, наведені нижче:

- модель ДГ: C275 D5;
- частота: 50 Hz;
- тип палива: дизельне;
- двигун: Cummins QSL9-G5;
- конфігурація: 6-циліндровий, 4-тактний, рядний, з турбонаддувом та проміжним охолодженням повітря;
- номінальна швидкість обертання: 1500 об/хв;
- номінальна потужність (режим Prime Power): 200 кВт / 250 кВА.

Моделювання проводиться для режиму Prime Power, який, згідно зі стандартом ISO 8528, призначений для роботи зі змінним навантаженням протягом необмеженого часу, що найбільш точно відповідає типовим умовам експлуатації суднових ДГ.

Для побудови моделі необхідні точні дані про співвідношення навантаження та витрати палива. Для забезпечення актуальності та точності моделі, за основу були взяті дані з офіційної специфікації (SS29-CPGK) [5]. Вихідні дані для моделювання, що відповідають режиму Prime Power при 1500 об/хв, зведені в Таблицю 1.

Таблиця 1 — Паспортні дані витрати палива ДГ CUMMINS C275D5

Навантаження, %	Потужність, кВт (x_i)	Витрата палива, л/год (y_i)
25	50	14.2
50	100	25.8
75	150	38.3
100	200	52.5

Ці чотири точки є вузлами інтерполяції, на основі яких буде побудовано неперервну функцію.

Побудова інтерполяційного многочлена Лагранжа. Маючи чотири вузлові точки ($n+1=4$), будемо інтерполяційний многочлен третього ступеня. Візьмемо, що x — потужність в кВт, а $P(x)$ - годинна витрата палива в л/год.

Алгоритм:

- визначення вузлів інтерполяції;
- побудова базисних поліномів $L_i(x)$;
- побудова кінцевого полінома $P(x)$;
- зведення полінома до стандартного вигляду.

Після виконання алгебраїчних перетворень та зведення подібних доданків, отримали остаточну математичну модель, що описує залежність годинної витрати палива від навантаження для ДГ CUMMINS C275D5:

$$P(x) = (1.33333 \times 10^{-6})x^3 - 0.00045x^2 + 0.283167x + 1.2 \quad (1)$$

Для візуальної оцінки якості отриманої моделі було побудовано графік функції (рис. 1) в діапазоні робочих навантажень від 50 кВт до 200 кВт. На графік також нанесені вихідні вузлові точки з таблиці 1.

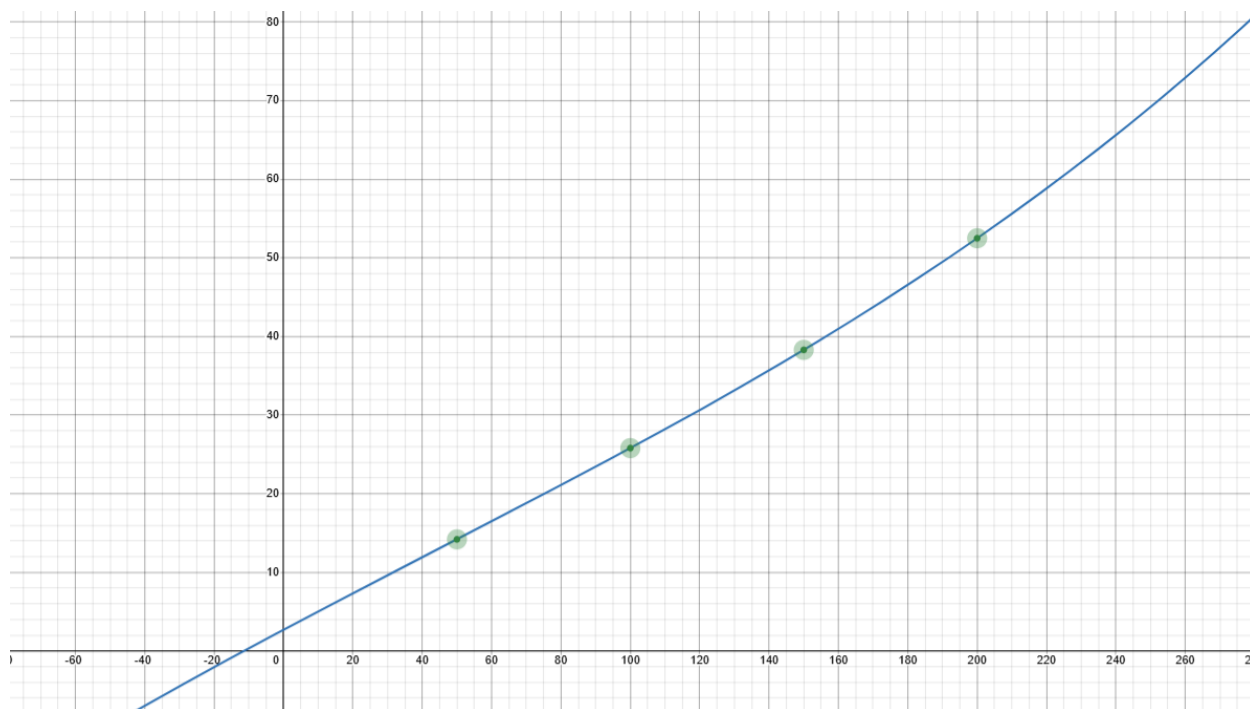


Рисунок 1 — Графік залежності годинної витрати палива від електричного навантаження дизель-генератора CUMMINS C275D5

Графік являє собою гладку кубічну криву, що точно проходить через усі чотири точки, які відповідають паспортним даним виробника для навантажень 25%, 50%, 75% та 100%. Це візуально підтверджує коректність побудови інтерполяційного полінома. Крива має монотонно зростаючий характер, що фізично відповідає процесу: зі збільшенням навантаження на генератор зростає і годинна витрата палива. Плавність кривої свідчить про відсутність нефізичних осциляцій чи розривів, що підтверджує адекватність моделі.

Головна практична цінність отриманої неперервної моделі полягає у можливості розраховувати витрату палива для будь-якого проміжного навантаження, не зазначеного у специфікації. Це особливо важливо для систем динамічного моделювання та оптимізації, де потрібна висока роздільна здатність даних. У таблиці 2 наведено приклади розрахунку витрати палива для кількох довільних рівнів навантаження.

Таблиця 2 — Інтерпольовані значення витрати палива за розробленою моделлю

Навантаження, %	Потужність, кВт (х)	Розрахункова витрата палива, л/год P(x)
35	70	19.27
65	130	33.33
80	160	40.45
90	180	45.37

Ці дані демонструють, як модель дозволяє «ущільнити» вихідну інформаційну сітку, надаючи інженерам та операторам деталізовану картину паливної ефективності генератора в усьому діапазоні його роботи.

Висновки. У ході виконаного дослідження було успішно вирішено задачу побудови неперервної математичної моделі витрати палива для суднового дизель-генератора CUMMINS C275D5:

1. на основі аналізу технічної документації виробника сформовано набір вихідних даних, що складається з чотирьох еталонних точок "навантаження-витрата";
2. застосовано метод поліноміальної інтерполяції Лагранжа та побудована графічна інтерпретація моделі;

3. отримано кінцевий аналітичний вираз у вигляді полінома третього ступеню, що точно відтворює паспортні дані виробника у вузлових точках та адекватно описує поведінку функції витрати палива в усьому робочому діапазоні.

Розроблена модель має значне практичне значення і може бути використана для вирішення низки інженерних задач:

- інтеграція в системи моніторингу: модель може бути вбудована в програмне забезпечення для моніторингу, забезпечуючи точні розрахунки витрати палива в режимі реального часу на основі даних про поточне навантаження на генератори;
- оптимізація планування рейсів: використання моделі в системах планування дозволяє більш точно прогнозувати загальні потреби в паливі для рейсу, враховуючи очікувані режими роботи допоміжних установок;
- підтримка прийняття рішень: модель може слугувати основою для систем управління енергоспоживанням, допомагаючи оптимізувати розподіл навантаження між кількома паралельно працюючими генераторами для досягнення мінімальної сумарної витрати палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yuksel O., Koseoglu B. (2022). Regression Modelling Estimation of Marine Diesel Generator Fuel Consumption and Emissions. *Transactions on Maritime Science*, 11 (1). pp. 79-94. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w08>
2. Gerasidi V.V., Lisachenko A. V. (2021). Analysis of fuel consumption of modern electronically controlled high-speed marine engines. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2061, 012057. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2061/1/012057>
3. Lagrange polynomial URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Lagrange_polynomial (date of access: 28.10.2025)
4. Exploring Interpolation Methods for Time Series Data (Lagrange, Splines, RBF) URL: <https://medium.com/@ronantech/exploring-interpolation-methods-for-time-series-data-lagrange-splines-rbf-and-more-fc80e7d096a2> (date of access: 28.10.2025)
5. Generator CUMMINS C275D5 set data sheet. URL: <https://cummins.gr/wp-content/uploads/2022/06/C275D5.pdf> (date of access: 28.10.2025)

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УТРИМАННЯ СУДНА НА КУРСІ

Оберто Сантана Л.Е.

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. Автоматизація управління судном із застосуванням технологій штучного інтелекту привертає все більше уваги дослідників і розробників. Зокрема, завдання утримання судна на заданому курсі та оптимізація маневрування стають ключовими факторами, що безпосередньо впливають на безпеку навігації та енергоефективність. Традиційні системи автоматичного управління, засновані на ПД-регуляторах, знаходять широке застосування завдяки своїй простоті та надійності. Однак їх ефективність істотно знижується в умовах нелінійної динаміки судна або під впливом зовнішніх збурюючих факторів, таких як вітер, хвилі та течії. Сучасні підходи пропонують інтелектуальні методи управління, в тому числі нейромережеві моделі, здатні враховувати нелінійні особливості руху судна і адаптуватися до змін навколишнього середовища [6;8]. Ці моделі відкривають нові можливості для підвищення стійкості курсу і енергоефективності управління. У даній роботі розглядаються різні архітектури нейронних мереж, що застосовуються в системах автоматичного утримання курсу, включаючи MLP, RBFNN, DNN і ANFIS. Особлива увага приділена їх порівняльному аналізу за такими критеріями, як точність стеження, адаптивність, обчислювальна складність і стійкість до збурень.

Актуальність дослідження зумовлена потребою в нових підходах до автоматизації керування суднами у зв'язку з суттєвим ускладненням навігаційних завдань, зростанням вимог щодо безпеки руху та енергоефективності. У реальних операціях судно повинно стабільно підтримувати заданий курс руху під впливом сильних хвиль і вітру, не здійснюючи частих і енерговитратних переключень керма. Постійно мінлива морська обстановка і нелінійність моделі руху судна вимагають адаптивних методів управління. Як відзначають дослідники, саме через невизначені і швидко мінливі збурюючі сили необхідна розробка адаптивних нейромережевих контролерів, здатних забезпечувати надійне утримання курсу [1;2]. Таким чином, порівняльний аналіз ефективності різних архітектур нейромережевих систем автоматичного керування рухом судна дає можливість виявити компроміс між точністю утримання курсу, стійкістю до збурень і практичними обмеженнями на ресурси суднової системи управління кермом.

Постановка задачі. Основною метою цієї роботи є проведення порівняльного огляду та оцінки нейромережевих моделей утримання курсу судна беручи за основу аналіз результатів проведених наукових досліджень за цим напрямком. До завдань входять: сформулювати роль проблеми управління курсом у загальній системі руху судна; описати принципи роботи та застосування таких моделей, як багатопшарові перцептрони (MLP), мережі радіальних базисних функцій (RBFNN), адаптивні нечітко-нейромережеві системи (ANFIS) та більш глибокі моделі (DNN); порівняти їх за рядом практичних критеріїв, а саме: точність утримання курсу, адаптивність, складність навчання, обчислювальне навантаження і стійкість до зовнішніх збурень. Особлива увага приділена тому, які моделі найбільш доцільні при різних умовах експлуатації.

Результати досліджень. Для оцінки застосовності нейромережевих архітектур у завданнях автоматичного утримання курсу судна розглянемо особливості їх побудови та функціональні характеристики.

Багатопшаровий перцептрон (MLP — Multilayer Perceptron) — одна з базових архітектур, що широко застосовується в системах управління. Типова структура такої мережі включає вхідний шар, один або два приховані шари і вихідний шар (рис.1).

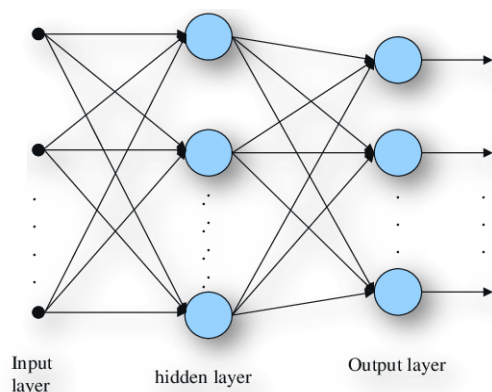


Рисунок 1 — Схема нейромережі MLP з одним прихованим шаром

Зв'язки між нейронами задаються ваговими коефіцієнтами, які налаштовуються за допомогою алгоритму зворотного поширення помилки. Ці мережі характеризуються відносною простотою реалізації, відсутністю необхідності вручну визначати форму базисних функцій і невисоким обчислювальним навантаженням. На початкових етапах досліджень MLP успішно застосовувалися для вирішення завдань стійкості на курсі та позиціонування в модельованих середовищах [7]. Однак в більш складних режимах MLP виявляються менш ефективними в порівнянні з DNN і ANFIS: вони мають обмежені можливості представлення сильної нелінійності і низьку адаптованість до мінливих умов після завершення навчання. Крім того, архітектури даного типу не враховують експертних знань, таких як нечіткі правила, що знижує їх застосовність в гібридних інтелектуальних системах. Особливо помітні обмеження MLP при роботі з послідовними або візуальними даними, де краще себе зарекомендували спеціалізовані архітектури, включаючи рекурентні і згорткові нейромережі.

Радіально базисні нейронні мережі (RBFNN — Radial Basis Function Neural Network) являють собою архітектуру з одним прихованим шаром, у якому активаційні функції реалізуються у вигляді локалізованих базисних елементів – найчастіше гаусових. Такі мережі застосовуються в системах управління курсом судна для апроксимації нелінійних компонент динаміки та компенсації зовнішніх збурень [4]. Їх ефективність пов'язана з локальною природою обробки сигналів і можливістю налаштування параметрів у режимі онлайн, що забезпечує швидку реакцію на зміну умов. Завдяки цьому RBFNN демонструють швидку збіжність при навчанні та високу чутливість до характерних особливостей вхідних даних, що робить їх придатними для функціонування в режимі реального часу за умови коректної реалізації адаптаційного механізму. Важливою перевагою RBFNN є можливість використання методів аналізу стійкості на основі теорії Ляпунова, що дає змогу формально довести стабільність керуючої системи за умови дотримання вимог адаптації. Разом із тим, такі моделі мають низку обмежень. Зі збільшенням розмірності вхідного простору значно зростає кількість необхідних центрів базисних функцій, що ускладнює структуру мережі та підвищує обчислювальні витрати. Крім того, за умов різкої зміни зовнішнього середовища виникає потреба у додаванні нових вузлів, що ускладнює конфігурацію порівняно з мережами фіксованої структури, такими як MLP. У завданнях, які потребують виявлення складних прихованих закономірностей у великих обсягах даних, RBFNN зазвичай поступаються глибоким нейронним мережам.

Глибокі нейронні мережі (DNN — Deep Neural Network) мають багаторівневу архітектуру з великою кількістю прихованих шарів і значним числом параметрів, що дає змогу моделювати складні, важко формалізовані залежності у даних. У системах управління морськими суднами DNN застосовуються переважно для прогнозування поведінки судна, оцінювання навігаційних параметрів та генерації оптимальних керуючих впливів [3]. Завдяки здатності автоматично виокремлювати ознаки високого рівня без

попереднього визначення функцій перетворення, ці моделі є придатними для роботи з великими та різноманітними даними: навігаційними сенсорними показаннями, маршрутними картами, параметрами довкілля. Перевагою DNN є висока універсальність та точність за наявності достатньо об'ємної та різноманітної навчальної вибірки. Водночас реалізація таких моделей супроводжується значними витратами обчислювальних ресурсів і часу на навчання. Ефективність DNN-контролерів істотно залежить від якості вихідних даних і коректного добору гіперпараметрів – глибини мережі, типу активаційних функцій, алгоритму оптимізації та розміру вибірки. При некоректних налаштуваннях можливе перенавчання, за якого мережа втрачає здатність узагальнювати інформацію та не забезпечує стабільної поведінки в нових ситуаціях. За умов обмежених обчислювальних можливостей на борту судна впровадження DNN у контур реального часу також може бути ускладнене.

Адаптивні нечітко-нейромережеві системи (ANFIS — Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) реалізують гібридний підхід, що поєднує можливості нейромережевого навчання та апарат нечіткої логіки. Архітектура ANFIS базується на моделі нечіткого висновку Такгі-Сугено першого порядку і зазвичай включає п'ять або шість рівнів. Початкові шари відповідають за формування функцій належності вхідних параметрів, проміжні – за обробку правил нечіткого висновку, а вихідний шар формує результат у вигляді лінійної комбінації змінних. Така структура дозволяє одночасно використовувати числові дані та експертні правила, що є особливо важливим за умов високої невизначеності та неповноти математичних моделей. ANFIS-контролери демонструють високу ефективність у задачах утримання курсу за нестабільної динаміки, зокрема при впливі хвиль, вітру та течій [5]. Вони забезпечують підвищену робастність і адаптивність, особливо коли доступна апіорна інформація про поведінку об'єкта керування. Однак зі збільшенням кількості вхідних змінних або розширенням набору правил різко зростає кількість параметрів, що робить модель більш громіздкою та підвищує вимоги до обсягів навчальних даних. Додатковою складністю є необхідність експертної участі на етапі початкового налаштування, зокрема при визначенні функцій належності та структури правил, що обмежує універсальність застосування. Попри це, за умови коректної конфігурації ANFIS забезпечує високу стійкість і здатність до компенсації складної нелінійної динаміки, що робить цю архітектуру ефективним інструментом для морської навігації.

Для систематизації отриманих даних і порівняння характеристик розглянутих архітектур нижче наведена таблиця, що відображає їх порівняльний аналіз за основними технічними критеріями: точністю утримання курсу, стійкістю до зовнішніх збурень (адаптивністю), складністю навчання і обчислювальними витратами.

Таблиця 1 — Порівняння нейромережевих моделей утримання курсу за ключовими характеристиками

Модель	Точність утримання курсу	Стійкість до збурень	Вимоги до навчання	Обчислювальна складність	Примітки
MLP	Середня при простій архітектурі, вища при глибокому навчанні	Низька (працює як фіксований регулятор)	Низькі (потрібні приклади, навчання відбувається офлайн)	Середня (1–2 прихованих шари)	Легко реалізується, можливе перенавчання без налаштування
RBFNN	Висока за передбачуваної поведінки судна	Висока (добре адаптується до локальних змін)	Середні (можна навчати на невеликих даних, підтримує онлайн-налаштування)	Середня (один прихований шар)	Швидко адаптується, важливо правильно обрати центри
DNN	Дуже висока за наявності великого обсягу даних	Середня–висока (залежить від якості даних)	Високі (потрібен великий обсяг даних і ресурси)	Висока (багато шарів і параметрів)	Виявляє складні залежності, потребує значних ресурсів
ANFIS	Дуже висока (поєднує правила і дані)	Дуже висока (гнучко реагує на зовнішні впливи)	Високі (необхідне налаштування правил і параметрів)	Висока (багато обчислень і налаштувань)	Поєднує нейромережу з правилами управління, підвищує стабільність

Порівняльний аналіз показує, що нейромережеві моделі мають різну ефективність залежно від умов експлуатації. DNN забезпечують найвищу точність, але потребують великих обсягів даних і ресурсів. RBFNN швидко адаптуються до змін, ефективні при локальних збуреннях, але чутливі до налаштувань. MLP залишаються простим рішенням у випадках обмежених ресурсів, проте поступаються в адаптивності та стійкості. На основі поєднання ключових критеріїв — точності, адаптивності, стійкості та практичної реалізованості — ANFIS виявляється найбільш збалансованим варіантом для більшості суднових задач. Її здатність поєднувати дані й експертні правила дозволяє забезпечити стабільне утримання курсу навіть у складних морських умовах.

Висновки. Проведене дослідження підтвердило ефективність використання нейромережевих моделей для задач утримання курсу судна. Серед розглянутих архітектур найбільш універсальною і практично доцільною виявилася ANFIS, яка дозволяє досягти високої точності та стійкості навіть за обмежених ресурсів і в умовах нестабільної морської динаміки. Інші моделі, такі як DNN і RBFNN, демонструють сильні сторони у вузьких сценаріях — за наявності великих навчальних вибірок або при потребі швидкої адаптації відповідно. MLP можуть використовуватись у простіших або навчальних системах, але поступаються в адаптивності та стійкості.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розвиток гібридних архітектур, які поєднують переваги розглянутих підходів, забезпечуючи ще кращу керованість судна за мінливих умов середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zheng, M., Chen, Q., Yan, D., & Zhang, Y. (2025). A Comprehensive Review of Ship Automatic Rudder Technology: Development, Challenges, and Prospects. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(5), 851. <https://doi.org/10.3390/jmse13050851>
2. Kalinichenko, Y.; Rudenko, S.; Holovan, A.; Vasalatii, N.; Zaiets, A.; Koliesnik, O.; Santana, L.O.; Dolynska, N. Smart Routing for Sustainable Shipping: A Review of Trajectory Optimization Approaches in Waterborne Transport. *Sustainability* 2025, 17, 8466. <https://doi.org/10.3390/su17188466>
3. Zhang Q., Jiang N., Hu Y., Pan D. (2017) Design of Course-Keeping Controller for a Ship Based on Backstepping and Neural Networks. *Int. J. e-Navigation Marit. Econ.*, 7, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.enavi.2017.06.004>
4. Yuan, J., Meng, H., Zhu, Q., & Zhou, J. (2016). Course Control of Underactuated Ship Based on Nonlinear Robust Neural Network Backstepping Method. *Computational intelligence and neuroscience*, 2016, 3013280. <https://doi.org/10.1155/2016/3013280>
5. Shahroz Unar, Mukhtiar Ali Unar, Zubair Ahmed Memon, Sanam Narejo (2022). A Neural Network Based Heading and Position Control System of a Ship. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 41(2):172–177. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.00757>
6. Ma, G., Li, D., Wei, Q., & Song, L. (2025). Neural Unilateral Nussbaum Gain Sliding Mode Control for Uncertain Ship Course Keeping with an Unknown Control Direction. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(5), 846. <https://doi.org/10.3390/jmse13050846>
7. Sun, Wenli, Gao, Xu, Deep Learning-Based Trajectory Tracking Control for Unmanned Surface Vehicle, *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 8926738, 22 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8926738>
8. Pham, D.-A., & Han, S.-H. (2023). Designing a Ship Autopilot System for Operation in a Disturbed Environment Using the Adaptive Neural Fuzzy Inference System. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(7), 1262. <https://doi.org/10.3390/jmse11071262>

СЕКЦІЯ:
СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРІВ
МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ
SECTION
DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR MARITIME TRANSPORT
OPERATORS

MULTICRITERIA SELECTION OF A PORT-APPROACH TACTIC UNDER SENSOR DEGRADATION: THE DOVER CASE (DIGRAPH3/RUBIS)

D. Volkov, P. Nosov

*Odessa National Maritime University
(Ukraine)*

Introduction. Modern port-approach operations rely on a multilayer sensor ecosystem (radar, GNSS, AIS, echosounder, gyrocompass, log, and ECDIS with data integration) [1, 2]. Degradation or failure of sensors materially reduces bridge situational awareness, elevates the risk of faulty maneuvers, and increases the bridge team’s cognitive load. In such conditions, the priorities shift to visual navigation, pilotage support (pilot, PPU), tug assistance, more frequent interaction with VTS, reserve position-fixing methods (bearings, parallel indexing), and strict compliance with procedures.

To provide transparent and reproducible justification of decisions, we apply multicriteria analysis based on outranking. Unlike utility-sum approaches, outranking allows: (1) working with indifference/preference/veto thresholds, (2) registering incomparability, and (3) explaining domination on a subset of criteria. The RUBIS procedure in Digraph3 supplies a reasoned “best choice” recommendation and a full ranking with an explicit graph-based interpretation [3, 4].

Problem statement and scenario. The vessel performs approach/entry to Dover under sensor degradation (migrating interference, temporary GNSS loss, unstable ECDIS integration, radar/AIS glitches) (Fig. 1). This necessitates a shift of emphasis: stronger role of pilot/PPU, tug engagement, speed reduction, increased VTS reporting frequency, deployment of lookouts, and methods.

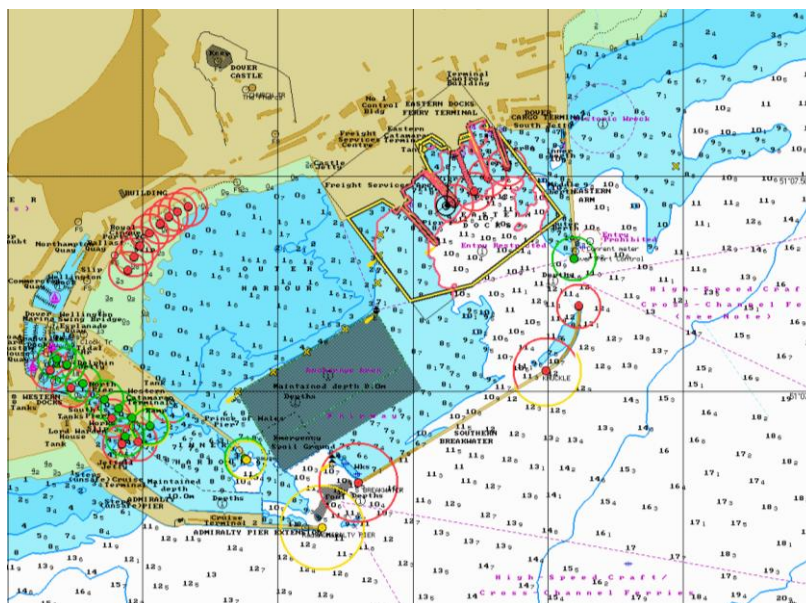


Figure 1 — Location of the port of Dover

Alternatives (A–H): A — Minimal; B — Balanced; C — Fog/High density; D — Degraded; E — Heavy weather & strong tides; F — High throughput ops; G — Enhanced safety (PPU + two tugs); H — Eco-speed.

Criteria and optimization directions:

SAF — safety (max, with veto);

COM — compliance with rules/procedures (max);

BRG — bridge workload (min);

TIME — time to all-fast (min);

TIDE — alignment with tidal window (max);

MAN — maneuvering support/controllability (max);

SEN — sensor redundancy/reliability (max);

ENV — environmental impact (min).

Baseline weights (sum = 100).

SAF=40 (veto threshold 20), COM=22, BRG=10, TIME=10, TIDE=8, MAN=5, SEN=3, ENV=2.

Constraints and assumptions. Availability of pilot/PPU and tugs is considered a controllable option; minimally sufficient visibility is ensured; regulatory requirements and SOPs are mandatory; environmental aspects are considered but do not dominate safety under degraded-conditions (Fig. 2).

r(x S y)	A	B	C	D	E	F	G	H
A	—	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-0.58	-1.00	-1.00
B	1.00	—	0.06	0.80	0.00	1.00	-0.56	0.80
C	1.00	1.00	—	1.00	0.82	1.00	0.72	1.00
D	1.00	0.97	-0.27	—	0.14	1.00	-0.56	0.87
E	1.00	1.00	0.87	1.00	—	1.00	0.34	1.00
F	1.00	0.77	-0.54	0.55	-0.53	—	-0.56	0.72
G	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—	1.00
H	1.00	0.59	-0.50	0.71	-0.12	0.96	-0.68	—

Valuation domain: [-1.00; +1.00]

Figure 2 — Outranking matrix $r(x>y)$

Methodology in the outranking and RUBIS of Digraph3

Bipolar outranking. For a pair of alternatives (x, y), we compute concordance with weights and q/p thresholds and check discordance, including a possible veto on SAF.

The result is a bipolar relation $r(x>y) \in [-1;1]$, where $r > 0$ means «x is at least as good as y», and $r < 0$ means «y dominates x».

RUBIS (Best Choice Recommendation). The best choice is identified via the kernel of the relation (alternatives not dominated by others). A complete ranking is then obtained with Ranking-by-Choosing. The method remains explainable: for key pairs one can see which criteria support the preference, where the veto fires, and why, for example, $G > A$.

Implementation. We use PerformanceTableau / BipolarOutrankingDigraph (Digraph3) and Graphviz (dot) for visualizations (rankdir = BT, «better nodes at the top»). All sensitivity tests are executed with weights normalized to a 100-point total (Fig. 3).

```
Best choice recommendation(s) (BCR)
(in decreasing order of determinateness)
Credibility domain: [-1.00,1.00]
==> potential first choice(s)
* choice      : ['C', 'E', 'G']
  independence : 0.34
  dominance    : 0.56
  absorbcency  : -1.00
  covering (%) : 80.00
  determinateness (%) : 83.88
  - characteristic vector = { 'G': 1.00, 'C': 0.72, 'E': 0.34, 'F': -0.56, 'D': -0.56, 'B': -0.56, 'H': -0.68, 'A': -1.00, }
==> potential last choice(s)
* choice      : ['A']
  independence : 1.00
  dominance    : -1.00
  absorbcency  : 0.58
  covered (%)  : 100.00
  determinateness (%) : 97.38
  - characteristic vector = { 'A': 1.00, 'F': -0.58, 'H': -1.00, 'G': -1.00, 'E': -1.00, 'D': -1.00, 'C': -1.00, 'B': -1.00, }

Execution time: 0.006 seconds
*****
4. RANKING BY CHOOSING
Threading ...
Exiting computing threads
Ranking by recursively first and last choosing
1st ranked ['G']
  2nd ranked ['B', 'E']
    3rd ranked ['C']
      4th ranked ['D']
        4th last ranked ['D']
          3rd last ranked ['H']
            2nd last ranked ['F']
              1st last ranked ['A']
5. EXPORT PRAISE
*----- exporting a dot file for GraphViz tools -----*
Exporting to C:\gv_out\dovertest\dovertest_bcr_variant5.dot
```

Figure 3 — RUBIS: Best Choice Recommendation (BCR) and Ranking-by-Choosing

Scenario data and evaluation tables. Alternatives are scored on a 0–100 scale for each criterion (min-criteria are subsequently treated for minimization). The verified heatmap contains the following values (order: SAF, COM, BRG, TIME, TIDE, MAN, SEN, ENV):

A (Minimal): 58, 72, 36, 32, 56, 40, 40, 40
 B (Balanced): 80, 92, 52, 40, 70, 68, 58, 45
 C (Fog/High density): 88, 94, 74, 50, 78, 72, 70, 50
 D (Degraded): 78, 90, 62, 44, 66, 66, 52, 45
 E (Heavy weather & strong tides): 86, 92, 66, 48, 86, 84, 62, 55
 F (High throughput ops): 76, 90, 46, 34, 64, 60, 56, 42
 G (Enhanced safety): 92, 94, 78, 54, 86, 88, 72, 55
 H (Eco-speed): 78, 86, 40, 48, 70, 60, 60, 30

For SAF, a veto = 20 is set: alternatives with insufficient safety cannot “outvote” other criteria even when TIME/BRG are attractive.

Results. With the baseline weight vector (sum=100) and the table above:

Best Choice (RUBIS): G (Enhanced safety);

Worst Choice: A (Minimal).

Complete ranking (consistent with the outranking graph):

$G > C \approx E > B > D > H > F > A$

(A swap between C and E is possible within rounding; other positions are stable.)

Key explanatory pairs: $G > A$ thanks to higher SAF ($92 \leftrightarrow 58$), COM ($94 \leftrightarrow 72$), and much better MAN ($88 \leftrightarrow 40$). $B > F$ illustrates an acceptable safety compromise against «time pressure». $E > D$ reflects the superiority of maneuverability/tidal alignment under harsh hydrometeorological conditions.

Sensitivity analysis (all tests with weights normalized to sum to 100).

Test 1: SAF 40→44 (+10% to SAF; other weights reduced proportionally).

Result: G retains leadership; the gap to C/E increases.

Test 2: COM 22→19 (–15% to COM; other weights grow proportionally).

Result: Top-2 remains stable (G leading); middle positions shift marginally.

Test 3: SEN 3→6 (+100% to SEN; other weights reduced proportionally).

Result: Limited impact due to the small baseline weight; G and C slightly strengthen; the top remains unchanged.

Test 4 (combined): SAF 40→36 (–10%), TIME 10→14 (+40%), COM 22→20 (–10%), with normalization.

Result: G remains the best choice; the gap to C/E narrows; advances of “time-driven” strategies (F, A) do not pass the safety barrier due to the SAF veto.

Robustness conclusion. The decision is stable to moderate (± 10 –15%) shifts in SAF/COM; material rearrangements arise only with radical TIME weight increases, which contradict the degraded-conditions safety doctrine (Fig. 4).

```
Best choice recommendation(s) (BCR)
(in decreasing order of determinateness)
Credibility domain: [-1.00,1.00]
=== >> potential first choice(s)
* choice      : ['C', 'E', 'G']
independence  : 0.33
dominance     : 0.58
absorbency    : -1.00
covering (%)  : 80.00
determinateness (%) : 84.25
- most credible action(s) = { 'G': 1.00, 'C': 0.73, 'E': 0.33, }

=== >> potential last choice(s)
* choice      : ['A']
independence  : 1.00
dominance     : -1.00
absorbency    : 0.60
covered (%)   : 100.00
determinateness (%) : 97.48
- most credible action(s) = { 'A': 1.00, }

Execution time: 0.004 seconds
```

Figure 4 — The single-factor tests

Recommended tactic: G (Enhanced safety) - engage two tugs, use PPU, reduce speed, increase VTS reporting frequency, deploy lookouts, apply reserve position-fixing, and maintain readiness for an «abort approach».

Fallback tactic: C (Fog/High density) when tug availability is limited.

Not recommended under degraded conditions: A, F, H - unacceptable safety trade-offs despite gains in TIME/BRG/ENV.

Conclusions. The model with a SAF veto correctly excludes alternatives unsafe under sensor uncertainty, even if they are attractive in TIME or BRG. The graph interpretation makes the recommendation transparent for the bridge, pilotage, and VTS. The approach is easily transferable to other ports/conditions, requiring only adaptation of the performance table, weights/thresholds, and available resources (tugs, PPU, SOPs).

It should also be noted that the proposed software toolkit will be useful during cadets' simulator training and sea-going practice, as well as within the cadet program. Early preparation of future specialists in the critical information infrastructure of maritime transport will help reduce risk levels in real-world navigation under uncertainty caused by software and hardware failures of onboard equipment [5–7].

1. The bipolar outranking model combined with RUBIS delivered a reproducible tactical choice under degraded conditions.

2. Enhanced safety (PPU + two tugs) is a stable leader. Minimal is a consistent outsider [8,9].

3. Sensitivity analysis with weight normalization confirmed robustness; material shifts appear only with non-normative increases in the TIME weight.

4. The results are suitable for SOPs, «decision-making under uncertainty» training, and planning of port operations in environments with elevated risks of sensor degradation [10,11].

REFERENCES

1. Nosov, P. S., Ben, A. P., Matejchuk, V. N., & Safonov, M. S. (2019). IDENTIFICATION OF «HUMAN ERROR» NEGATIVE MANIFESTATION IN MARITIME TRANSPORT. Radio Electronics, Computer Science, Control, (4). <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20>.

2. Zinchenko, S., Kobets, V., Tovstokoryi, O., Nosov, P., & Popovych, I. (2023). Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure. In CEUR Workshop Proceedings (Vol. 3403, Paper 44, pp. 582-594). CEUR-WS.org.

3. Bisdorff, Raymond. Algorithmic Decision Making with Python Resources: From Multicriteria Performance Records to Decision Algorithms via Bipolar-Valued Outranking Digraphs. Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2022. vol. 324. ISBN 978-3-030-90927-7. DOI: 10.1007/978-3-030-90928-4.

4. Gansner E, North S. (2000) An open graph visualization system and its applications to software engineering. Softw Pract Exp 30(11):1203–1233. <https://graphviz.org/documentation>.

5. Косенко Ю.І., Носов П.С. Механізми ідентифікації та трансформації «знань» суб'єкта критичної інфраструктури // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Збірник наукових праць [Текст]. Вип. 3(4) Одеса: Наука і техніка 2013, С. 99–104

6. Носов П.С., Тонконогий В.М. Використання компонентів мислення експертними системами, як фактору адаптивного впливу в автоматизованих навчальних системах // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одеса: ОН-ПУ, 2005. Спецвыпуск. С. 101–105.

7. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одеса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006. С. 118–122.

8. Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Serhii Zinchenko, Vasyl Cherniavskiy, Viktor Plokhikh, Halyna Nosova (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly's

graph. Revista Inclusiones, Vol: 7 num Especial, pp. 90-103.

9. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Popovych I.S., Ben A.P., Nahrybelnyi Y.A., Mateichuk V.M. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 1. – P146-161. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-1-15>.

10. Popovych, I. S., Cherniavskiy, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective “The Ship’s Captain and the Pilot” Interaction Formation by Means of Training Technologies. Revista ESPACIOS, Vol. 41(№11). Page 30. Retrieved from: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n11/20411130.html>.

11. Nosov P., Palamarchuk I., Zinchenko S., Popovych I., Nahrybelnyi Y., Nosova H. Development of means for experimental identification of navigator attention in ergatic systems of maritime transport // Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics, 2020. № 1(97). P. 58–69. <https://doi.org/10.31489/2020Ph1/58-69>.

DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT SYSTEMS BASED ON DIGRAPH3 PYTHON FOR SHIPPING SAFETY PROJECT MANAGEMENT TASKS

P. Nosov¹, Tina Perić², Gojko Nizić²

¹*Odessa National Maritime University*

(Ukraine)

²*Faculty of Maritime Studies, University of Split*

(Croatia)

Introduction. The Bosphorus Strait is one of the most demanding segments of global shipping routes: a narrow, winding fairway with bridge spans, near-shore shoals, local currents, and abrupt visibility changes, all superimposed on dense, counter-flow traffic of large vessels. Under such conditions, even a short-horizon decision by the officer of the watch-turn, slow down, or «hold way» — materially affects close-quarters safety, throughput, and port operations' time windows [1]. At the same time, stakeholders increasingly require transparent and auditable decisions: administrations, underwriters, and VTS operators expect recommendations that are consistent with the COLREGs, local SOPs, and established safety thresholds (CPA, TCPA, UKC) [2].

Traditional «manual» approaches or simple weighted sums are often inadequate in real traffic: criteria are conflicting (safety and time), measurements are uncertain, and rigid «black-and-white» rules do not explain intermediate situations. We need a formal yet explainable decision aid that:

- combines heterogeneous, oppositely directed criteria with indifference, preference thresholds q , p , and veto v aligned with regulations;
- allows incomparability of pairs when data are incomplete or criteria conflict, instead of imposing an artificial linear scale;
- operates quickly and reproducibly (auditable «data $\rightarrow$ model $\rightarrow$ graph») in a format suitable for training and operational practice.

The bipolar outranking approach (Digraph3) provides exactly this: it builds a valued oriented digraph $S(a, b) \in [-1, 1]$ over maneuver alternatives with due respect to q , p , v thresholds and veto, and immediately visualizes the result in Graphviz while logging all artifacts as Digraph3 files [3]. A Python and JupyterLab with Graphviz implementation forms an accessible pipeline for training simulators, «what-if» analysis, and producing auditable materials [4].

Accordingly, the work is relevant because it delivers fast, explainable, and regulation-compliant maneuvering advice for confined waters and a methodology that scales across scenarios (seasonality, traffic density, port restrictions) and is applicable both in navigator training and real VTS/port shifts.

1. Problem setting and goal.

We consider a short-term close-quarters encounter in the Bosphorus under moderate weather and traffic. Own ship (A) proceeds northbound; a target vessel (B) proceeds southbound. The decision space contains three typical, COLREGs-compliant actions:

- A1 – starboard alteration + 20° (COG $\approx$ 025°T);
- A2 – reduce speed to 8 kn (COG 005°T kept);
- A3 – brief hold-way at 2 kn (COG 005°T kept).

The objective is to produce an explainable recommendation that balances safety (CPA, TCPA, UKC, weather compliance) against time and traffic penalties, and that is auditable against formal thresholds in line with COLREGs and local SOPs.

2. Data.

Input (harmonized units): SOG in kn, COG in degT, R_0 in NM, depth in m.

Relative motion and CPA/TCPA are computed from:

Speed conversion: $v_{NM}/min = SOG/60$.

Polar–Cartesian: $(x, y) = (R\sin\theta, R\cos\theta)$ with θ the true bearing.

Velocity components: $(v_x, v_y) = (v\sin\phi, v\cos\phi)$ for COG ϕ .

Relative velocity $\vec{v}_r = \vec{v}_B - \vec{v}_A$.

$$TCPA = -\frac{\vec{r}_0 \cdot \vec{v}_r}{\|\vec{v}_r\|^2}; \quad CPA = \|\vec{r}_0 + \vec{v}_r TCPA\| \text{ when } TCPA \geq 0$$

Under-keel clearance: $UKC = \max(0, \text{depth} - \text{draft})$.

These formulae are built into the functions `cpa_tcpa()` and `ukc()`.

3. Criteria and thresholds.

Criteria set G and directions:

g_1 — COLREG compliance (Boolean, veto capable; direction max);

g_2 — CPA (NM; direction max; thresholds q_2, p_2);

g_3 — TCPA (min; direction max; q_3, p_3);

g_4 — UKC (m; direction max; q_4, p_4 , veto capable);

g_5 — Weather OK (Boolean, veto capable; direction max);

g_6 — Traffic impact (index; direction min; q_6, p_6);

g_7 — ETA penalty (min; direction min; q_7, p_7).

Global veto (kill switch). An alternative a is forbidden if:

COLREG or weather is violated; or $UKC < UKC_{min}$;

or a combined close-quarters veto triggers: $CPA < CPA_{safe} \wedge TCPA < TCPA_{min}$.

```
criteria = OrderedDict([
    ('g1_COLREG', ('max', 4.0, 0.0, 0.0, True, 'bool')),
    ('g2_CPA', ('max', 5.0, 0.10, 0.30, True, 'NM')),
    ('g3_TCPA', ('max', 3.0, 2.0, 5.0, True, 'min')),
    ('g4_UKC', ('max', 3.0, 0.5, 1.0, True, 'm')),
    ('g5_Weather_OK', ('max', 2.0, 0.0, 0.0, True, 'bool')),
    ('g6_TrafficImpact', ('min', 2.0, 0.05, 0.15, False, 'idx')),
    ('g7_ETA_penalty', ('min', 1.0, 0.5, 2.0, False, 'min')),
])
```

4. Bipolar outranking model.

For each criterion g with weight $w_g > 0$ and indifference thresholds (q_g, p_g) , let $\Delta_g(a, b)$ be the signed advantage of a over b in the benefit sense:

for $g \in \text{max}$: $\Delta_g(a, b) = x_g(a) - x_g(b)$;

for $g \in \text{min}$: $\Delta_g(a, b) = x_g(b) - x_g(a)$.

The local bipolar contribution $s_g(a, b)$ is (1):

$$s_g(a, b) = \begin{cases} 0, & |\Delta_g| \leq q_g \text{ (indifference)} \\ +w_g, & \Delta_g \geq p_g \text{ (strict preference)} \\ -w_g, & \Delta_g \leq -p_g \text{ (strict counter-preference)} \\ +\frac{1}{2}w_g, & 0 < \Delta_g < p_g \\ -\frac{1}{2}w_g, & -p_g < \Delta_g < 0. \end{cases}$$

Additively aggregate:

If a veto triggers for a , we set $S(a, b) = -1$ for all $b \neq a$ (negative dominance). The valuation domain is $[-1, 0, 1]$ with continuous values (no integer restriction). The relation is irreflexive: $S(a, a) = -1$.

5. Decision-construction and visualization.

Depending on the task:

Choice/Composition. Compute (pre-)kernels/cores for stable choices, or identify the top rank.

Ranking. Build `LinearOrder`.

Sorting. Use `QuantilesSortingDigraph` with 3–4 risk classes (Green/Amber/Red/...).

For operator briefing and audit:

export arguments (local comparisons, triggered thresholds, active veto) via `exportGraphViz` → `.dot` → PNG/SVG;

generate exploitable HTML/inline views (e.g., `showHTMLRelationMap` or inline SVG in Jupyter).

6. Implementation in Python/Digraph3.

The provided program follows this auditable pipeline:

A. Graphviz selection. `ensure_system_graphviz()` prepends the system Graphviz (`dot`) to `PATH` and runs `dot -c` to refresh plugin caches (critical for PNG/SVG on Windows).

B. Case data. Harmonised units; `cpa_tcpa()` and `ukc()` compute CPA/TCPA and UKC; a small ETA penalty models schedule impact.

C. Alternatives. Three manoeuvres $A1/A2/A3$ with computed metrics:

{CPA, TCPA, UKC, COLREG_ok, WX_ok, ETA penalty, Traffic impact}.

D. Criteria with q/p and veto flags. Encoded as an ordered dict with directions and weights.

E. Global veto. `violates_global_veto()` applies COLREG, Weather, UKC and combined close-quarters veto.

F. Outranking relation. The code maps the formulas above into `local_contribution()` and builds `relation[a][b]` as Decimal values in $[-1, 1]$.

G. Digraph3 export and load. `write_digraph_py()` writes actions, valuationdomain, and relation to `bosporus_out.py`; `Digraph('bosporus_out')` loads the instance. Diagnostics: `showShort()`, `showRelationTable()`, `showStatistics()`.

H. Graphviz rendering. First, `dg.exportGraphViz(basename)` emits `.dot`. Then a robust wrapper calls `dot` explicitly to produce PNG; if necessary, a «safe» `.dot` (labels stripped, $^{\circ} \rightarrow \text{deg}$) is created and rendered. The PNG is displayed inline in Jupyter.

This yields a valued oriented digraph whose positive arcs indicate «aaa is at least as good as b» under q-p-v logic with veto enforcement.

7. Interpretation example.

For a typical output (as in the accompanying run):

Relation table shows small positive margins $S(A1, A3) = +0.10$, $S(A2, A3) = +0.15$ and indifference $S(A1, A2) = S(A2, A1) = 0$.

The digraph thus contains two strict single arcs $A1 \rightarrow A3$ and $A2 \rightarrow A3$; there is no strict preference between $A1$ and $A2$ (pairwise indifference) (Fig.1).

Operationally, both a moderate starboard alteration ($A1$) and a controlled speed reduction ($A2$) are rational; a brief hold-way at 2 kn ($A3$) is weakly dominated given the chosen thresholds and weights. The recommendation is therefore a short-list $\{A1, A2\}$, with the final pick reflecting local maneuvering constraints (lane geometry, tug/squat considerations).

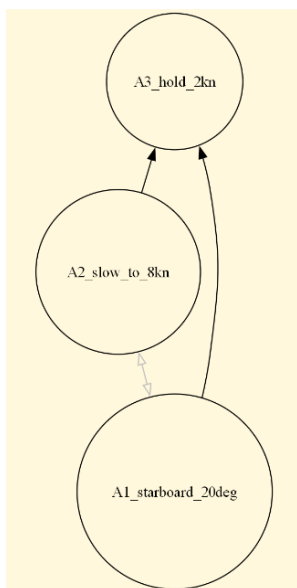


Figure — 1. Digraph: two strict single arcs $A1 \rightarrow A3$ and $A2 \rightarrow A3$

8. Software methods and tools.

Digraph3 core: valued digraphs, bipolar outranking, kernels/pre-kernels, linear orders, quantile sorting; deterministic, auditable algorithms (no «black box» learning).

Python (JupyterLab): reproducible notebooks, parameterized scenarios (*what-if*), automated logs.

Graphviz: *.dot* emission and PNG/SVG rendering; explicit CLI calls for robust cross-platform behavior.

Engineering practices: strict unit harmonization (kn, NM, m); explicit vetoes aligned with COLREGs/SOPs; fail-safe rendering path with label sanitization.

Conclusions. The Python, Digraph3, JupyterLab, and Graphviz stack enables a reproducible and explainable decision-support pipeline for close-quarters maneuvering in confined waters such as the Bosphorus. Bipolar outranking with (q, p, v) thresholds and explicit vetoes captures regulatory logic and handles epistemic uncertainty without forcing artificial linear scalars. The resulting valued digraph is immediately auditable (tables, graphs, logs), supports «what-if» sensitivity analysis, and scales from training tasks to operational briefs. This approach provides a rigorous, standards-consistent alternative to opaque scoring or ML black boxes when traceability and normative correctness are paramount.

Beyond operational value, the approach serves as a compact training laboratory for cadets. By parameterizing scenarios and thresholds, learners can model complex traffic and weather situations, observe how COLREG/SOP-aligned vetoes reshape the decision space, and practice evidence-based recommendation writing [5, 6]. Implementing and running the code in Python/Jupyter builds practical skills in DSS software development (data structures for actions/criteria, valuation domains, Graphviz rendering, audit logs), fosters algorithmic thinking about outranking kernels and linear orders, and reinforces technical English proficiency through English-language APIs, code comments, documentation, and interface messages [7].

REFERENCES

1. Nosov, P. S., Ben, A. P., Matejchuk, V. N., & Safonov, M. S. (2019). IDENTIFICATION OF «HUMAN ERROR» NEGATIVE MANIFESTATION IN MARITIME TRANSPORT. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4). 204–213. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20>.
2. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий. Materials of the XI «Modern information technologies in transport, MINTT–2019» May 28–30, 2019 Kherson, Ukraine. С

177–178.

3. Bisdorff, Raymond. Algorithmic Decision Making with Python Resources: From Multicriteria Performance Records to Decision Algorithms via Bipolar-Valued Outranking Digraphs. Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2022. — (International Series in Operations Research & Management Science; vol. 324). ISBN 978-3-030-90927-7. DOI: 10.1007/978-3-030-90928-4.

4. Gansner E, North S. (2000) An open graph visualization system and its applications to software engineering. *Softw Pract Exp* 30(11):1203–1233. <https://graphviz.org/documentation/>

5. Косенко Ю.І., Носов П.С. Механізми ідентифікації та трансформації «знань» суб'єкта критичної інфраструктури // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Збірник наукових праць [Текст]. — Вип. 3(4) — Одеса: Наука і техніка 2013, С. 99-104.

6. Носов П.С., Тонконогий В.М. Використання компонентів мислення експертними системами, як фактору адаптивного впливу в автоматизованих навчальних системах // Тр. Одес. політехн. ун-та. — Одеса: ОНПУ, 2005. — Спецвыпуск. — С. 101–105.

7. Mykhailo Sherman, Alona Yurzhenko. Experimental research on the formation of future ship engineers' communicative competence based on gamification approach. *Educational Dimension*. 2020. Volume 3. P. 251–266.

PROJECT MANAGEMENT APPROACHES TO NAVIGATION SAFETY IN NARROW PASSAGES BASED ON DIGRAPH 3 METHODS

P. Nosov

Odessa National Maritime University
(Ukraine)

Introduction. In narrow passages and during intensive approaches to ports, dispatching still relies on local instructions, the experience of VTS operators, and voice communication over VHF. Heuristics such as «first-come-first-served» and «pilot ready» work under simple conditions; however, during peak hours and under complex hydrometeorological situations, they do not ensure reproducibility, transparent audit, or a balanced trade-off between safety and logistics. The Bosphorus Strait is a «laboratory» of complex narrow waters: a winding fairway, two-layer countercurrents, intersecting ferry traffic, under-bridge constraints, frequent fog; for VLCCs — restrictions on maneuverability and mandatory and recommended pilotage, as well as the human factor [1,2]. Under such conditions, a “simple” order of arrival does not reflect the differences between large-tonnage and maneuverable vessels or between segments with minimal UKC and relatively «free» stretches. Algorithmic aggregation makes it possible to rapidly integrate safety, hydrological, logistical, and resource factors into a transparent queue: first, options with the lowest risk of conflict (CPA/TCPA, UKC, compliance with TSS/COLREG), then logistics (ETA, berth readiness), environmental aspects, and resources. This is also useful for students undergoing simulator training, forming an individual learning trajectory [3,4]. Therefore, a DSS approach is proposed that aggregates ordered criterion preferences into a majority-difference digraph, checks the decision using the Plurality / IRV / Borda / Condorcet rules, and validates consistency with a NetFlows heatmap [5,6].

Research aim. To create a reproducible and explainable DSS module for prioritizing vessels in navigational narrow passages with safety as the determining priority, which transforms multicriteria judgments into a stable order of decisions and produces verifiable artifacts for operational use and audit.

Research objectives:

1. To describe the subject domain and construct linear profiles: to define alternatives, a set of criteria with integer weights, input assumptions, and data sources.
2. To implement the Plurality, IRV, Borda, and majority-margins/Condorcet procedures, integrating ex-ante veto (COLREG/TSS, UKC_min, CPA/TCPA) to eliminate unacceptable options before aggregation.
3. To provide visualizations (GraphViz graph, pairwise margins matrix, NetFlows heatmap), audit protocols, and structured storage of execution artifacts.
4. To test the module on the Bosphorus case and demonstrate adaptation to other narrow passages (Singapore/Dover) by retuning weights and veto thresholds.

The main material of the study. In order to transform disparate safety, hydrological, and logistical factors into a transparent decision queue, we construct a sequential DSS pipeline: first, we form the input data as a set of alternatives and a system of criteria with weights, after which we perform ordinalization — presenting each criterion’s evaluation in the format of linear ballots without ties. Next, we carry out rapid consistency validation using the basic Plurality, IRV, and Borda rules, which allows us to identify an obvious leader or conflict points early. In the following step, we build the matrix of pairwise majority differences $M(x,y)$ and the corresponding Majority-Margins Digraph, which renders the dominance relation explicit and prepares the basis for a more rigorous analysis.

After this, we verify the existence of a Condorcet winner and test the profile for the presence of chordless cycles, in order to exclude ordinal paradoxes and strengthen the reproducibility of results. To enhance explainability, we perform graph visualization in GraphViz and construct a NetFlows heatmap with Kendall’s τ correlations, which shows the

degree to which individual criteria align with the global order. The pipeline concludes with the formation of reporting and audit artifacts (HTML, PNG/SVG) that record not only the outcome but also the logic by which it was obtained.

For such a scheme to operate reliably in daily practice, we adhere to simple engineering principles: we minimize environment configuration (JupyterLab, Digraph3, the presence of GraphViz in PATH), maintain a clear structure for output files in the `outputs_practice/` directory, and apply critically important veto conditions — compliance with COLREG/TSS, sufficient UKC, and safe CPA/TCPA thresholds — already before the aggregation step, in order to filter out unacceptable alternatives and prevent result cyclicity.

Formal Model.

We describe the formal approaches and algorithmization of the study.

Entities, spatio-temporal context, and assumptions

Planning window. A discrete interval T (e.g., the next 2–6 hours) during which the decision on queueing/priority for entry/transit is made.

Geography. The Bosphorus Strait with constraining segments (fairway bends, under-bridge passages, intersections with local ferry traffic). Critical points for evaluating CPA/TCPA, UKC, and TSS/COLREG are given by a prescribed set of control reaches L .

Alternatives (vessels). A fixed set:

$C = \{S1: \text{Bulk}_{180m}, S2: \text{VLCC}_{320m}, S3: \text{Feeder}_{140m}, S4: \text{RoPax}_{200m}, S5: \text{GenCargo}_{120m}\}$.

Input navigational data (over T). AIS tracks; forecasts of currents/wind/visibility; hydrography (depths, seabed profile); TSS status; ferry schedules; availability of pilotage/tugs; berth readiness.

General assumptions.

The set C is fixed over T ;

For each criterion, there exists a consistent ordination (a complete order without ties);

Veto conditions are applied before aggregation.

Criteria, weights, and optimization direction

We define the set of criteria / «voters» with integer weights:

$$V = \{v_1, \dots, v_7\}, (w_{v_1}, \dots, w_{v_7}) = (5, 4, 4, 3, 3, 2, 2), W = \sum_v w_v = 23$$

Criterion semantics and ordering directions:

v_1 — Approach safety (CPA/TCPA), weight 5, direction max (safer is better).

v_2 — UKC/Dimensions (minimum under-keel clearance on critical reaches, consonance with fairway geometry), weight 4, max.

v_3 — Compliance with TSS/COLREG, weight 4, max.

v_4 — Environmental/regulatory constraints (e.g., risk/conditions of passage for certain vessel types), weight 3, max.

v_5 — Logistics/ETA (penalty for deviation from planned ETAs), weight 3, min (smaller penalty is better).

v_6 — Currents/Tides (alignment with current windows and maneuverability), weight 2, max.

v_7 — Berth/terminal readiness, weight 2, max.

Veto conditions (ex-ante filtering of alternatives).

An alternative $x \in C$ is excluded before ranking is formed if any of the following holds:

COLREG/TSS: a regime violation that cannot be rectified within TSS_COLREG_ok).

UKC: $\min_{\ell \in L} \text{UKC}(x, \ell) < \text{UKC}_{\min}$ (a prescribed threshold for a reach/class of vessels).

CPA/TCPA (combined veto): $\text{CPA}(x) < \text{CPA}_{\text{safe}} \wedge \text{TCPA}(x) < \text{TCPA}_{\min}$ for any relevant conflict on L .

After filtering, we obtain the subset of admissible alternatives $C^{\text{ok}} \subseteq C$. The subsequent

model operates on C^{ok} (in our case, on all five S1–S5 if no veto triggers).

Criterion indices and ordination (linear ballots)

For each criterion $v \in V$ we define a criterion index $s_v(x)$ (a numerical score respecting the max/min direction and local straight regulations). Examples specialized to the Bosphorus:

$s_{v1}(x)$: aggregated approach-safety index (a monotone transform of CPA, TCPA with weights for reaches L).

$s_{v2}(x)$: minimum UKC on L with correction for size/draft; larger is better.

$s_{v3}(x)$: indicator/score of TSS/COLREG compliance with penalties for risky maneuvers; larger is better.

$s_{v4}(x)$: compliance with environmental/regulatory constraints (regimes for dangerous cargoes, weather-driven restrictions, etc.); larger is better.

$s_{v5}(x)$: ETA penalty (minimization of lateness/slot violation); smaller is better.

$s_{v6}(x)$: favorability of transit relative to the Bosphorus two-layer currents (synchronization with windows); larger is better.

$s_{v7}(x)$: readiness of berth/service chain (pilots/tugs/mooring gangs); larger is better.

From the numerical $s_v(x)$ we form complete linear orders π_v (without ties) by sorting on s_v the criterion's direction (max — descending, min — ascending) with a fixed tie-break (e.g., by IMO number or ID $\in \{S1, \dots, S5\}$).

In our case (consistent with the processed profile), the linear ballots are:

π_{v1} : S3>S4>S1>S5>S2,

π_{v2} : S3>S1>S4>S5>S2,

π_{v3} : S4>S1>S3>S5>S2,

π_{v4} : S3>S5>S4>S1>S2,

π_{v5} : S4>S1>S3>S2>S5,

π_{v6} : S3>S4>S5>S1>S2,

π_{v7} : S1>S4>S3>S5>S2.

Binary contributions and the majority-difference matrix.

For each $v \in V$ and each ordered pair $(x, y) \in C^{ok} \times C^{ok}$:

$$b_v(x, y) = \begin{cases} +1, & \text{if } x \succ_{\pi_v} y, \\ -1, & \text{if } y \succ_{\pi_v} x, \\ 0, & \text{if } x = y. \end{cases}$$

Weighted majority difference:

$$M(x, y) = \sum_{v \in V} w_v b_v(x, y), \quad M(x, y) \in [-W, +W] = [-23, +23],$$

and the zero-sum antisymmetry $M(x, y) + M(y, x) = 0$. Majority-Margins Digraph. An oriented graph $G = (C^{ok}, E)$ with an arc $x \rightarrow y$ if and only if $M(x, y) > 0$ (the arc weight equals the margin magnitude). This is a completely oriented tournament with weights (no loops).

Concepts of the winning vessel and coherence indicators

Plurality (uninominal). Weighted “first places” per π_v ; the maximum wins.

IRV (instant runoff). Iterative deletion of the weakest by weighted first places until an absolute majority.

Borda. Minimal weighted sum of rank positions.

Condorcet winner: x^* , such that $M(x^*, y) > 0$ for all $y \neq x^*$ (in our case—S3).

Cyclicity (chordless circuits). Presence of minimal chordless cycles in G ; absent in the case study (coherent profile).

Determinateness. The percentage of clearly determined pairwise relations (approximately ~84.8% in our run).

NetFlows outranking.

We normalize margins to a bipolar outranking characteristic $r(x, y) \in [-1, 1]$, from which we compute the flows:

$$\phi^+(x) = \frac{1}{|C^{ok}| - 1} \sum_{y \neq x} r(x, y).$$

The global order is given by decreasing $\phi(x)$. For interpretation, we build a NetFlows heatmap and evaluate Kendall's τ correlations between each criterion order π_v and the global order (the closer to +1, the more the criterion aligns with the result).

Visualization and audit

Matrix $M(x, y)$: HTML table (warm color scale $[-23, +23]$).

Dominance graph. Export to GraphViz (.dot) and render to .png/.svg with visualization parameters (rankdir = BT, dpi, margins).

NetFlows heatmap. HTML with interactive tooltips, including τ -correlations.

Decision logs. Filenames, timestamps, environment versions (JupyterLab 3.4.4, Digraph3, GraphViz in PATH), weight values, applied veto thresholds—for reproducibility and audit.

Formal decision procedure (summary).

Apply the veto filter to $C \rightarrow$ obtain C^{ok} .

For each criterion v compute $s_v(x)$ and generate the linear order π_v on C^{ok} (with a fixed tie-break).

Construct $M(x, y)$ on $[-23, +23]$ and the tournament graph G .

Compute winners under Plurality, IRV, and Borda; check Condorcet and cyclicity.

Build NetFlows (ϕ^+ , ϕ^- , ϕ); form the global order.

Generate artifacts (HTML/PNG/SVG) and the decision protocol.

The specifics of the Bosphorus in the model manifest in the interpretation of $s_v(\cdot)$ (two-layer currents; critical UKC reaches; intense intersecting local traffic; under-bridge constraints; TSS/COLREG regimes) and in veto thresholds aligned with local norms and VTS practice. In the obtained profile for S1–S5 and v1–v7 (weights 5–4–4–3–3–2–2), the system yields a coherent result with S3 as the Condorcet winner, absence of cycles, and high determinateness of pairwise decisions—consistent with Bosphorus realities, where a medium-tonnage, maneuverable vessel is often the least-risky first candidate for transit.

Results of the Study

The experimental data demonstrate the consistent dominance of alternative S3 across all independent perspectives. Under the uninominal rule, S3 receives 14 weighted «first places», versus 7 for S4, 2 for S1, and 0 for S2 and S5; the instant-runoff (IRV) procedure likewise terminates in favor of S3, indicating a stable majority under different recount regimes. The Borda analysis corroborates S3's compromise advantage: the total ranks are ordered as S3 = 41, S4 = 46, S1 = 59, S5 = 87, S2 = 112; the minimal score for S3 indicates the best average acceptability across criteria (Fig. 1). In the pairwise space, the majority-difference matrix has the domain $[-23; +23]$ (the sum of weights equals 23) and shows for S3 stable positive margins against all opponents: $M(S3, S2) = +23$, $M(S3, S5) = +23$, $M(S3, S1) = +5$, $M(S3, S4) = +5$. This configuration gives rise to a Majority-Margins Digraph with complete outgoing dominance of S3, and the Condorcet test establishes S3 as the Condorcet winner without any chordless cycle; the determinateness index of $\approx 84.78\%$ reflects a high share of unambiguously determined pairwise relations (i.e., «few gray areas»).

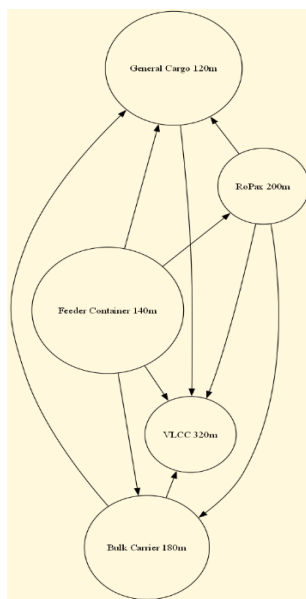


Figure 1 — Automated construction of the DSS strategy preference graph

The NetFlows heatmap (with Kendall's τ correlation assessment) is consistent with these findings: the safety criterion (v1) exhibits perfect correlation with the global order, $\tau = +1.00$; the hydrological/dimensional and current-related factors (v2, v6) have $\tau = +0.80$; TSS/COLREG compliance and environmental considerations (v3, v4) have $\tau = +0.60$; and the logistics-resource criteria (v5, v7) have $\tau = +0.40$ (Fig. 2).

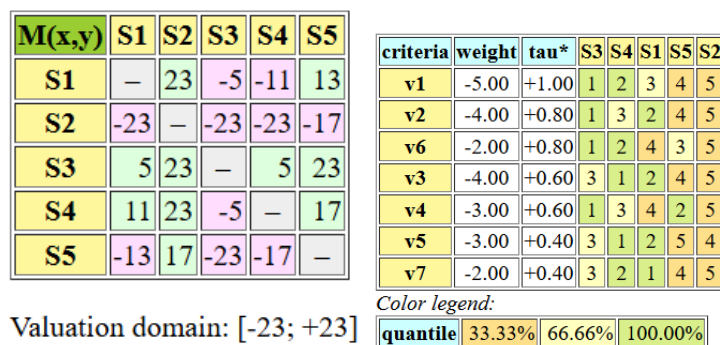


Figure 2 — Results of correlation assessment by the Kendall method.

Conclusion. The aggregate correlation between the global ranking and the global outranking equals +1.000; the mean marginal correlation is +0.696 with a standard deviation of 0.212, and the «fairness of ranking» (mean — sd) equals +0.484. Taken together, these indicators show that the safety criteria «pull» the system toward S3, while the remaining criteria largely support this order without entering into conflict.

At the engineering level, reproducible development stages were obtained: a DOT file was generated and a PNG rendering of the Majority-Margins graph produced, and an HTML table of pairwise margins and a NetFlows heatmap were created; this ensures explainability for VTS/Harbor Master operators and a transparent audit trail. Altogether, the concordance of the three basic rules (Plurality, IRV, Borda), the presence of a Condorcet winner, the absence of cycles, and the high determinateness constitute scientifically grounded confidence in the recommended queue, with S3 acting as a rational and safety-oriented priority.

REFERENCES

1. Zinchenko, S., Kobets, V., Tovstokoryi, O., Nosov, P., & Popovych, I. (2023). Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure. In CEUR

Workshop Proceedings (Vol. 3403, Paper 44, pp. 582-594). CEUR-WS.org.

2. Nosov P., Ben A., Safonova A., Palamarchuk I. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations // Radio Electronics, Computer Science, Control № 2(49). - 2019. Pages 140-150. doi: 10.15588/1607-3274-2019-2-15.

3. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одесса: ОНПУ. Вип.1(25). 2006.— С. 118–122.

4. Носов П.С. Інтелектуальне формування індивідуальної траєкторії навчання студента: спец. 05.13.23 - системи та засоби штучного інтелекту : автореф. дис. на здобуття наук. ст. к.т.н. / П.С. Носов; Наук. кер. В.М. Тонконогий.- О. : ОНПУ, 2007.- 19 с.

5. Bisdorff, Raymond. Algorithmic Decision Making with Python Resources: From Multicriteria Performance Records to Decision Algorithms via Bipolar-Valued Outranking Digraphs. Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2022. - (International Series in Operations Research & Management Science; vol. 324). ISBN 978-3-030-90927-7. DOI: 10.1007/978-3-030-90928-4.

6. Gansner E, North S. (2000) An open graph visualization system and its applications to software engineering. Softw Pract Exp 30(11):1203–1233. <https://graphviz.org/documentation>

MOTION OF A LARGE SAILING VESSEL TAKING INTO ACCOUNT OF THE NEW CONCEPT OF TURNING

O. Tovstokory, K. Tovstokory
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

Introduction. In recent decades, due to the depletion of fossil fuels, interest in the use of renewable energy sources, including wind energy, has been renewed. In maritime transport, this is manifested in the use of wind energy as both the main and auxiliary source of energy for the movement of vessels. This applies to both recreational vessels, such as private yachts, and commercial fleets, including training, passenger vessels, and cargo vessels using sails as an auxiliary source of energy.

The movement of a sailing vessel differs from the movement of a vessel with a mechanical engine. This is especially different in the process of moving along curved trajectories, that is, during turns. Where a vessel with a mechanical engine is enough to simply turn the rudder, a sailboat must perform a maneuver, or even several.

In this case, the role of using the pivot point to facilitate maneuvers becomes important.

When sailing a ship, the turning circle, i.e. the crossing of all 360° of the compass, cannot be performed in the form of a circle, because sailboats cannot go straight against the wind. Therefore, to cross all 360° of the compass, a sailboat must perform 2 maneuvers of sailing ships: a turn "tack" (crossing the wind line with the bow) and a turn "wearing" (crossing the wind line with the stern) in any sequence. The movement of a large sailing ship on a straight course is a balanced interaction of the rotational momentums of lateral forces that try to turn the ship clockwise (for example, wind forces), and the rotational moments of lateral forces that try to turn the ship counterclockwise (for example, rudder forces). There may be several lateral forces, but if the sum of the moments acting clockwise is balanced by the sum of the moments acting counterclockwise, the sailboat is on a straight course.

Research results.

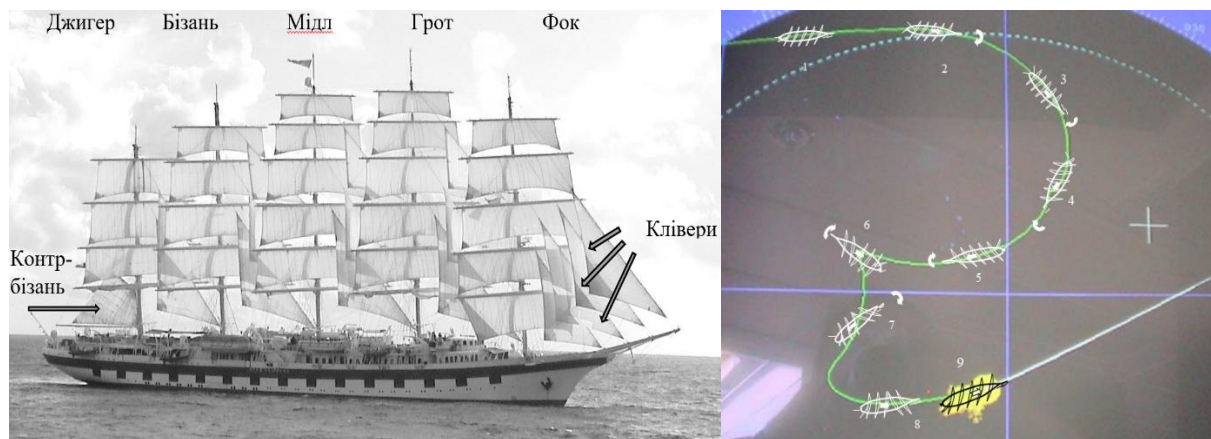


Figure 1 — Turning circle of a large sailing ship ROYAL CLIPPER

So, let's consider the turn of a passenger sailing ship ROYAL CLIPPER (a 5-masted ship with direct rigging on all masts).

To get acquainted with the full range of interaction of a sailboat with the wind, let's consider the circulation of the ROYAL CLIPPER sailing ship under crosswind conditions. Figure 1 shows the individual stages of the ROYAL CLIPPER sailing ship circulation, which differ from each other in the direction of movement and the angle of incidence of the wind on the ship.

When considering the turn of the ROYAL CLIPPER sailing ship, we will be interested in

the following points:

CG — $\odot$ — center of gravity — is calculated as the center of the load on the ship. For a better understanding of the turning process, we will assume that the ship is loaded in such a way that the CG is located amidships. And all the forces that will be discussed below will be calculated under the condition that the CG is amidships. If the CG is located at another point, the distance of the CG from the midship will be calculated and all other points, which will be mentioned below, will be shifted by the same distance. The position of the CG during the maneuver remains unchanged.

CS — $\otimes$ — Center of sail - the geometric center of the above-water part of the vessel, including the sails. The position of the CS can change due to the addition or removal of sails.

A — $\otimes$ — the point of application of the wind force (aerodynamic) — is located on the side of the wind direction. The smaller the angle of attack of the wind, the further it is from the center of sail. The position of point A can change when the wind heading angle changes. [8]

CoR — $\star$ — the center of rotation, which is the point relative to which the moment of inertia of the vessel will be the smallest and relative to which all the shoulders and moments of lateral forces acting on the vessel are calculated. [7] The CoR is calculated from the differences in the position of the abscissa of the PP at zero and maximum speeds, and then according to the formula depending on the fraction of the actual speed relative to the maximum. The position of the CoR can change due to the direction of movement and the speed of the vessel. [9]

PP — $\diamond$ — the pivot point, which is a visible point around which the vessel actually turns. The PP is located on the opposite side from the point of application of the lateral force relative to the CoR [7] The PP is calculated from the tangential speeds of the bow and stern and does not depend on either the type of vessel or the type and number of thrusters and can be calculated for any vessel. The position of the PP can change due to a change in the position of the point of application of the lateral force [9].

Screenshots 1—9 show the position of the vessel at different stages of circulation and the base points.



Figure 2 — Turning a large sailing vessel. Stages 1, 2

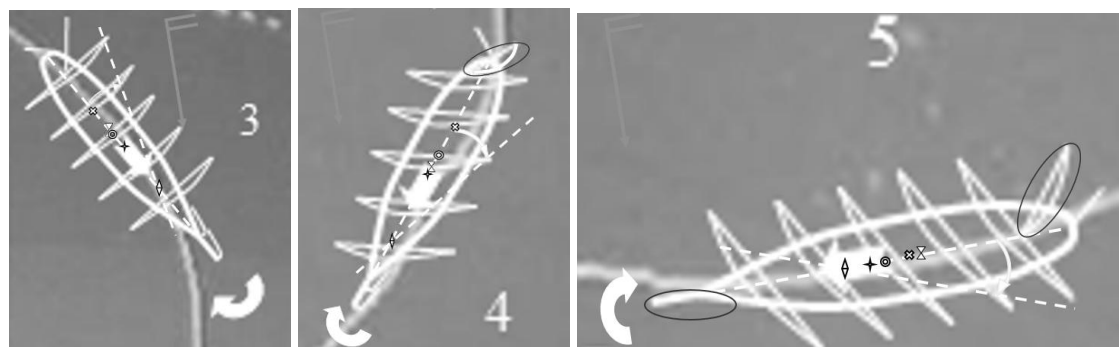


Figure 3 — Turning a large sailing vessel. Stages 3, 4, 5

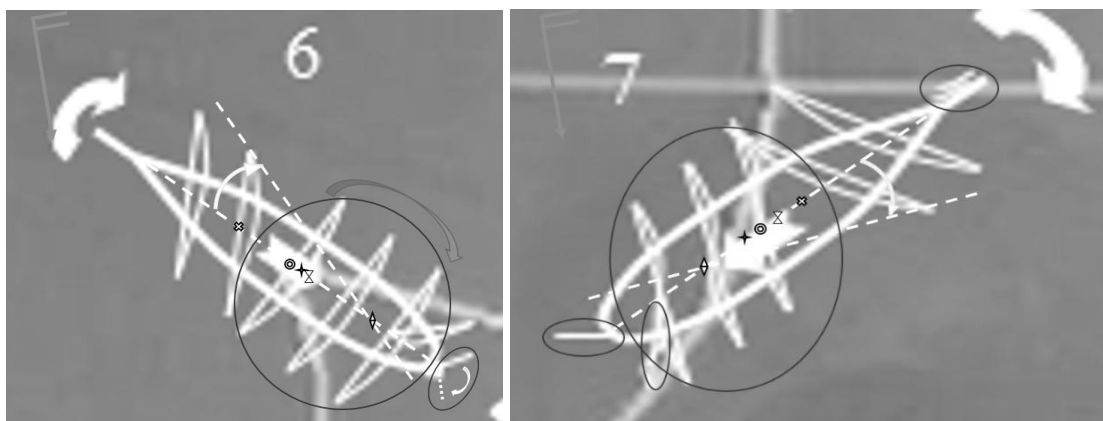


Figure 4 — Turning a large sailing vessel. Stages 6,7

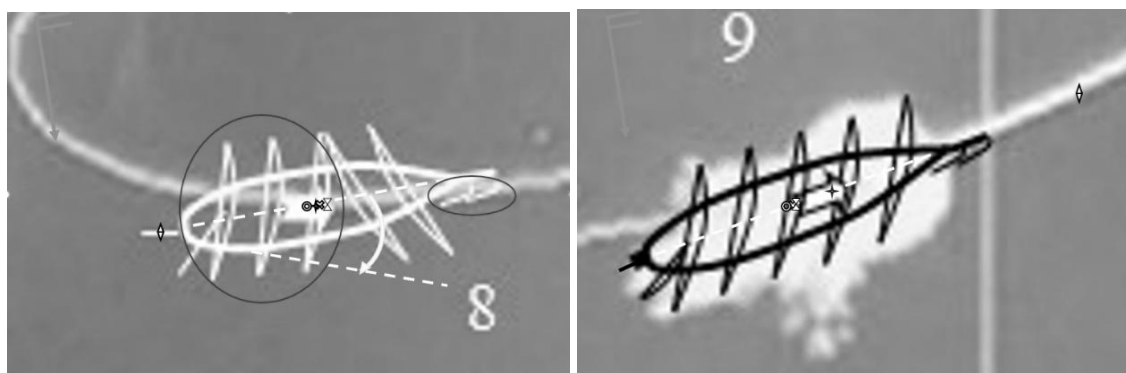


Figure 5 — Turning a large sailing vessel. Stages 8, 9 CONCLUSIONS

1. Slide 3 shows that the displacement to the wind when turning «wearing» is 3.4 kbt, and when turning «tack» — 1.8 kbt. When sailing under sail, the "tack" turn is preferable to change the tack, but if it is not possible due to some circumstances on the forward course, it is necessary to do it on the rear, or use the turn «wearing».

2. For maneuvers on a large sailing vessel, it is necessary to clearly imagine the position of the base points, namely: the point of application of the wind force (aerodynamic), the center of sailability, the center of gravity, the center of rotation, the pole of the turn.

3. To facilitate the turn, it is desirable to do so that when changing the direction of the vessel's movement (forward - backward) and performing this turn, the point of application of the force is on the opposite side of the direction of movement (when moving forward — in the stern, when moving backward — in the bow). This will make it possible to transfer the PP in the direction of movement and facilitate the turn.

4. The scientific novelty is that the case is considered taking into account two transverse forces: the rudder and sails. The shoulders of these forces are determined and their moments relative to the center of rotation are compared. At the same time, for the successful execution of the turn with different directions of the moments of the rudder and wind forces, measures are taken to maintain the advantage of the moment from the rudder force over the moment from the wind force (sails are removed and added, certain yards are turned in the desired direction).

5. The scientific novelty is also the breakdown of the process of turning a large sailing vessel with direct sailing equipment into stages and the determination of the position of the base points of the turn at each of the stages in accordance with the proposed substantive model of the vessel's turn [17], as well as the determination of the main task of the navigator for the successful execution of the turn.

Prospects for further research. Further research will be conducted on the process of turning different types of ships with different engines in different conditions.

REFERENCES

1. Markhai Ch. Theory of sailing under sail./ Ch. Markhai. M. Fizkultura i sport, 1970. 408 p.
2. John Harland. Seamanship in the Age of Sail. An Account of the Shiphhandling of the Sailing Man-Of-War 1600–1860, Based on Contemporary Sources./ John Harland. (London,; Conway Maritime Press, 1984; reprinted 1992 by the Naval Institute Press, Annapolis)
3. Tovstokory O. M. Maneuvering under sail: a textbook. Kherson: KhDMA, 2019. 160 p
4. Zinchenko Serhii, Tovstokoryi Oleh, Nosov Pavlo, Popovych Ihor, Kyrychenko Kostiantyn. Pivot Point position determination and its use for maneuvering the vessel // Ship and offshore structure. DOI:10.1080/17445302.2022.2052480, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17445302.2022.2052480>
5. Chase, G. A. (1999). Sailing Vessel Handling and Seamanship – The Moving Pivot Point, The Northern Mariner/Le Marin Du Nord, Vol. 9. Issue 3, 53–59. DOI : <https://doi.org/10.25071/2561-5467.629>.
6. Tovstokoryi, O. M., Substantive model of ship turn with account of the latest achievements in theory and practice. DOI: 10.33815/2313-4763.2024.2.29.152-163 Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy: Scientific Journal No. 2(29) 2024. P 152–163.
7. Dyomin S. I. Ship Management / Dyomin S. I., Zhukov E. I. et al. M.: Transport, 1991. 359 p.
8. Tovstokory O.M. Practical methods for calculating the position of the base points of the meaningful model of the ship's turn. Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy: Scientific Journal No. 1(30) (2025). P.247–257. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.247-257> Category B.

ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ СУДНА В УМОВАХ ГЛУШІННЯ СИГНАЛІВ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ

Шишкін О.В., Веселовський Б.М.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. За останні роки навмисне втручання в роботу Глобальної Навігаційної Супутникової Системи (ГНСС) у вигляді глушіння (jamming) та підробки (spoofing) супутникових сигналів стало серйозним фактором погіршення безпеки судноплавства [1]. Через низьку потужність сигналу будь-якої супутникової системи (GPS, ГЛОНАСС, Galileo та Beidou) та вдосконалення засобів навмисного перешкоджання сервісів супутникової навігації, концепція гарантованого позиціонування, навігації та визначення часу (PNT) знаходиться під серйозною загрозою [2]. Велика кількість прикладів морських кібератак у вигляді глушіння та підробки сигналів ГНСС створюють реальні проблеми для безпечного мореплавства, оскільки без належного позиціонування та часової синхронізації порушується робота пристроїв навігації та зв'язку морського судна [3].

Глушіння та підробка/підміна сигналів ГНСС можуть серйозно вплинути на морське судноплавство, спричиняючи:

- Помилки навігації, які можуть призвести до зіткнень або потрапляння в небезпечні зони.
- Затримки в операціях, що впливають на графіки доставки та підвищують витрати.
- Ризики для безпеки екіпажу та пасажирів через неточне позиціонування.

У разі відмови судового приймача ГНСС штурман має переходити на dead reckoning режим (DR), або обчислювати координати іншим способом. DR режим вразливий до накопичення похибок приладів інерційної навігаційної системи і тому потребує корекції координат за допомогою зовнішніх джерел.

Для зменшення ризиків, пов'язаних із глушінням та підробкою сигналів ГНСС, необхідні альтернативні методи позиціонування. Ці методи можуть забезпечити резервування та підвищити стійкість морських навігаційних систем. Однією з концепцій забезпечення резервної системи ГНСС є використання результатів виміру дальності до берегових радіомаяків (R-mode) [3]. Ця концепція використовує існуючу морську радіоінфраструктуру, яка вже широко використовується в морському секторі. Системи, які можна найкорисніше розгорнути, - це система радіомаяків середньої частоти (MF) та нова система обміну даними VHF (VDES). Але система за принципом R-mode обмежена наявністю відповідної берегової інфраструктури.

Постановка задачі.

Метою даної доповіді є розробка способу отримання координат судном, яке потрапляє під вплив кібератак навмисного порушення сервісів супутникової навігації, за результатами виміру дальності до інших суден, які не потрапили під вплив кібератак, та мають достовірні координати, отримані по каналах автоматичної ідентифікаційної системи (AIC).

Результати досліджень. Сутність способу, що пропонується, полягає у наступному. Якщо судно під впливом зовнішнього втручання втрачає координати від приймача ГНСС, то встановлення координат здійснюється на основі даних радіолокаційної станції з засобами автоматичного радіолокаційного прокладання (Radar, ARPA) та трансиверу автоматичної ідентифікаційної системи (AIS). Дані від радару та AIS за стандартним протоколом обміну даними NMEA 0183 (IEC 61162-1) [4] потрапляють у структуру обчислення координат (Рисунок 1). Обчислення координат може бути реалізоване за допомогою апаратно-програмного пристрою або шляхом використання технологій штучного інтелекту (ШІ). Другий варіант, зважаючи на

величезні досягнення у цієї сфері, представляється найбільш раціональним.

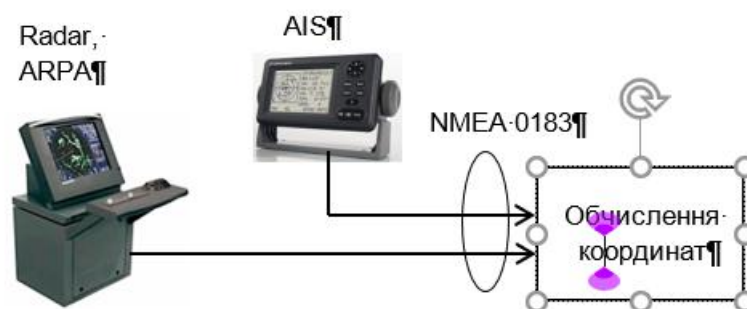


Рисунок 1 — Отримання координат за допомогою речень за протоколом NMEA 0183

На морських судах для обміну даними між пристроями навігації та зв'язку ходового містку використовується протокол за міжнародним стандартом IEC 61162-1. За цим протоколом ARPA суднового радара регулярно формує на своєму виході речення треків цілей TTM — Tracked Target Message. Формат цього речення наведений на Рисунку 2. Усі NMEA речення починаються з службового символу \$ (або !), за яким чергує позначення передавача. У даному випадку це RA — Radar and/or radar plotting. Далі передається назва речення Tracked Target Message (TTM) та дані як вказано на Рисунку 2. Для нашого застосування ключовими є три перших за чергою параметри: номер цілі (Target number), відстань до цілі (Target distance from own ship), пеленг на ціль (Bearing from own ship). Ці параметри дають можливість обчислення координат цілей у вимірі відносно нашого судна.

Трансивер АІС у той же час є постачальником (Talker) речень про цілі за інформацією, отриманою по каналах АІС. АІС постачальник кодується як АІ — Automatic identification system [4]. Прикладом таких речень є VDM – AIS VHF data-link message, до якого інкапсульовані дані, прийняті трансивером АІС від інших суден. Зазвичай такі речення потрапляють в електронну картографічну навігаційну інформаційну систему (ЕКНІС). В нашому застосуванні речення використовуються для отримання координат та інших динамічних параметрів суден-цілей. Стандарт [5] встановлює параметри судна, які мають регулярно передаватися судновим трансивером АІС.

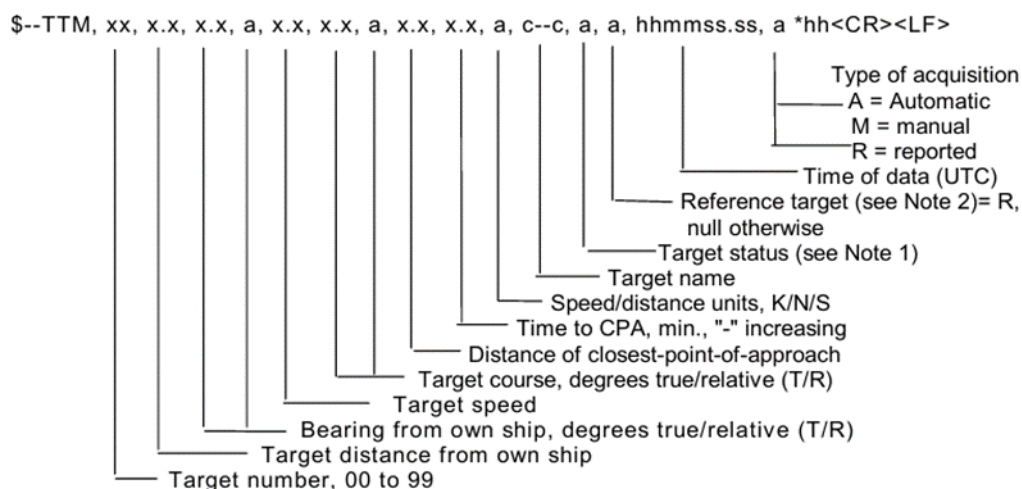


Рисунок 2 — Формат речення TTM, Tracked Target Message (за NMEA 0183)

Розроблена математична модель розрахунку координат власного судна, яка у стислому вигляді представлена наступним чином.

Radar/ARPA дозволяє отримати розташування цілей у полярних координатах.

Точка $(0, 0)$ координат співпадає з положенням нашого судна. Координати цілей (ρ_i, ϑ_i) , де ρ_i — відстань судно-ціль, ϑ_i — кут, відомий за пеленгом цілі та курсом судна, $i = \overline{1, N}$, N — кількість цілей.

Зробимо наступні позначення: $p_i = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix}$, $q_i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix}$, $s = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$,

де p_i — координати радарних цілей $u_i = \rho_i \cos \vartheta_i$, $v_i = \rho_i \sin \vartheta_i$,

q_i — координати цілей за даними АІС,

s — вектор невідомих координат.

Метод найменших квадратів дає найкраще накладання цілей за даними радара та АІС у сенсі мінімізації середньоквадратичного відхилення. Необхідно мінімізувати функцію

$$J(x, y) = \sum_i \|q_i - (s + p_i)\|^2 = \sum_i [(X_i - x - u_i)^2 + (Y_i - y - v_i)^2], \quad (1)$$

де $\|\cdot\|$ — позначення евклідової норми вектора відхилення.

Для мінімізації значення $J(x, y)$ знаходимо частинні похідні та дорівнюємо їх нулю:

$$\frac{\partial J(x, y)}{\partial x} = -2 \sum_i (X_i - x - u_i) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial J(x, y)}{\partial y} = -2 \sum_i (Y_i - y - v_i) = 0. \quad (3)$$

З формул (2), (3) отримуємо кінцевий результат щодо мінімізації (1) у вигляді:

$$x = \frac{1}{N} \sum_i (X_i - u_i), \quad y = \frac{1}{N} \sum_i (Y_i - v_i).$$

Планується, що обчислення координат у схемі на Рисунок 1 буде виконуватись штучним інтелектом. При цьому не потрібні будь-які додаткові апаратно-програмні ресурси бортового обладнання судна. Використовуються ресурси тільки хмарного ШІ, який в режимі реального часу здатний виконувати наступні операції:

- аналізувати потік NMEA речень Radar/ARPA, АІС та виділяти потрібні параметри;
- формувати пари радарних та АІС цілей;
- враховувати точності координат та динаміку АІС цілей для приведення їхніх координат до єдиного часу;
- проводити обчислення за алгоритмом визначення координат;
- повертати отримані координати по зворотному каналу супутникового Інтернету.

По суті ШІ працює в якості віртуального навігаційного датчику координат типу «віртуального GPS».

Висновки і напрямки подальших досліджень. В умовах проявів глушіння або підробки сигналів ГНСС необхідні альтернативні методи отримання координат, оскільки сучасне мореплавство базується на наявності сервісів супутникової навігації. Запропонований спосіб отримання координат за результатами радіолокаційного спостереження та повідомлень АІС інших суден, які не знаходяться під впливом атаки глушіння / підробки сигналів ГНСС. Спосіб базується на використанні стандартних NMEA речень судового радара, та АІС трансиверу для формування координат власного судна за підтримки штучного інтелекту. За рахунок використання ШІ непотрібні додаткові апаратно-програмні засоби обробки NMEA речень та виконання обчислень.

Задачами подальших досліджень є розробка інтерфейсу для передавання потоків даних в Інтернет, оцінка потрібних швидкісних характеристик каналів обміну даними,

проведення імітаційного моделювання та експериментальних випробувань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jamming and Spoofing of Global Navigation Satellite Systems (GNSS). INTERTANKO, 2019.
2. IMO MSC.1/Circular.1575. Guidelines for Shipborne Position, Navigation And Timing (PNT) Data Processing. 2017.
3. GNSS Jamming and Spoofing: Navigating Challenges in the Baltic Sea. E-Bulletin September 2025. <https://www.iala.int/e-bulletin/gnss-jamming-and-spoofing-navigating-challenges-in-the-baltic-sea/>
4. IEC 61162-1 International Standard. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems. Digital interfaces. Part 1: Single talker and multiple listeners. Edition 4.0. 2010-11
5. Recommendation ITU-R M.1371-5 (02/2014) Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band

СЕКЦІЯ:
БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В МОРСЬКІЙ ГАЛУЗІ ТА МОРСЬКА
ЕКОЛОГІЯ
SECTION
LIFE SAFETY IN THE MARITIME INDUSTRY AND MARINE ECOLOGY

НАПРЯМКИ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА АВІАПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Беляєв М.О., Калашник Г.А.
Українська державна льотна академія
(Україна)

Вступ. Система управління екологічними процесами (СУЕП) на авіаційних підприємствах — це інтегрована система, що відповідає ISO 14001:2015 [10], ICAO Annex 16 [8], EASA Part-21 [5], EU ETS (Emissions Trading System) [11] та національним нормам України (Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [1]). Система управління екологічними процесами (СУЕП) є ключовим інструментом для забезпечення сталого розвитку авіаційної галузі. В Україні, де авіапідприємства стикаються з викликами російсько-української війни, впровадження СУЕП в умовах інтеграції України до ЄС та впровадження вимог глобальних норм ICAO (Міжнародної організації цивільної авіації), набуває особливого значення. Воно дозволяє не лише зменшити екологічний вплив авіації, але й підвищити конкурентоспроможність українських авіапідприємств через доступ до міжнародних ринків, грантів та сертифікацій.

Актуальність досліджень. Політика екологічної безпеки відповідно до екологічних міжнародних стандартів серії ISO 14000 [9, 10] зумовлюють актуальність досліджень в напрямку впровадження системи управління екологічними процесами, яка є способом підвищення конкурентоспроможності підприємств авіаційної галузі [2, 3].

Постановка завдання. Політика екологічної безпеки, узгоджена з міжнародними екологічними стандартами серії ISO 14000 [9], зокрема, ISO 14001:2015 [10], яка наразі проходить перегляд з очікуваним оновленням у 2026 році, продовжує визначати актуальність наукових досліджень у напрямку екологізації стратегії розвитку авіаційної галузі. З урахуванням глобальних викликів, таких як зміна клімату та прагнення до нульових викидів CO₂ у сфері авіації до 2050 року [7], впровадження системи управління екологічними процесами не лише сприяє зниженню впливу на довкілля, але й стає ключовим фактором підвищення конкурентоспроможності підприємств авіаційної галузі через оптимізацію операцій, залучення інвестицій у стійкі технології та відповідність регуляторним вимогам. Стандарти серії ISO 14000, зокрема основний ISO 14001, спрямовані на створення ефективних систем управління екологічними процесами. У 2025 році опубліковано проект оновлення ISO 14001, який акцентує увагу на інтеграції аспектів зміни клімату, стійкості та залучення зацікавлених сторін. Очікується, що фінальна версія стандарту вийде у січні 2026 року, з акцентом на адаптацію до глобальних кліматичних угод, таких як Паризька угода. У сучасних умовах впровадження система управління екологічними процесами на авіапідприємствах України відбувається через низку напрямків, адаптованих до реалій: обмежених ресурсів, фокусу на відновленні інфраструктури після пошкоджень від війни та переходу до «зеленої» авіації. Основні шляхи впровадження системи управління екологічними процесами базуються на циклі PDCA (Plan-Do-Check-Act) стандарту ISO 14001, але з акцентом на цифровізацію, партнерства та державну підтримку.

Результати досліджень. Пропонується застосування п'яти основних напрямків впровадження СУЕП на авіапідприємствах України у повоєнний період: розробка та затвердження екологічної політики; ідентифікація та оцінка екологічних аспектів і впливів; встановлення цілей, завдань та програм реалізації; ресурсне забезпечення та

навчання; моніторинг, аудит та вдосконалення (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні напрямки впровадження СУЕП на авіапідприємствах України

Напрямок	Опис	Ключові заходи в сучасних умовах	Переваги	Виклики та способи подолання
Розробка та затвердження екологічної політики	Формування стратегічних зобов'язань щодо екології	Інтеграція з планами відновлення після війни; цифровізація документів	Доступ до грантів ЄС; зниження ризиків штрафів	Брак ресурсів — необхідні субсидії від Міндовкілля
Ідентифікація та оцінка екологічних аспектів і впливів	Аналіз ризиків процесів (викиди, відходи)	Використання реєстру емісій; фокус на пошкодженій інфраструктурі	Пріоритизація інвестицій у стале авіаційне паливо (SAF)	Відсутність даних — партнерства з ICAO
Встановлення цілей та програм	Визначення SMART-цілей	Узгодження з національною стратегією до 2050 р.; гібридні технології	Скорочення викидів на 10–15%	Фінансування — гранти ЄС
Ресурсне забезпечення та навчання	Навчання персоналу, закупівлі еко-технологій	Дистанційне навчання; комунікація з громадами	Підвищення мотивації; зменшення помилок	Кадровий дефіцит — співпраця з УДЛА, ХАІ, КАІ
Моніторинг, аудит та вдосконалення	Регулярний контроль і коригування	ІоТ та ШІ-моніторинг; зовнішні аудити	Сертифікація ISO 14001	Технологічна відсталість — імпорт з ЄС

Перший етап передбачає формування стратегічної політики підприємства, яка інтегрується в загальну систему менеджменту. Для авіапідприємств України це включає зобов'язання щодо скорочення викидів на 20–30% до 2030 р. [4] відповідно до норм CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) [7]. У сучасних умовах також необхідно акцентувати увагу на цифрову документацію через хмарні платформи для уникнення втрат даних через нестабільність. Це знижує ризики штрафів (до 1% обороту за українським законодавством) та полегшує доступ до фінансування ЄС.

Етап ідентифікації та оцінки екологічних аспектів і впливів включає аналіз ключових процесів (паливне забезпечення, обслуговування літаків, наземні операції) для виявлення ризиків, таких як викиди NO_x/CO₂ від двигунів, забруднення ґрунту гліколем, шум від злітно-посадкових смуг та інших. В Україні основний фокус буде спрямований на поствоєнному відновленні авіапідприємств з урахуванням екологічних стратегій [4].

Важливим завданням є визначення конкретних, вимірюваних SMART-цілей, наприклад, зменшення енергоспоживання на 15% за рахунок LED-освітлення та сонячних панелей на терміналах. Цілі повинні узгоджуватись з Національною стратегією низьковуглецевого розвитку до 2050 р. [4], розвитку гібридних технологій для наземного транспорту в аеропортах.

Необхідним етапом є підготовка висококваліфікованих кадрів для сфери авіації. Для цього необхідна співпраця з провідними вітчизняними авіаційними ВНЗ: Українською державною льотною академією, Національним аерокосмічним університетом «Харківський авіаційний інститут», ДУ «Київський авіаційний інститут».

Необхідне впровадження регулярного моніторингу через IoT-сенсори (викиди, енергія) та внутрішні/зовнішні аудити екологічного впливу авіапідприємств. У контексті екологічних досліджень впровадження IoT-сенсорів інтегрується з системами управління екологічними процесами (СУЕП) за ISO 14001, сприяючи декарбонізації авіації відповідно до норм ICAO (CORSIA [7]) та ЄС (Green Deal [6]). IoT-сенсори працюють на базі бездротових мереж (LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi 6), з хмарними платформами (AWS IoT, Azure) для обробки даних за допомогою ШІ для аналізу та прогнозування викидів. Вони зменшують витрати на екологічний моніторинг на 30–50% порівняно з традиційними методами, забезпечуючи точність вимірів до 95%.

Використання запропонованих напрямків впровадження СУЕП на авіапідприємствах України дозволить розробити обґрунтовані управлінські рішення в цілях підвищення екологічної безпеки авіатранспорту та одночасно сприятиме конкурентоспроможності вітчизняних авіапідприємств у повоєнний період. Впровадження СУЕП в сучасних умовах — це не опція, а обов'язок для входу України в Єдиний авіаційний ринок ЄС.

Висновки. Окреслено основні напрямки впровадження систем управління екологічними процесами на авіапідприємствах України в сучасних умовах, визначено ключові заходи, переваги їх впровадження, виклики та основні шляхи їх подолання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» N 1264-XII від 25 червня 1991 року. Відомості Верховної Ради України від 08.10.1991 — 1991 р., № 41, стаття 546. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення 03.11.2025)
2. Калашник Г.А., Беляєв М.О. Механізми вдосконалення екологічної безпеки цивільної авіації України відповідно до міжнародних вимог та стандартів. *Системи озброєння і військова техніка*. 2025. № 1(81). С. 103–109. <https://doi.org/10.30748/soivt.2025.81.13>
3. Калашник Г.А., Беляєв М.О. Удосконалення критеріїв та методики оцінки екологічної безпеки авіаційного транспорту України в умовах євроінтеграції. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. №9 (50). С. 1223–1236. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-9\(50\)-1223-1236](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-9(50)-1223-1236)
4. Action plan of Ukraine for reducing aviation CO₂ emissions. 2021. 83 p. https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/Action-plan-of-Ukraine-for-reducing-aviation-CO2-emissions-2021_compressed-1.pdf (дата звернення 03.11.2025)
5. EASA. 2023. Part 21 — Airworthiness and Environmental Certification. 2023. <https://www.easa.europa.eu/en/acceptable-means-compliance-and-guidance-material-group/part-21-airworthiness-and-environmental> (дата звернення 03.11.2025)
6. EU. *The European Green Deal. The European Climate Pact*. 2025 URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата звернення 22.10.2025). (дата звернення 03.11.2025)
7. ICAO. 2024. *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*. URL: <https://www.icao.int/CORSIA> (дата звернення 03.11.2025)
8. ICAO. Environmental protection. Volume 1. Aircraft noise: Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. ICAO, Edition 3, July 2008, 258 pp.
9. ISO 14000 family - Environmental management. [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.iso.org. ISO. (дата звернення 03.11.2025)
10. ISO 14001 Environmental Management Systems — Revision. *International Organization for Standardization*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.iso.org. ISO.
11. The EU Emission Trading System (EU ETS). European Union, 2016. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en. (дата звернення 03.11.2025)

ЗАБРУДНЕННЯ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА СУДНОВИМ СМІТТЯМ: АНАЛІЗ ПРОГАЛИН ДОДАТКУ V КОНВЕНЦІЇ MARPOL ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ

Бугаєнко В.І., Панченко І.М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Водний транспорт є беззаперечним лідером у системі міжнародних вантажоперевезень, забезпечуючи, за сучасними даними, транспортування близько 80% світового товарообігу [1]. Така домінантна позиція зумовлена низкою чинників, серед яких економічна вигідність, висока гнучкість міжнародних маршрутів та здатність перевозити значні обсяги вантажів. Однак, на тлі цих економічних переваг, морська галузь генерує значний екологічний негатив. Глобальні морські перевезення щорічно створюють обсяги сміття, частина якого, за оцінками, становить до 20% від загального щорічного забруднення морського середовища [2]. Це не враховуючи забруднення атмосфери вихлопними газами. Серед найпоширеніших видів відходів, що потрапляють у морський простір, виділяють пластик, побутові та електричні відходи. Найбільша загроза полягає у тривалому періоді природної переробки цих продуктів (понад 400 років), що супроводжується виділенням токсичних речовин, створюючи пряму загрозу як для морської фауни, так і для здоров'я людини.

Актуальність дослідження. Актуальність обраної теми визначається необхідністю пошуку ефективних рішень для підвищення екологічної безпеки морської галузі. Хоча боротьба із забрудненням моря була розпочата ще у 1973 році з прийняттям Міжнародної конвенції із запобігання забрудненню з суден (далі – MARPOL), а Додаток V, що регулює забруднення сміттям, набув чинності у 1988 році [3], на сьогоднішній день морські перевезення все ще входять до п'ятірки найвпливовіших чинників забруднення морського середовища. Це свідчить про наявність значних прогалин у системі імплементації та контролю.

Основна проблема полягає у дисонансі між вимогами міжнародного права та реальною судовою практикою. Дослідження є актуальним, оскільки складність дотримання правил MARPOL історично була зумовлена звичкою до паразитичного способу життя екіпажів, значною вартістю портових засобів для приймання відходів, обмеженою здатністю портів приймати усі види залишків, фальсифікацією судової документації та, найголовніше, недосконалістю Плану управління сміттям (Garbage Management Plan). Всі ці чинники призводять до виникнення несанкціонованих та небезпечних методів утилізації, таких як «запальна бочка» та «маскування сміття», що продовжують завдавати шкоди екосистемі. Таким чином, дослідження проблематики застосування конвенції MARPOL та розробка сучасних, економічно обґрунтованих способів зниження рівня забруднення є критично важливим для стійкого розвитку морської галузі.

Постановка задачі. Основна задача даного дослідження полягає у проведенні всебічного аналізу сучасних проблем дотримання положень Додатку V конвенції MARPOL щодо поводження зі сміттям на судах, а також у формуванні науково обґрунтованих та практично застосовних альтернативних рішень, здатних мінімізувати негативний екологічний вплив морських суден.

Результати досліджень. Складність дотримання правил MARPOL почалась з самого початку і походить від низки інституційних та поведінкових чинників. Першою проблемою стала звичка людей не думали про екологію, що призвело до того, що частка залишків від морської галузі становила від 12 до 44% світових відходів [4]. Другою проблемою стала велика вартість портових приймальних споруд для приймання відходів.

Саме через це менеджмент компаній заохочував капітанів суден позбавлятися сміття несанкціонованими методами. З плином часу, така неконтрольована політика призвела до тяжких екологічних наслідків, зокрема до зростання показників поглинання пластику морськими мешканцями, що наочно ілюструє Рисунок 1:

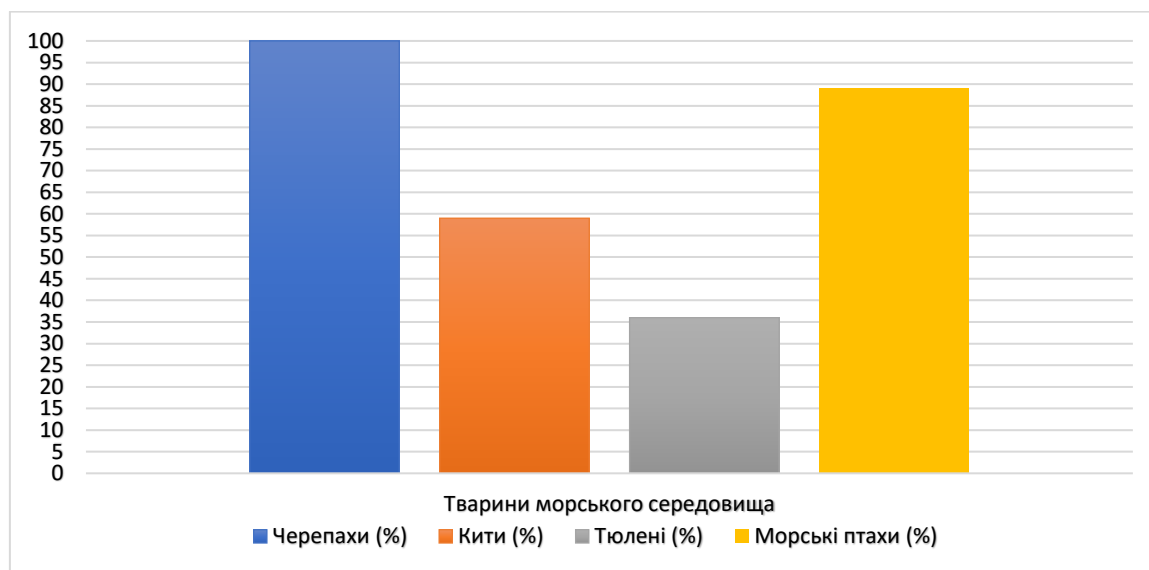


Рисунок 1 — Поглинання пластику морськими мешканцями [5]

Третьою проблемою стало неможливість здачі усіх видів залишків. За час морського вояжу на судні може утворитися до декількох тонн використаного пластику, скла та паперу. Проте портові приймальні споруди не завжди погоджуються забрати увесь обсяг відходів, можуть прийняти лише половину, або якусь частину. Деякі приймальні засоби мають чіткі ліміти щодо виду або походження сміття. Як наслідок, екіпаж залишається наодинці з тими відходами, які не вдалося здати. Четвертою проблемою є фальсифікація документів членами старшого офіцерського складу. Головною метою таких вчинків слугує створення «ідеальної» документації та відсутність занепокоєння з боку судноплавної компанії. І найважливішою системною причиною забруднення морського середовища є недосконалість Плану по управлінню сміттям [6]. Цей план повинен регулювати кількість і вид відходів, а також визначати засоби для їхнього збереження. Проте частіше за все такий документ не відповідає реальності. Це відбувається через врахування нереалістично занижених норм щодо утворення сміття та прагнення мінімізувати вагу залишків у документації. Внаслідок цього на палубах залишаються маленькі ємності, які стають повними вже через три дні.

Початковим і традиційним способом позбавлення від сміття на судах було скидання за борт. Навіть матеріали, які категорично заборонено скидати у морський простір (пластик, скло, труп тварин, електричні відходи, рибні снасті тощо), потрапляли у морське середовище. Після того, як судна почали штрафувати і затримувати в портах, компанії почали використовувати систему відеоспостереження, а державні органи країн – запроваджувати серйозні штрафи та терміни ув'язнення за екологічні злочини. Ситуація поліпшилася, але не суттєво. Моряки почали накривати камери, щоб приховати ліквідацію відходів. У зв'язку з цим, з'явився новий метод позбавлення сміття, який у народі називається «запальна бочка». Завдяки отвору у нижній частині до бочки під'єднують шланг з повітрям під тиском або іноді запальною речовиною та підпалюють вміст, підкидаючи туди усі види сміття. Нерідко такий метод утилізації спричиняє травми, оскільки разом із загальною купою сміття потрапляють батарейки, балончики зі стисненим газом (дихлофоси, засоби особистої гігієни) та горючі матеріали, що спричиняють вибух і ураження шматками балону. Після утилізації отримується попіл,

який розвіюють у море, що також заборонено конвенцією MARPOL. Крім того, на морському флоті інсинератор набув статусу борця зі сміттям. Проте небагато людей знає, що він має властивість спалювати лише сертифіковане сміття. Нерідко трапляється, що інсинератор сертифікований лише для переробки паперу, але екіпаж кидає туди як пластик, так і алюміній. Це відбувається через недосвідченість або недбалість, пов'язану із судновою документацією, і призводить до несправності обладнання, а також створення золи, яка є отруйною для навколишнього середовища. Останнім порушенням, яким зловживають моряки, є «маскування сміття». Часто у портах приймають лише певний вид відходів або створюють місцеві правила, через які більшу частину здати неможливо. Як, наприклад, у Канаді, де здати дозволено лише канадські відходи. Тому моряки при здачі паперу намагаються сховати пластикові пляшки, а під час утилізації металу – ховають всередину протерміновану піротехніку. Саме це чинить забруднення моря вже не безпосередньо із судна, а створює певний ланцюг, який усе одно завдає великої шкоди водним ресурсам.

Після аналізу описаних вище масштабів проблеми виникає логічне питання: як можливо ефективно знизити рівень забруднення? У ході дослідження автором було розроблено кілька альтернативних рішень:

1. Облаштування складу сміття лінійними датчиками, об'єднаними з системою «чорного ящика». Це рішення не вимагає серйозних економічних витрат. Для реалізації проєкту потрібні лінійні датчики, які будуть йти вздовж двох суміжних переборок з інтервалом 5–7 сантиметрів, а також на стелі та підлозі з інтервалом 5 см. Горизонтальні промені будуть надавати інформацію щодо висоти сміттевої купи, а вертикальні – про розподілення сміття в приміщенні для його зберігання. Завдяки цій інформації комп'ютер зможе побудувати об'ємну модель заповнюваності приміщення і надати необхідні дані судновласнику.

2. Введення щотижневої документації. Щотижнева документація повинна включати в себе кількість сміття, утворену за цей тиждень, загальну кількість сміття на борту та сміття, яке було утилізовано в рамках Додатку V конвенції MARPOL, з описом виду утилізації, координатами та точним часом.

3. Модифікація Плану по управлінню сміттям. Це передбачає збільшення кількості смітєвих баків та розробку плану зручного їхнього розташування. Також необхідно визначити точний графік утилізації сміття судновими установками та надати відповідну інформацію екіпажу.

4. Запровадження державами приватних компаній по утилізації відходів. Таке рішення дозволить організувати здачу сміття будь-якої категорії і у будь-якому обсязі. Таке рішення забезпечить можливість здачі сміття будь-якої категорії та у будь-якому обсязі.

Таким чином, проблема забруднення морського середовища є значною та багатоаспектною, проте існує низка інструментів, які можуть сприяти її ефективному вирішенню. Впровадження запропонованих додаткових заходів для боротьби з відходами може мати не лише екологічну користь, але й забезпечити новий економічний прибуток. На сьогоднішній день країни Європи, зокрема Німеччина та Швеція, активно переробляють сміття на електроенергію, а Південна Корея отримує з відходів вторинну сировину. Навіть менш фінансово забезпечені країни отримують вигоду, як-от Домініканська Республіка, яка приймає сміття з суден, оплачуючи його провізією. Місцеві підприємці організовують «друге життя» для відходів: металеві деталі ремонтують, а речі використовують повторно. Отже, розв'язання екологічної проблеми поступово набуває обертів. Правильний і комплексний підхід здатний відновити сучасну екосистему в довгостроковій перспективі [7].

Висновки. Проведене дослідження підтверджує, що, незважаючи на існування Міжнародної конвенції MARPOL (Додаток V), проблема забруднення морського

середовища сміттям із суден залишається значною та багатоаспектною загрозою для глобальної екосистеми. Основна причина полягає у системних прогалинах, що виникають між вимогами міжнародного права та реальною судновою практикою. Ця ситуація обумовлена низкою чинників: економічними та інституційними бар'єрами, зокрема, високою вартістю та обмеженою потужністю портових приймальних споруд, а також недосконалістю внутрішнього контролю, вираженою у нереалістичному плануванні (Garbage Management Plan). Ці фактори, посилені людською недбалістю та фальсифікацією документації, провокують застосування небезпечних, несанкціонованих методів ліквідації відходів, як-от «запальна бочка», що продовжує завдавати шкоди екосистемі, про що свідчить статистика поглинання пластику морськими мешканцями. Розв'язання цієї проблеми потребує комплексного підходу. У ході дослідження авторами було обґрунтовано необхідність інтеграції технологічного моніторингу складу сміття (через лінійні датчики та систему реєстрації даних) із впровадженням чітких адміністративних процедур, включаючи щотижневу документацію та модифікацію Плану управління сміттям. Водночас, ключовою зовнішньою реформою має стати запровадження державами приватних компаній, які гарантуватимуть приймання сміття будь-якої категорії та обсягу. Впровадження таких заходів не лише забезпечить екологічну користь, але й має значний економічний потенціал, як це демонструє світова практика переробки відходів на енергію та вторинну сировину. Таким чином, лише системний підхід, що поєднує технологічну прозорість, адміністративну відповідальність та економічне стимулювання, здатний ефективно знизити рівень забруднення та відновити екосистему в довгостроковій перспективі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sustainable Development in Shipping and Ports. World Bank Group. 2025. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/brief/sustainable-development-in-shipping-and-ports>
2. Велика Тихоокеанська сміттева пляма. Вікіпедія : [електронна енциклопедія]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Велика_тихоокеанська_сміттева_пляма
3. Міжнародна конвенція із запобігання забрудненню з суден. Вікіпедія : [електронна енциклопедія]. – URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Міжнародна_конвенція_із_запобігання_забрудненню_з_суден
4. Забруднення океанів. Вікіпедія : [електронна енциклопедія]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Забруднення_океанів
5. Marine and ocean pollution statistics, facts and how to help. Condor Ferries. 2025. URL: <https://www.condorferries.co.uk/marine-ocean-pollution-statistics-facts>
6. Karan Chopra. What is Garbage Management Plan (GMP) on a Ship. Marine Insight. 2021. URL: <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-garbage-management-plan-gmp-on-a-ship>
7. Абдулбарова Ю. Як країни світу позбавляються від сміття: топ-10 найкращих прикладів. linDEAL: <https://lindeal.com/rating/kak-strany-mira-izbavlyayutsya-ot-musora-top-10-luchshikh-primerov>

РЯТУВАННЯ СУДЕН ТА ІНШОГО МАЙНА

Дудкін Є.В., Панченко І.М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Інститут рятування суден та іншого майна є однією з найстаріших та важливих правових категорій у сфері морського права. Його історичне коріння сягає середньовічних морських звичаїв, коли рятівники отримували частку від вартості врятованого майна, що слугувало потужним стимулом для надання допомоги суднам, що зазнали лиха. Сучасна доктрина визначає рятування як добровільне надання допомоги судну, вантажу чи іншому майну, яке перебуває у реальній небезпеці на морі. Для визнання дій рятуванням необхідна одночасна наявність трьох юридично значущих умов: добровільності дій рятівника, існування реальної небезпеки для майна та досягнення корисного результату (хоча б мінімального, наприклад, зменшення шкоди чи запобігання катастрофі) [1]. У міжнародному аспекті еволюція інституту відображена у ключових документах, зокрема у Брюссельській конвенції 1910 року, яка заклала базові принципи «по суре — по рау» (no cure — no pay), та сучасній Міжнародній конвенції з рятування 1989 року [2], яка адаптувала ці принципи до сучасних вимог, включивши пріоритет захисту морського середовища.

Актуальність дослідження інституту рятування суден визначається його подвійною функцією — економічною та публічно-правовою, у контексті зростаючих викликів морської безпеки. Насамперед, геополітичне розташування та активна залученість України до міжнародної морської торгівлі створюють постійну загрозу аварій та екологічних катастроф, що вимагає наявності ефективної та гармонізованої з міжнародним правом системи реагування для захисту національних інтересів. Крім того, особливу значущість має аналіз імплементації нового механізму спеціальної компенсації, запровадженого Конвенцією 1989 року. Цей механізм поєднує класичний принцип «по суре — по рау» з екологічною відповідальністю, дозволяючи рятівнику отримати відшкодування витрат за успішне запобігання шкоді довкіллю, навіть без повного рятування майна. Це робить інститут рятування предметом постійного вивчення як у міжнародній арбітражній практиці (зокрема, у контексті SCOPIC-клаузули LOF), так і в національному законодавстві.

Постановка задачі. Основна задача даного дослідження полягає у проведенні комплексного аналізу інституту рятування суден та іншого майна, включаючи його міжнародно-правові основи та особливості імплементації у національному законодавстві України, з метою оцінки ефективності механізмів фінансового стимулювання рятувальних операцій.

Результати досліджень. Рятування — це особлива правова категорія, яка виникла ще у середньовічному морському праві. Суть рятування полягає в добровільному наданні допомоги судну, вантажу чи іншому майну, що перебуває в небезпеці на морі. Допомога визнається рятуванням лише за наявності трьох основних умов: добровільності дій рятівника, існування реальної небезпеки та отримання корисного результату. При цьому результат не обов'язково має бути абсолютним — достатньо зменшення шкоди чи запобігання катастрофі [1].

В історичному контексті першим важливим міжнародним документом стала Брюссельська конвенція про надання допомоги і рятування на морі 1910 року. Вона закріпила головний принцип: винагорода виплачується лише у випадку успіху, а її розмір визначається залежно від внеску рятівника. Проте згодом стало очевидно, що ця Конвенція не враховує сучасних реалій, зокрема зростаючої небезпеки екологічних катастроф на морі. Саме тому у 1989 році була прийнята Міжнародна конвенція з рятування, яка є чинною й сьогодні [2].

Розглядаючи зміст цієї Конвенції, варто звернути увагу на кілька ключових положень. По-перше, підтверджено принцип «по суре — по рау» (тобто безрезультатне рятування не оплачується). По-друге, вперше запроваджено так звану спеціальну компенсацію — якщо

рятівник не врятував майно, але його дії зменшили шкоду довкіллю, він має право на відшкодування витрат та навіть на спеціальну винагороду. По-третє, у Конвенції чітко закріплено критерії для визначення винагороди: вартість врятованого майна, рівень небезпеки, час і витрати, ризик для рятівників, використання обладнання, а також внесок у захист довкілля [3].

Україна приєдналася до Конвенції 1989 року, але з певними застереженнями. Її положення не застосовуються до рятування у внутрішніх водах, якщо всі сторони є українськими, а також у випадках, що стосуються об'єктів культурної та історичної спадщини. Внутрішні операції регулюються Кодексом торговельного мореплавства України, де передбачені аналогічні принципи: добровільність, наявність небезпеки та позитивний результат. Таким чином, українське законодавство гармонізоване з міжнародним, але має особливості, продиктовані національними інтересами [4].

Варто зазначити, що на практиці рятувальні операції переважно оформлюються за допомогою стандартизованих проформ договорів. Однією з найбільш поширених форм є Lloyd's Open Form (далі — LOF), яка існує вже понад сто років. Цей договір дозволяє швидко погодити умови рятування, а у випадку спорів питання розглядаються у Лондонському морському арбітражному суді. LOF заснований на принципі «по sure – по рау», проте сучасні редакції включають спеціальну SCOPIC-клаузулу, яка гарантує рятівнику отримання компенсації навіть у випадку відсутності фактичного результату, якщо його дії були спрямовані на запобігання забрудненню довкілля [5].

Окрему увагу заслуговує питання розподілу винагороди. Винагорода рятівнику не може перевищувати вартість врятованого майна, проте вона повинна бути достатньою, щоб стимулювати інших до участі у рятувальних операціях. Якщо рятування здійснювалося кількома сторонами, розподіл винагороди проводиться пропорційно внеску кожного рятівника. При цьому враховуються як матеріальні витрати (паливо, обладнання), так і нематеріальні фактори: ступінь ризику, кваліфікація команди, ефективність дій. Це забезпечує справедливий підхід до оцінки внеску та дозволяє уникнути конфліктів [3].

Розглядаючи значення інституту рятування для України, важливо підкреслити стратегічне геополітичне розташування нашої держави. Активна залученість українських морських портів до міжнародної торгівлі робить загрози аварій та екологічних катастроф досить реальними. У цих умовах участь України у міжнародній системі рятування забезпечує захист як національних, так і міжнародних інтересів. Крім того, українське законодавство враховує особливості охорони навколишнього середовища, що є особливо важливим для Чорного моря, яке визнане екологічно вразливим регіоном [4].

ЛІТЕРАТУРА

1. Law of Marine Salvage. *Trans-Lex*. URL: https://www.trans-lex.org/945300/_/law-of-marine-salvage
2. International Convention on Salvage, 1989. *IMO*. URL: <https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/international-convention-on-salvage.aspx>
3. International Convention on Salvage, 1989. Text. URL: <https://www.dco.uscg.mil/Portals/9/CG-5R/nsarc/Convention%20-%20Salvage%20%281989%29.pdf>
4. Nitsevych A., Melnykov N., Skorobogatov A. *Interlegal. Maritime Law in Ukraine. Interlegal*. 2017. URL: <https://interlegal.com.ua/en/maritime-law-in-ukraine>
5. Lloyd's Open Form. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Lloyd%27s_Open_Form

ANALYSIS OF ASPECTS OF POLLUTION OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS FROM APPLICATION OF PAINT MATERIALS ON SHIPS OF THE SEA AND RIVER FIREFIGHTING FLEET, AS WELL AS DOCK AND PIER ENGINEERING STRUCTURES OF SES OF UKRAINE

O. Kondratenko, O. Kovalenko

*National University of Civil Protection of Ukraine of SES of Ukraine
(Ukraine)*

Relevance of the study topic is due to the following components. Compliance with:

a) the Order of the State Emergency Service of Ukraine № 618 dated 20.09.2013 «On approval of the Regulations on the organization of environmental support of the State Emergency Service of Ukraine» [1], namely: the results of research allow achieving the goal of environmental support of the SES of Ukraine as a set of organizational and technical measures, carried out, including by higher educational institutions, namely, achieving environmental safety of all types of activities of bodies and units of the SES of Ukraine, protection of personnel and employees, material and technical means under the influence of environmentally unfavorable anthropogenic and natural factors, as well as environmental protection in the places of deployment and location of bodies and units of the SES of Ukraine, in terms of fulfilling the task of scientific support of the main tasks of environmental support of the SES of Ukraine, providing an assessment of environmental damage from the activities of bodies and units of the SES of Ukraine, implementing measures to restore the environment, complying with maximum permissible standards for emissions of harmful substances into the atmosphere, implementing measures to reduce them, reducing the toxicity of exhaust gases from equipment;

b) the Decree of the President of Ukraine № 722/2019 dated 30.09.2019 «On the Sustainable Development Goals of Ukraine for the period until 2030» [2], namely: the results of research correspond to Goal № 3 «Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages», Goal № 7 «Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all», Goal № 11 «Ensure inclusive, safe, liveable and environmentally sustainable cities and other human settlements», Goal № 13 «Take urgent action to combat climate change and its impacts»;

c) the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 476 dated 04/30/2024 «On approval of the list of priority thematic areas of scientific research and scientific and technical developments for the period until December 31 of the year following the termination or abolition of martial law in Ukraine» [3], namely: the results of research correspond to the direction of «Rational Environmental Management», namely «Modeling and Forecasting of the State of the Natural Environment, Technologies for Overcoming Negative Impacts on It», the section «Energy and Energy Efficiency», namely «Systems for Generating and Transporting Electric and Thermal Energy» and «Technologies for Developing and Using New Types of Fuel, Renewable and Alternative Energy Sources and Types of Fuel», the section «National Security and Defense», namely «Ecologically Balanced Energy Security» and «Intelligent Information and Control Technologies for Diagnostics, Operation and Repair of Military and Special Equipment»;

d) the Specialty Passport of 21.06.01 «Ecological Safety», approved by Resolution of the Presidium of the Higher Attestation Commission of Ukraine № 33-07/7 dated 04.07.2001 [4], namely: the results of research correspond to the directions of «Development of scientific methods for research of complex assessment and forecasting of the impact of technogenic pollution on the environment and humans» and «Improvement of existing, creation of new, environmentally safe technological processes and equipment that ensure the rational use of natural resources, compliance with the standards of harmful impacts on the environment. Environmental audit, environmental management»;

e) the Law of Ukraine № 3769-IX dated 04.06.2024 «On Amendments to Some Laws of

Ukraine Regarding the Mandatory Use of Liquid Biofuels (Biocomponents) in the Transport Sector» [5], namely: in Article 1, part «sustainability criteria — requirements that liquid biofuels (biocomponents) and biogas intended for use in the transport sector meet, in particular indicators of greenhouse gas emission reduction from the use of these types of biofuels and the prohibition of the use of certain land plots to obtain raw materials necessary for the production of such types of biofuels» and Section II «Liquid biofuels (biocomponents), which are taken into account to comply with the regulatory mandatory share in the sales of automotive gasoline in the customs territory of Ukraine, must meet sustainability criteria from June 1, 2025»;

f) the Standard of Higher Education in Specialty 183 «Environmental Protection Technologies» of the Third (Educational and Scientific) Level in the Field of Knowledge 18 «Production and Technologies», approved by Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1427 dated 23.12.2021 [6], namely: the Integral Competence «The ability to produce new ideas, solve complex problems in the field of research and innovation in the field of environmental protection technologies, which provides for a deep rethinking of existing and creation of new holistic knowledge and/or professional practice, to carry out own scientific research, the results of which have scientific novelty, theoretical and practical significance; to apply modern methodologies of scientific and scientific-pedagogical activity» and Special Competence «SC03. Ability to identify weaknesses and shortcomings in environmental protection systems, set appropriate scientific tasks and solve them using engineering, modeling, statistical, expert and other scientific research methods» and also Program Education Result «PER07. Develop, implement and evaluate the effectiveness of innovative environmental technologies and equipment in production to reduce the man-made burden on the environment and improve the ecological state of industrial regions»;

g) the Topics of Scientific Research and Scientific and Technical (Experimental) Developments for 2025-2029, approved by Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine № 326 dated 21.05.2024 [7], namely: in the Point 25 in part «Modeling and forecasting the state of the natural environment, technologies for overcoming negative impacts on it» and the Point 27 «Development of aviation, water and other types of transport of bodies and units of the Ministry of Internal Affairs system under the legal regime of martial law and the post-war period»;

h) the Civil Protection Code of Ukraine in its current version dated 12.09.2025, Article 108 «Civil Defense Service Oath» [8].

Purpose of the study. To analyze aspects of pollution of environmental components from a manufacturing and application of paint materials on on ships of the sea and river firefighting fleet, as well as dock and pier engineering structures of SES of Ukraine.

Results of the study. The study comprehensively investigated the problem of atmospheric air pollution in the production of paints and varnishes for painting fasteners, in particular using the example of the enterprise «AMEKS Fastener Technology» and application of paint materials on on ships of the sea and river firefighting fleet, as well as dock and pier engineering structures of SES of Ukraine. In accordance with the Order of the SES of Ukraine № 432 dated 27.06.2013 «On approval of the Instructions for the operation of vehicles in the bodies and units of the State Emergency Service of Ukraine» [9], the Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine № 283 dated 07.05.2013 «On approval of the Regulations on the procedure for issuing a certificate of a small/small-sized vessel navigator» [10] and the Order of the Ministry of Transport of Ukraine № 91 in the current version dated 20.12.2022 «On approval of the Rules of navigation on inland waterways of Ukraine» [11], the SES of Ukraine has been training specialists in the field of «Small motor vessel navigators» since 2025 on the basis of the National University of Civil Protection of Ukraine [12]. The technological features of production were revealed, the main components of paints and varnishes were characterized, and potentially hazardous substances formed as a result of this process were identified. It was determined that emissions of pollutants such as volatile organic compounds, carbon oxides, formaldehyde, dust particles and sulfur dioxide cause a significant negative impact on the health of the population

and the environment. This is confirmed by the statistics of diseases observed in industrial areas. The dynamics of the ecological state of the city of Kyiv over the past decade were considered based on official reports of the Ministry of Environment, which made it possible to trace negative trends, in particular, an increase in the number of exceedances of the MPC of harmful substances in the air. An important part of the study was the research of existing and promising methods of purifying atmospheric air at enterprises. The feasibility of using modern technologies such as catalytic purification, electrofiltration, biofiltration, and thermal decontamination methods was demonstrated, and the need to combine several methods to increase efficiency was emphasized.

Conclusions. Thus, this study analyzed qualitative and quantitative indicators characterizing the negative technogenic impact on environmental components from a manufacturing and application of paint materials on ships of the sea and river firefighting fleet, as well as dock and pier engineering structures of SES of Ukraine.

REFERENCES

1. Order of the State Emergency Service of Ukraine No. 618 (with amendments) dated September 20, 2013 «On approval of the Regulations on the organization of environmental support of the State Emergency Service of Ukraine». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0618388-13#Text>.
2. Order of the State Emergency Service of Ukraine № 618 (with amendments) dated September 20, 2013 «On approval of the Regulations on the organization of environmental support of the State Emergency Service of Ukraine». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>.
3. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 476 of 04/30/2024 «On approval of the list of priority thematic areas of scientific research and scientific and technical developments for the period until December 31 of the year following the termination or abolition of martial law in Ukraine». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2024-%D0%BF#Text>.
4. Specialty passport 21.06.01 «Ecological safety», approved by the Resolution of the Presidium of the Higher Attestation Commission of Ukraine № 33-07/7 dated 04.07.2001. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va7_7330-01#Text.
5. Law of Ukraine № 3769-IX dated 04.06.2024 «On Amendments to Certain Laws of Ukraine Regarding the Mandatory Use of Liquid Biofuels (Biocomponents) in the Transport Sector». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3769-20#Text>.
6. Standard of higher education in specialty 183 «Environmental Protection Technologies» of the third (educational and scientific) level in the field of knowledge 18 «Production and Technologies», approved by Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1427 dated 12/23/2021. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2021/12/24/183-Tekhn.zakh.navk.seredovyshcha-dokt.filos.pdf>.
7. Topics of Scientific Research and Scientific and Technical (Experimental) Developments for 2025-2029, approved by Order of the MIA of Ukraine № 326 dated 21.05.2024. URL: <https://mvs.gov.ua/normativno-pravovi-akti/nakaz-mvs-vid-21052024-326-pro-zatverdzennia-tematiki-naukovix-doslidzen-i-naukovo-texnicnix-eksperimentalnix-rozrobok-na-2025-2029-roki>.
8. Civil Defense Service Oath (Civil Defense Code of Ukraine in the current version of September 12, 2025, Article 108. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>.
9. Order of the SES of Ukraine № 432 dated 27.06.2013 «On approval of the Instructions for the operation of vehicles in the bodies and units of the State Emergency Service of Ukraine». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0432388-13#Text>.
10. Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine № 283 dated 07.05.2013 «On approval of the Regulations on the procedure for issuing a certificate of a small/small-sized

vessel navigator». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0831-13/en/ed20130507#Text>.

11. Order of the Ministry of Transport of Ukraine № 91 in the current version dated 20.12.2022 «On approval of the Rules of navigation on inland waterways of Ukraine». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0872-04#Text>.

12. Training of small motor vessel operators: information message on the official website of the National University of Civil Protection of Ukraine SES of Ukraine. URL: <https://nuczu.edu.ua/ukr/nutszu/arkhiv-novyn/sudnovodiji-malogo-motornogo-sudna>.

СПОСОБИ ПОКРАЩЕННЯ ЗАСОБІВ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВІСНИХ ВОД НА НАФТОНАЛИВНИХ СУДНАХ

Погорлецький Д.С.¹, Грицук І.В.², Худяков І.В.¹, Черненко В.В.¹

*¹Херсонська державна морська академія
(Україна)*

*²Національний університет Чернігівська політехніка
(Україна)*

Вступ. Очищення нафтовмісних вод є важливим процесом для захисту навколишнього середовища та забезпечення безпеки водних ресурсів. Води, що містять нафту, можуть виникати в результаті нафтових розливів, виробничих операцій у нафтовій промисловості, а також у процесі видобутку та переробки нафти. З метою регулювання та усунення негативних наслідків, викликаних забрудненням навколишнього середовища, були прийняті та ратифіковані Міжнародні угоди, а в багатьох країнах розроблено також і Національні програми щодо запобігання забруднення навколишнього середовища та, в першу чергу, водойм.

Міжнародні вимоги щодо очищення нафтовмісних вод містяться переважно у Міжнародній конвенції щодо запобігання забруднення з суден (МАРПОЛ 73/78), яка встановлює обмеження на скидання нафти у морі. Основні положення включають заборону на скидання нафти в прилеглих водах, вимоги до суден мати на борту нафтовмісні води та застосовувати спеціальні системи для їх очищення, а також процедуру контролю та документування скидів. Головні умови: скидання нафтовмісних вод дозволено лише поза спеціальними зонами, при русі судна, із вмістом нафти не більше 15 ppm (частин на мільйон). Судна валової місткістю 400 тонн і більше повинні мати на борту відповідне обладнання — сепаратор лляних вод з автоматичною системою контролю (вимірювач вмісту нафти) [1–5].

Основними причинами забруднення моря нафтою є: пошкодження суден в результаті аварійних подій; навмисне скидання нафти або нафтовмісних речовин у морське середовище; розлив нафтопродуктів в процесі вантажних або бункерувальних операцій; невеликі викиди нафтопродуктів в процесі звичайної експлуатації суден (змив нафтопродуктів з палуби в результаті дощів, перелив через гусаки повітряних труб і т. д.). Танкеру, також як і будь-якому іншому судну, властиві забруднення навколишнього середовища, викликані експлуатацією головної суднової енергетичної установки та допоміжними механізмами, а також утворюються в процесі життєдіяльності членів екіпажу [1–5].

Нафтоналивні судна проекту 550-А уособлюють собою цілу епоху в історії вітчизняного суднобудування та судноплавства, як одні з перших танкерів з подвійним дном і подвійними бортами. Якщо врахувати, що проект 550-А почав розроблятися конструкторами ще в кінці 60-х років минулого століття, то легко зрозуміти, наскільки революційним було таке рішення на той час. Танкерні судна проекту 550-А будувалися в Болгарії з 1969 по 1982 рік. Всього побудували близько 65 суден даного проекту, пізніше з урахуванням досвіду експлуатації в морських умовах були внесені зміни в пристрої і системи.

На даний час судна цього проекту, все ще експлуатуються багатьма судовласниками, як на морських та річкових шляхах України, а також Європи, вони проходять часткову модернізацію, для відповідності новим правилам міжнародного реєстру та безпеки суден.

Згідно проекту на суднах даного типу встановлювались фільтрувально-сепараційні установки типу УКФ-0,6 (установка коалес-центно-фільтрувальна), яка відповідає вимогам Резолюції ІМО Мерс 107 (49) і призначена для очищення судових нафтовмісних вод, виготовляв їх завод «Балтія» (м. Клайпеда), раніше випускаючий

установки типу СКМ. Продуктивність сепараційної установки УКФ — 0,6 м³/год.

У зв'язку з довгостроковим використанням сепараційних установок нафтовмістних вод (ляльних) УКФ-0,6, встановленої на нафтоналивному танкері «TARA-1» (ІМО: 8960153) проекту 550-А, який було побудовано у 1981 році на судновій верфі Rousse Shipyard (Болгарія, м Русе). Яка на даний час не відповідає нормам Міжнародної Конвенції щодо запобігання забрудненню із суден (MARPOL), в якій приводиться перелік технічних засобів для контролю запобігання забруднення водного середовища нафтовмістними водами (НВ) з суден, та Резолюції ІМО МЕРС. 107 (49), яка була прийнята 18 липня 2004 року, і використовується до всіх сепараторів нафтовмістних вод та систем сигналізації, які встановлюються на борту суден з 1 січня 2005 року та по теперішній час. В яких розкриваються вимоги, типи, матеріали та норми виготовлення та використання сепараційних установок для очищення нафтовмістних вод (ляльних) [1-5].

А саме в сепараційній установці нафтовмістних вод (ляльних) УКФ-0,6 встановлено фільтруючий елемент, у якому в якості наповнювача використовуються частинки сорбенту фенольно-формальдегідної смоли марки ФС-7-2-100 (ТУ6-05-958-78), з розміром часток до 6 мм. У зв'язку з тим, що на даний час фенольно-формальдегідні смоли заборонені та являються отруйними матеріалами. По токсичності фенол і формальдегід відносяться до II класу небезпеки для людини.

Фенолформальдегідні смоли (феноло-формальдегідні, PF, від англійського Phenol formaldehyde resin) — синтетичні смоли з групи феноло-альдегідних смол з властивостями реактопластів або термореактопластів. Є рідкими або твердими олігомерними продуктами поліконденсації фенолу з формальдегідом в кислому або лужному середовищі (навалочні та резольні смоли (бакеліти)), що відповідно впливає на їх властивості. У виробництві застосовуються токсичні матеріали. І фенол, і формальдегід отруйні і вогнебезпечні. Формальдегід має канцерогенну дію. Фенолформальдегідні смоли мають шкідливий вплив на шкіру, вони викликають дерматити та екземи. Великою проблемою є складність утилізації або повторного використання виробів з фенолформальдегіда [1–5].

Зважаючи на це більшість компаній судновласників нафтоналивних танкерів проекту 550-А, прийняли рішення замінити сепараційні установки нафтовмістних вод УКФ-0,6, на більш сучасні сепаратори нафтовмістних (ляльних) вод. Для прикладу приведемо сепаратор очистки нафтовмістних вод RWO SKIT/S-DEB-(2,5), продуктивністю 2,5 м³/годину, загальний вид якого зображено на (рис. 1).



Рисунок 1 — Сепаратор нафтовмістних (ляльних) вод RWO SKIT/S-DEB встановлений на нафтоналивному танкері проекту 550-А

Вибір був зроблений на користь даної сепараційної установки в зв'язку з тим, що вона відповідає нормам та вимогам резолюції ІМО МЕРС.107 (49), а також:

- гарантує очищення нафтовмісних вод до 5 ppm (5 мг/літр);
- відповідає правилам Морського і Річкового Регістру України;
- відповідає вимогам настанови щодо запобігання забрудненню внутрішніх водних шляхів при експлуатації суден, кодекс України (від 06.06.1995 № 213/95-ВР);
- система очищення льяльних вод також має монітор з функцією пам'яті, що забезпечує відображення дати, часу, поточного статусу системи і видачу аварійного сигналу про перевищення допустимої концентрації нафтопродуктів. Всі дані про роботу системи зберігаються протягом 18 місяців [1–5].

Сепараційна установка має широку галузь застосування, а саме: пасажирські, транспортні судна, нафтоналивний та технічний флот, пересувні та стаціонарні станції очистки нафтовмісних вод на спеціалізованих очисних судах.

RWO SKIT/S-DEB-(2,5) це гравітаційно-фільтруючий сепаратор вакуумного типу. Такий тип всмоктування допомагає уникнути інтенсивного змішування вихідної води, і таким чином ефективність очищення значно підвищується. Вода в такому OWS проходить два ступені очищення, а в якості фільтра використовується спеціальний коалесцируючий елемент з додатковим елементом фільтрації, друга ступінь очистки за допомогою вугільного фільтра. Тут найдрібніші мікрочастинки нафтопродукту затримуються на волокнах олеофільного фільтра.

Ключові переваги даної установки очистки нафтовмісних (ल्याльних) вод на ринку:

- зменшений ризик швидкого виходу з ладу мембран;
- відсутній шлам від хімікатів;
- низьке енергоспоживання (від 0,5 до 4,5 кВт);
- сепаратори прості і надійні в експлуатації, завдяки використанню коалесцируючого фільтра (запатентована технологія компанії RWO);
- відсутність корозійних ризиків: внутрішній 2-х компонентне епоксидне покриття (термін служби понад 20 років);
- поставляються як установка, готова до експлуатації, типу «Включи і працюй»;
- сепаратори встановлюються силами екіпажу, без залучення сервісних організацій;
- використання гвинтових насосів для перекачування льяльних вод з трюму через пристрій OWS-COM що дозволяє уникнути зайвого виникнення емульсій при змішуванні води та нафтопродуктів;
- модельний ряд сепараторів характеризується широким спектром продуктивності (від 0,1 до 10 м³/год).

Це веде до довговічної служби установки очистки нафтовмісних (ल्याльних) вод, відповідності діючій Міжнародній Конвенції щодо запобігання забрудненню із суден (MARPOL) та Резолюції ІМО МЕРС. 107 (49) [1-5].

Висновок. Зважаючи на розглянуті вище умови та способи покращення очистки нафтовмісних вод на нафтоналивних судах. Можливо зробити наступні висновки, що на даний час з урахування постійного посилення контролю за забрудненням морського та річкового середовища нафтомісними водами з суден. Модернізація та удосконалення систем очистки нафтовмісних вод є вельми актуальною, з огляду на стрімкий розвиток очисних установок, та їх безпеку для екіпажу та навколишнього середовища в цілому. За рахунок даних операцій можливо подовжити строк використання суден нафтоналивного флоту, та їх відповідність міжнародним стандартам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Худяков І.В. Аналіз технічних засобів очищення нафтовмісних вод. Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI – 2024) [Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції (28–29 листопада 2024 р., м. Херсон)]. — Херсон: Херсонська державна морська академія, 2024. — 304 с.
2. Oily Bilgewater Separators. United States Environmental Protection Agency Office of Wastewater Management Washington, DC 20460.
3. Guidelines and specifications for pollution prevention equipment for machinery space bilge of ships, international maritime organization, MERC/ Circ.262, 27 November 1992, MERC 33/20,33 pages. London SEI 7SR.
4. Резолюція МЕРС. 107(49) Переглянуті керівництво та технічні вимоги щодо обладнання для запобігання забрудненню з льяв машинних приміщень суден. — С-Пб: ЦНДІМФ, 2004.
5. Ткаченко І. В. Метод відділення водної компоненти від нафтовмісних домішок у суднових льяльних водах, заснований на гідродинамічному процесі суперкавітації // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал. — 2010. - №3. — С. 59–70.

CHARACTERISTICS OF POLYSTYRENE-STEEL COMPOSITE MATERIALS INTENDED FOR RADIATION SHIELDING

Prokhorenko E.M.¹, Lytvynenko V.V.¹, Zakharchenko A.A.², Khazhmuradov M.A.², Prokhorenko T.G.³

¹*Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine
(Ukraine)*

²*NSC «Kharkov Institute of Physics and Technology»
(Ukraine)*

³*Kharkiv National Automobile and Highway University
(Ukraine)*

Introduction. Currently, the problem of protection against ionizing radiation is acute. This is due to the widespread use of various ionizing radiation sources for diagnostics, control, and manufacturing. Various nuclear power installations are employed in the maritime sector. A large number of sensors using ionizing radiation sources have become very common. Irradiation may occur during the transportation of various radiation-hazardous cargoes.

Radiation is dangerous for service personnel and the environment. Ionizing radiation can also affect the accuracy and operational capability of instruments and equipment. Therefore, the application, operation, and transportation of ionizing radiation sources and radioactive materials require supplementary radiation shielding. It is necessary not only to ensure the safety and protection of the service personnel but also to prevent radioactive substances from entering the environment. Diverse radiation shielding technologies are employed for this purpose, including various structures and shields. Personal protective equipment is used to protect personnel. In the event of an accident, a comprehensive set of measures is implemented to localize the source of ionizing radiation and protect against its effects.

Radiation shielding materials are used in the design of protective devices. One of the most universal radiation shielding materials is concrete with additives. Heavy materials are added to concrete when creating protective structures. Lead is primarily used as it effectively absorbs X-rays, gamma rays, alpha, and beta radiation. When designing fast neutron nuclear reactors, the issue of neutron shielding is particularly critical. Protection against neutrons is provided by additives of materials such as B, Br, and Bi. The use of modified concrete is justified in certain situations, but circumstances arise where the use of modified concrete is difficult due to various reasons (weight, the presence of lead, complexity of application). Therefore, there is a constant need for other types of radiation shielding materials. Currently, a vast number of protective materials have already been created, and work on developing new materials continues. Based on new technologies and methods, it has become possible to create materials with pre-determined properties and characteristics. Currently, radiation shielding materials consisting of multiple components — composite materials — are being developed. Creating a composite involves selecting its base material and its radiation shielding component. It is also necessary to incorporate a material to reinforce the composite. Work has been conducted on the development of polystyrene-metal composite materials (PS-W-Al) and (PS-Fe-Al) [1, 2, 3, 4]. These materials are also used as a base for creating temporary protective screens in individual protection complexes.

Purpose of work. To improve the production of polymer-steel composite materials (PS-Fe-Al). To manufacture prototype samples of the composites. To conduct experimental and theoretical studies of the radiation shielding characteristics of PS-Fe-Al composites. To conduct experiments to study the tensile strength of this type of composite.

The main part. Polystyrene was used as the base for the PS-Fe-Al composite material. The choice of polystyrene as the base was based on several of its characteristics. Polystyrene is resistant to ionizing radiation. When polystyrene is exposed to radiation, two processes occur: the breaking of polystyrene chains and the process of their cross-linking. The cross-linking

process restores the polystyrene structure.

The rupture process is only slightly faster than the cross-linking process. Therefore, polystyrene destruction occurs simultaneously with restoration. All this increases the service life of polystyrene. Steel powder was used for radiation shielding [2,4]. Steel has poor radiation shielding properties. However, steel powder is very inexpensive. Steel powders are waste products from turning or grinding operations. The use of a polystyrene-steel composite is expedient in specific cases: when the thickness of the protective layer can be large and the radiation doses are not very high.

This means that using a polystyrene-steel composite is cost-effective at low radiation doses and with a large volume of space for the shielding layer. To increase the strength of the composite, the material was reinforced with aluminum powder. Liquid polystyrene wets the aluminum. During the polymerization of the liquid polystyrene, aluminum grains form a matrix in the composite. Clusters are formed that envelop the steel grains, increasing the strength of the composite material [1–4].

Production of composite material.

All work was carried out on a Kuasy 100/25-1 injection molding machine (injection pressure — 180 MPa, injection volume — 50 cm³) [1–4]. This unit is an injection molding machine with a reciprocating screw. With this apparatus, it is possible to produce various parts from reinforced polystyrene. However, the technological process has not been developed for multi-component mixtures. Additional difficulties also arise when mixing steel and aluminum powders. Steel and aluminum grains have different sizes and weights. They differ in thermal conductivity and heat capacity. All this complicates the process of composite material production. Therefore, an improvement was made to the Kuasy 100/25-1 injection molding machine. The block diagram of the Kuasy 100/25-1 machine with improvements is shown in Fig. 1.

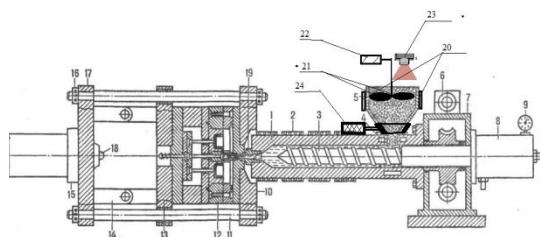


Figure 1 — Of principle chart of castable machine for casting under constraint: 1 — material cylinder; 2 — heating elements; 3 — screw (auger); 4 — cooling channels; 5 — material hopper; 6 — hydraulic engine; 7 — gearbox; 8 — hydraulic cylinder injection unit; 9 — manometer; 10, 17 — fixed plates; 11 — guide columns; 12 — injection mold; 13 — movable plate; 14 — wheel-lever mechanism; 15 — hydro-cylinder of the clamping unit; 16 — nuts; 18 — emphasis; 19 — nozzle, 20 — bunker heaters, 21 — blades for mixing the mixture, 22 — mixer drive, 23 — IR control camera, 24 — drive and rotary device for the entire bunker

Elements 20–24, which are highlighted in a darker color in the block diagram, were added to upgrade the machine. These are additional devices for rotation and heating elements. Their incorporation allowed for more uniform mixing of the components and the production of a homogeneous mixture. The shielding and hardness characteristics of the composite material depend on the uniformity of the component distribution throughout the volume of the composite. The higher the homogeneity of the mixture, the higher the quality of the composite material.

Discussion of results. Calculation of radiation shielding characteristics.

The primary characteristics of the composites are their radiation shielding properties. For the radiation shielding of biological objects and equipment, it is necessary to know the precise value of the attenuation factor of ionizing radiation after passing through the shielding layer.

Experimental results of radiation dose attenuation measurements are presented in works [2, 4]. These studies were conducted for composites with a small content of the metallic component, and the experimental measurements were found to be in agreement with theoretical calculations.

The Geant4 v4.9.6p03 software package was utilized to calculate the radiation dose attenuation. Graphs showing the change in absorbed dose as a function of ionizing radiation energy were obtained. Several types of composite materials were studied. They were fabricated in the form of plates with a thickness of 10 mm or spheres with a diameter of 10 mm. The results are shown in Fig. 2.

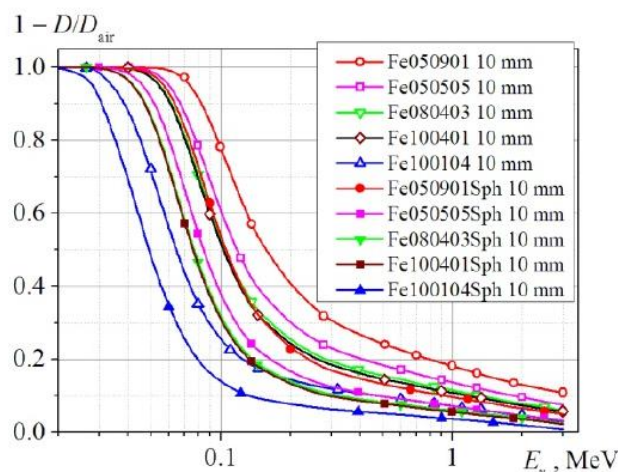


Figure 2 — Graphs showing the change in absorbed dose attenuation of gamma radiation

From the graphs, we can observe that ionizing radiation with energies up to 100 keV exhibits half-value layer attenuation for all samples of the composite material. Most household appliances that contain sources of ionizing radiation operate within this energy range. Consequently, even with these thicknesses of composite material, we can achieve sufficient shielding to conduct work in the ionizing radiation zone. By increasing the thickness of the shielding layer, the effectiveness of the shielding will only increase.

Experimental work was also performed to determine the ultimate tensile strength for composites containing the steel component. It was found that the maximum strength value is 33 MPa. This is valid for composites where the volume of the metallic component is equal to the volume of the polystyrene component.

Conclusions.

1. The manufacturing process for polystyrene-steel composite materials was refined, using steel powder as a radiation shielding additive. The composites had equal amounts of steel and polystyrene powder. Equipment operating modes were selected to produce composite materials with maximum component distribution homogeneity.

2. Graphs illustrating the change in absorbed dose were obtained. The energy range (up to 100 keV) at which half-value layer absorption occurs was identified. It was demonstrated that a shielding layer thickness of just 10 mm provides sufficient protection.

REFERENCES

1. E.M. Prohorenko, V.V. Lytvynenko, A.A. Zaharchenko, M.A. Hazhmuratov, T.G. Prokhorenko. Studying the changes in the characteristics of radiation-protective composition materials in dependence on homogeneity of distributing of metal components. Problems of atomic science and technology. 2019, № 2(120), p. 121–126.
2. E.M. Prokhorenko, V.V. Lytvynenko, A.A. Zaharchenko, M.A. Hazhmuratov, S.A. Sokolov, T.G. Prokhorenko, A.P. Ben. Analysis of radiation protective properties of polystyrene based composite materials. Problems of atomic science and technology. 021.

№ 3(133). p. 111–118. <https://doi.org/10.46813/2021-133-111>.

3. E.M. Prokhorenko, V.V. Lytvynenko, A.A. Zaharchenko, M.A. Hazhmuratov, T.G. Prokhorenko, A.P. Ben. Brief overview on research and development of radiation shielding protective composite materials based on polystyrene. Problems of atomic science and technology. 2024. № 2(150). p. 107–114. <https://doi.org/10.46813/2024-150-107>.

4. E.M. Prokhorenko, A.A. Zaharchenko, M.A. Hazhmuratov, S.A. Sokolov, T.G. Prokhorenko. Radiation shielding characteristics and characteristics of strength from polystyrene steel composite materials with high metal content. Problems of atomic science and technology. 2025. № 3(157). p. 127–133. <https://doi.org/10.46813/2025-157-127>.

ФАКТОРНА МОДЕЛЬ АВАРІЇ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ EVER GIVEN У СУЕЦЬКОМУ КАНАЛІ

*Россомаха О. І., Томчаковський Г. Г., Россомаха О. А.
Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. Сучасне морське судноплавство є основою світової економіки, однак воно характеризується підвищеним рівнем ризику, особливо у вузьких і складних акваторіях. Найяскравішим прикладом останніх років стала аварія контейнеровоза Ever Given у Суецькому каналі 23 березня 2021 року, що призвела до блокування міжнародного транспортного коридору на шість днів і завдала збитків у мільярди доларів. Інцидент продемонстрував, що навіть найсучасніші судна залишаються вразливими перед поєднанням природних умов, конструктивних особливостей та людського елемента. Це зумовлює необхідність глибокого аналізу причин та механізмів формування небезпечних ситуацій для розробки методів їх попередження. Побудова факторної моделі аварії Ever Given дозволяє систематизувати ключові чинники, визначити критичні порогові значення та сформувати основу для прогнозування розвитку подібних інцидентів.

Актуальність досліджень. Аварія Ever Given стала глобальним викликом для морської науки і практики, оскільки наочно показала залежність безпеки судноплавства від комбінації різнорідних факторів. Метеорологічні умови у день аварії були надзвичайно складними: потужний холодний фронт спричинив сильні південно-східні вітри швидкістю 25–30 вузлів, місцями із поривами понад 70 км/год, а також піщану бурю, що різко знизила видимість.



Рисунок 1 — «Ланцюговий ефект» аварії судна *Ever Given*
Джерело: власні розробки авторів на основі [1]

Ці умови істотно ускладнювали підтримання курсу судна. Водночас гідрологічні характеристики каналу створили додаткові проблеми: обмежена ширина й мілководдя сприяли виникненню «ефекту берега», коли асиметрія тиску води викликає неконтрольоване відхилення носа судна. У поєднанні з перевищеною швидкістю — близько 15 миль/год при офіційному обмеженні у 10 миль/год — це значно знизило можливості маневрування. Нарешті, вирішальну роль відіграв людський елемент: дії екіпажу та лоцманів в умовах інформаційного перевантаження і психологічного тиску

виявилися недостатньо ефективними. Всі ці чинники склалися у ланцюгову реакцію, яка призвела до блокування каналу (рис. 1).

Постановка задачі. Метою дослідження є побудова факторної моделі розвитку аварії Ever Given як прикладу системного аналізу навігаційної небезпеки у вузьких акваторіях. Для досягнення цієї мети необхідно було: визначити групи критичних параметрів; встановити їхні порогові значення; оцінити рівень ризику кожного фактора окремо та у поєднанні; сформувати модель, яка дозволяє прогнозувати момент переходу ситуації від контрольованої до аварійної. Особлива увага приділяється ролі людського елемента, який у поєднанні з технічними й природними умовами часто стає вирішальним у розвитку інциденту.

Результати досліджень. У результаті аналізу було визначено чотири ключові групи факторів: метеорологічні умови, гідрологічні характеристики акваторії, навігаційні параметри та людський елемент. Для кожної групи встановлено порогові значення, перевищення яких різко підвищує ймовірність аварії. Так, бічний вітер понад 25 вузлів призводить до некерованого зносу судна, ефект берега при малій глибині та вузькому каналі створює додатковий обертальний момент, швидкість понад 10 вузлів ускладнює своєчасну корекцію курсу, а несвоєчасні рішення екіпажу в умовах стресу фактично позбавляють судно можливості відновити контроль (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Ключові фактори аварії Ever Given

№	Фактор	Параметр	Порогове значення	Вплив
1	Сильний бічний вітер	Вітер > 25 вузлів	> 12 м/с	Знос судна, втрата курсу
2	Bank effect	Ширина каналу / глибина	< певної межі	Несиметрична гідродинаміка
3	Висока швидкість	> стандартних для каналу	> 10 вузлів	Знижена реакція судна
4	Людський елемент	Комунікація капітан – лоцман	Несвоєчасність рішень	Недостатня реакція

Джерело: власні розробки авторів

Розрахунок рівня ризику показав, що найбільш критичним є людський елемент, ризик за цим фактором сягає максимального значення 25 за шкалою 5×5. Високими виявилися також ризики від сильного вітру, ефекту берега та перевищеної швидкості, які окремо оцінені у діапазоні 12–16 (Таблиця 2).

Таблиця 2 – Реєстр небезпек

№	Небезпека	P	S	R=P×S	Рівень ризику
1	Сильний бічний вітер	4	4	16	Високий 
2	Bank effect	3	4	12	Високий 
3	Висока швидкість	4	3	12	Високий 
4	Людський елемент	5	5	25	Критичний 

Джерело: власні розробки авторів

Подальший аналіз комбінацій факторів засвідчив, що вже поєднання сильного вітру та ефекту берега переводить ситуацію у критичну площину, а додавання перевищеної швидкості та несвоєчасних дій екіпажу формує сценарій із максимальним

рівнем небезпеки. Таким чином, саме комбінація кількох окремих факторів середнього чи високого рівня небезпеки створює аварійний сценарій із катастрофічними наслідками. Візуалізація цих взаємодій відображена у факторній моделі (Рисунок 2).

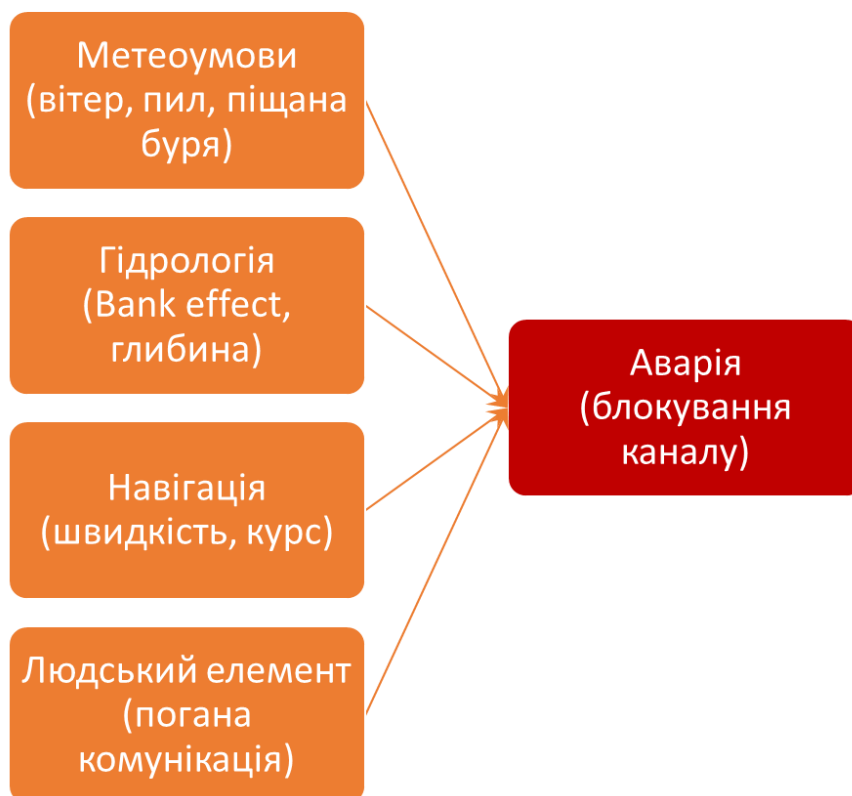


Рисунок 2 — Факторна модель розвитку небезпеки Ever Given
Джерело: розроблено авторами на основі [2–4]

Додатково було запропоновано інтегрувати факторну модель у сучасні системи навігаційної безпеки. Сьогодні ECDIS, AIS та VTS працюють ізольовано і не формують єдиної оцінки ризику (Таблиця 3).

Таблиця 3 – Можливості та обмеження основних систем

Система	Функція	Сильні сторони	Обмеження у випадку контейнеровоза Ever Given
ECDIS	Електронні карти, контроль фарватеру	Висока точність просторової інформації	Не враховує метео та гідродинаміку
AIS	Передача швидкості, курсу, координат	Прозорість руху, моніторинг	Не аналізує природні фактори
VTS	Зовнішній моніторинг і координація	Додатковий контроль з берега	Залежність від дій екіпажу

Джерело: власні розробки авторів

У результаті екіпаж отримує набір розрізнених сигналів, які у стресових умовах складно поєднати у єдину картину. У випадку Ever Given це призвело до несвоєчасних дій. Запропонована трирівнева архітектура інтеграції передбачає: збір даних усіма системами; обробку за допомогою факторної моделі, що визначає критичні комбінації; формування узагальнених попереджень і конкретних рекомендацій для екіпажу та диспетчерів. Її логіка показана на схемі (Рисунок 3) а ефективність демонструє порівняння реального та гіпотетичного сценарію розвитку аварії (Таблиця 4).

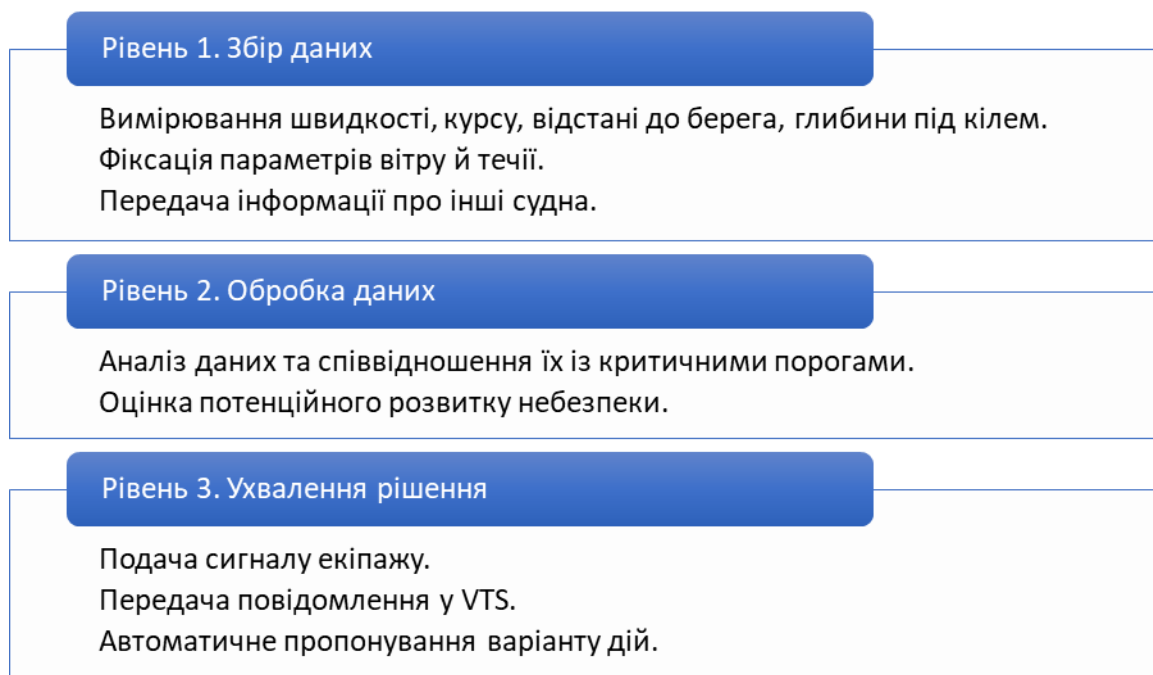


Рисунок 3 — Схема трирівневої інтеграції прогностичної моделі
Джерело: власні розробки авторів

Таблиця 4 — Реальний та гіпотетичний сценарій розвитку аварії

Етап	Реальний розвиток подій	Потенційна реакція інтегрованої системи
Перевищення швидкості	AIS фіксував 15 вузлів при ліміті 10	Сигнал про перевищення + рекомендація зниження швидкості
Сильний вітер	Метеодані >25 вузлів	Попередження про критичний вітер
Ефект берега	Судно наблизилось до стінки	Попередження про ризик втрати курсу
Людський елемент	Запізнення з діями	Узагальнена рекомендація «знизити швидкість негайно»

Джерело: власні розробки авторів

Подальший розвиток дослідження пов'язаний із застосуванням методів штучного інтелекту для автоматичного аналізу даних і прогнозування розвитку ситуацій.

Алгоритми машинного навчання здатні розпізнавати приховані закономірності у великих масивах інформації, виявляти критичні комбінації параметрів та формувати попередження у реальному часі. Це особливо важливо у стресових умовах, коли екіпаж перевантажений інформацією. Таким чином, факторна модель аварії Ever Given у поєднанні з AI створює основу для нового покоління систем навігаційної безпеки.

Висновки. Дослідження показало, що аварія Ever Given стала наслідком взаємодії чотирьох груп факторів — метеоумов, гідрології, навігаційних параметрів і людського елемента. Кожен із них окремо не був критичним, однак їхня комбінація створила аварійний сценарій із катастрофічними наслідками. Факторна модель дозволяє чітко структурувати ці параметри, визначити порогові значення та прогнозувати момент переходу ситуації у фазу некерованості. Її інтеграція в системи ECDIS, AIS та VTS забезпечує новий рівень навігаційної безпеки, де головний акцент робиться на попередженні розвитку небезпеки, а не на фіксації факту. Використання штучного інтелекту посилює можливості моделі й відкриває перспективи створення самонавчальних

систем управління ризиками. Таким чином, факторна модель аварії Ever Given може стати практичним інструментом як для портових адміністрацій та судноплавних компаній, так і для навчальних закладів, формуючи новий підхід до забезпечення безпеки судноплавства у вузьких акваторіях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Marine Safety Investigation Report. Grounding of MV Ever Given at Suez Canal, Egypt on March 23, 2021 [Електронний ресурс]. URL: <https://gcaptain.com/wp-content/uploads/2023/07/Final-Investigation-Report-Ever-Given-23-March-2021.pdf>
2. Fan Shiqi, та ін. Shipping Accident Analysis in Restricted Waters: Lesson from the Suez Canal Blockage in 2021 [Електронний ресурс]. SSRN Electronic Journal. 2022. DOI: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4156720
3. Navigation Risk Assessment and Management Plan. Strategic Action Programme for the Red Sea and Gulf of Aden [Електронний ресурс]. PERSGA, 2001. URL: https://persga.org/app/uploads/2024/06/1717314862_952_371123_15_navigation_risk_assessment_and_management_plan_2001.pdf
4. Safety4Sea. Navigation in narrow channels should be carried out at slow speed [Електронний ресурс]. 2021. URL: <https://safety4sea.com/navigation-in-narrow-channels-should-be-carried-out-at-slow-speed>

MEASURES FOR LOWER DANUBE IN CONTEXT OF JOINT STATEMENT ON GUIDING PRINCIPLES FOR THE DEVELOPMENT OF INLAND NAVIGATION AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN THE DANUBE RIVER BASIN

O. Rubel

*Institute of market and Economic-Ecological researches of NAS Ukraine
(Ukraine)*

The Sava Commission, the Danube Commission, and the International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR) will convene at the Vienna International Center on Friday, 27 September 2024, for a significant milestone in inland navigation and environmental protection. This gathering marks the launch of the first stakeholder workshop for the newly initiated process to review and update the "Joint Statement on Guiding Principles for the Development of Inland Navigation and Environmental Protection in the Danube River Basin," now known as Joint Statement 2.0. (Joint Statement 2.0., 2023)

The original Joint Statement was established in 2007 as a collaborative effort between stakeholders from inland waterway transport, environmental protection, and water management sectors within the Danube River Basin. This landmark agreement provided a set of principles and recommendations to ensure that navigation development was carried out in an environmentally, economically, and socially sustainable manner. Over the years, it has played a pivotal role in guiding numerous navigation projects, fostering an integrated approach to waterway management.

However, in light of significant developments in managing the Danube waterways, advancements in the transport system, changes in ecological water status, and the introduction of new legal and policy frameworks such as the European Green Deal, the three Commissions have recognized the need to review and update this guiding document. The Joint Statement 2.0 process aims to reflect the changes and challenges that have emerged since 2007, ensuring that the principles guiding inland navigation and environmental protection remain relevant and effective.

The updated Joint Statement 2.0 aims to reflect new challenges and developments in the project landscape, with an emphasis on climate change mitigation and adaptation. Key objectives of this process include:

- Securing Good Navigation Status (GNS) and Good Ecological Status (GES)/Potential in the Danube and Sava River Basins.
- Enhancing the resilience of the Danube and Sava River Basins to adapt to climate change impacts, including floods, droughts, and low water levels.
- Ensuring cost-effective and competitive inland water transport (IWT) on the Danube and Sava Rivers.
- Implementing a dynamic approach to river basin management using innovative and flexible strategies, including Nature-Based Solutions.

The original Joint Statement was a product of extensive consensus-building between stakeholders from inland waterway transport, environmental protection, and water management sectors in the Danube River Basin, initiated and led by the ICPDR, Danube Commission, and the Sava Commission. It served to facilitate sustainable navigation development in an environmentally, economically, and socially responsible manner, balancing economic growth with environmental protection.

Since its inception, the Joint Statement has guided numerous navigation development projects in the Danube and Sava River basins. However, the evolving landscape of inland navigation and environmental protection has highlighted the need for a comprehensive update to the framework. The framework included the Joint Statement document adopted in 2007-2008,

the Manual on Good Practices in Sustainable Waterway Planning published in 2010, and a follow-up process including annual stakeholder meetings and capacity-building activities.

The concept of Integrated River Corridor Management (IRCM), which forms the foundation of the Joint Statement 2.0 process, promotes a holistic vision of river corridors as complex, multifunctional, and dynamic systems that provide a wide range of ecosystem services. It encompasses the development of new IWT infrastructure and the enhancement and maintenance of existing infrastructure throughout its lifecycle, by treating the river corridor as a unified (eco)system and addressing diverse pressures and needs across the system. Thus, the IRCM concept aims to facilitate a shift from project-based sustainable IWT planning (the focus of the original Joint Statement) to a comprehensive management approach, fully considering river ecosystems. In this context, JS 2.0 represents the starting point of a long-term transformation toward full implementation of IRCM. While this may necessitate adjustments in policy or organizational arrangements at the national level, JS 2.0 offers a flexible framework for adopting the IRCM approach within existing systems and processes, supporting countries in making gradual progress toward transformation, aligned with their unique circumstances and priorities.

To address the complexity, conflicting interests, and growing challenges in river corridors, managing existing and planning new IWT infrastructure requires a shift from conventional, single-purpose engineering solutions to innovative approaches that involve a combination of conventional ('grey'), natural and nature-based ('green'), hybrid options, and non-structural measures.

Opportunities to facilitate this shift include ecological enhancement, redesign, or realignment of existing river training structures. Applicable at any stage in the structure's lifecycle (construction, repair, maintenance, or modification), these measures yield multiple benefits, including extended design life or improved technical performance, enhanced habitats, better recreational opportunities, and greater climate resilience for IWT. Such solutions can be effectively complemented by non-structural measures, most of which, however, require significant resources, equipment, and institutional capacity, as they depend on waterway asset management systems¹ and river information services (Hoffmann, M., et al., 2018).

Increasing attention is being given to the 'working with nature' approach and NbS, which align with the natural morphological processes of the river and prioritize minimal or temporary engineering interventions. Although the EU's environmental legislation does not introduce specific targets for NbS, their adoption is supported through requirements for non-deterioration and ecological enhancement. Examples of NbS, used in river and floodplain management (EU, 2023)².

Modification of existing river training structures

- Optimizing structures for low-water conditions by lowering or notching them
- Reducing the number or length of groynes
- Altering the location, shape or orientation of groynes
- Disconnecting groynes from the bank to establish fish bypass routes

Non-structural measures to improve IWT

- Sediment management and proactive fairway maintenance (e.g., targeted dredging, creating a low water corridor, avoiding dredging during ecologically sensitive periods, or reinstating dredged sediment into the riverbed or wetlands, where applicable)
- Fairway realignment

¹ Hoffmann, M., et al. (2018). Waterway asset management with holistic dredging and sediment management on the Danube, PIANC-World Congress: Panama City.

² Taxonomy Environmental Delegated Act, Regulation (EU) 2023/2486.

Bridges, T.S. et al., eds. (2021). *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*. US Army Engineer Research and Development Center.

- Flexible implementation of fairway parameters to reduce the number of bottlenecks
- Innovative flexible solutions (e.g., using mobile groynes or training walls during low-flow periods)
- Flexible traffic management (e.g., variable operations during specific periods, e.g., during low water levels in summer, or special navigation rules, e.g., in sharp bends), supported by integration with other transport modes
- Ship waste management³
- Fleet adaptation and modernization (to address low-flow conditions, decarbonize, automate, and digitalize IWT, prevent water pollution, and reduce wave generation and noise pollution by vessels), supported by incentives for these transitions (Bridges, T.S. et al., eds., 2021).

The «working with nature» approach and nature-based solutions

- Restoring corridor connectivity (by reconnecting, restoring, or preserving floodplains and wetlands; reconnecting or creating side-arms; installing fish migration aids or removing/adjusting, primarily obsolete, barriers; restoring or preserving river meanders)
- Improving water flow and sediment transport (by ensuring environmental flows downstream of reservoirs; restoring natural sediment transport processes, such as lateral erosion; restoring gravel bars or creating gravel islands)
- Enhancing habitat conditions (by restoring or applying an environment-friendly riverbank stabilization, including removing old and/or unnecessary bank protection structures, e.g., at inside bends; optimizing substrate composition; improving or developing habitat cover; restoring fish spawning and nursery areas; establishing riparian buffer zones) (DC,2022)).

While the potential of NbS to reduce fairway maintenance needs is still under research, they offer significant benefits, such as flood risk reduction, improved water quality, groundwater recharge, and habitat enhancement, by improving hydro-morphological conditions in river corridors. These benefits support diverse water uses and contribute to achieving the EU's environmental, biodiversity, and climate objectives. Their flexibility enables phased implementation, either independently or in combination with engineering solutions, thus fostering innovation to respond to future challenges and opportunities.

Actions at the national level to support the effective implementation of the Joint Statement 2.0 process should focus on strengthening institutional capacity, stakeholder involvement and ownership, and improving coordination and monitoring.

Conclusion

The global imperative for decarbonization, spearheaded by the European Community's ambitious climate targets, places water transport at the forefront of the green energy transition. As a vital economic engine, water transport not only fosters regional development, employment, and trade relations but also presents a unique opportunity to significantly reduce greenhouse gas emissions across the freight chain. The extensive regulatory framework and dedicated research and development programs within the EU, such as Horizon Europe, the Innovation Fund, and the Fit for 55 package, underscore a strong commitment to this transformation.

The inherent advantages of inland waterway transport, including its exceptional cost-effectiveness, fuel efficiency, and lower carbon emissions compared to road and rail, position it as a crucial component in achieving sustainable mobility. Its capacity to handle oversized cargo, integrate seamlessly with maritime transport, and offer significantly reduced maintenance costs further amplify its appeal.

The conservation and protection of the Danube Region's aquatic ecosystems, protected areas, and wetland complexes are critical for both ecological integrity and regional well-being.

³ DC (2022). Recommendations for organizing the collection of ship-generated waste in Danube navigation.

This multifaceted endeavor hinges on three core pillars: proactive protection and preservation, active restoration, and robust environmental monitoring and scientific research.

Effective **protection and preservation** require strict adherence to environmental regulations during resource utilization, vigilant fire prevention, and strategic hydrological interventions like increasing water supply to vital floodplains. Furthermore, it necessitates meticulous control over resource harvesting, exemplified by drone-assisted monitoring of reed mowing, to ensure sustainable practices.

The **preservation and restoration** pillar is equally vital, focusing on expanding restored wetland, meadow, forest, and steppe ecosystems through measures such as damming, hydro-reclamation, and the reintroduction of native herbivore species. The ambitious task of demolishing illegal dams and restoring abandoned ponds and rice fields will contribute significantly to ecological recovery. Coupled with efforts to conserve and reproduce wild animals and plants, including establishing adaptation centers and installing artificial breeding platforms, these actions aim to revitalize the Danube's rich biodiversity.

Finally, comprehensive **monitoring, scientific research, and observation** form the bedrock for informed conservation strategies. This includes systematically tracking alien species, assessing the impacts of shipping and the redistribution of Danube River runoff, and conducting detailed inventories of crucial habitats like spawning grounds and bird migration routes. The ongoing study of natural and anthropogenic factors, including the long-term effects of military actions and climate change, is essential for developing adaptive management plans. The ultimate goal is to leverage advanced tools like GIS systems and digital simulation models to provide a holistic understanding of the Danube Delta's ecosystems, enabling precise interventions and ensuring its long-term health and resilience.

The presented measures outline a robust and multi-faceted strategy for significantly reducing pollution by organic, biogenic, and hazardous substances in the Lower Danube Sub-Basin. This comprehensive plan addresses various sources of pollution, emphasizing both preventative actions and large-scale infrastructure projects.

Key to this strategy is the establishment of **water protection zones and coastal protection strips**, which will serve as a fundamental legal and spatial framework for environmental safeguarding. Targeted interventions, such as the **rehabilitation of former oil storage facilities**, directly tackle legacy pollution, demonstrating a commitment to remediating existing environmental damage. Furthermore, the development of a **Greening Strategy for Water Management Activities**, coupled with **economic and environmental certification of water users through digitalization**, will provide the necessary scientific basis, regulatory mechanisms, and monitoring tools to foster sustainable practices across the region.

A major focus of these initiatives is the **modernization of wastewater infrastructure**. The ambitious plan to construct and reconstruct sewage treatment plants and networks in key cities like Kiliya, Vylkove, Izmail, and Reni, often through the aggregation of facilities into unified treatment clusters, directly addresses point source pollution from urban areas. Complementary measures aimed at **improving and restoring the hydrological regime and morphological indicators of watercourses** through riverbed clearing, sediment management, and the removal of obstructions will enhance natural purification processes and ecological connectivity.

Finally, the strategy emphasizes mitigating the negative impact of **infrastructure projects** through the creation of specialized wastewater treatment complexes in Danube seaports and continuous scientific assessment of anthropogenic and climate change impacts. The proposed modernization of hydrological infrastructure management systems and the detailed mapping of valuable river sections and barriers underscore a commitment to informed decision-making and real-time environmental management. By investing in these comprehensive measures, the Lower Danube Sub-Basin can move decisively towards achieving a «good» ecological status, ensuring healthier aquatic ecosystems and a more sustainable future for the

region.

As Ukraine actively pursues integration into the European Union, its engagement in the decarbonization of maritime and inland waterway transport becomes paramount. By prioritizing the development of alternative fuel infrastructure in Danube ports and actively participating in global initiatives like the IMO's GHG Strategy and green shipping corridors, Ukraine stands to make a substantial contribution to global emission reduction targets. This strategic alignment will not only enhance Ukraine's international standing and accelerate its European integration but also attract multi-billion-dollar investments into large-scale alternative fuel production facilities. Ultimately, this will position Ukraine among a select group of nations capable of producing and supplying bunker fuel for inland waterway transport and Danube seaports, ensuring the long-term sustainability and competitiveness of its waterborne transport sector.

The ambitious targets set by the European Green Deal and enshrined in the EU Climate Law underscore a critical imperative: rapid decarbonization across all sectors, including transport. Inland waterway transport, though a relatively small sector, holds immense potential to contribute significantly to these goals, acting as a high-volume carrier for renewables and a vital enabler of Europe's economic and industrial backbone.

Achieving this transition demands a multi-faceted approach. While the Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR) provides a strong policy framework, addressing the high investment costs of hydrogen and battery conversion, ensuring affordable drop-in fuels, and strategically deploying alternative refueling infrastructure along **corridors** rather than in isolated ports are paramount. Continued EU co-financing, coupled with efforts to improve grid access and capacity at berths, will be crucial for the widespread adoption of shore-side electricity.

Ultimately, realizing the full potential of inland waterway transport as a resilient, competitive, and sustainable mode hinges on sustained investment in its infrastructure and a harmonized, interoperable approach across European corridors. By recognizing the unique value of inland waterways as multi-functional public assets and fostering close cooperation among policymakers, industries, and users, Europe can unlock a "quick win" for society and secure a robust future for its vital inland waterway system, propelling it towards a climate-neutral continent.

REFERENCES

1. Joint Statement on Guiding Principles for the Development of Inland Navigation and Environmental Protection in the Danube River Basin 2.0 (2025). ICPDR.
2. Hoffmann, M., et al. (2018). Waterway asset management with holistic dredging and sediment management on the Danube, PIANC-World Congress: Panama City.
3. Taxonomy Environmental Delegated Act, Regulation (EU) 2023/2486.
4. Bridges, T.S. et al., eds. (2021). International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management. US Army Engineer Research and Development Center.
5. DC (2022). Recommendations for organizing the collection of ship-generated waste in Danube navigation.

ПІРАТСТВО У ГВІНЕЙСЬКІЙ ЗАТОЦІ: АКТУАЛЬНІ ВИКЛИКИ МОРСЬКОЇ БЕЗПЕКИ ТА СТРАТЕГІЇ ПРОТИДІЇ

Таксіс А.В., Панченко І.М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Піратство в Гвінейській затоці є однією з найскладніших проблем сучасного міжнародного морського права та безпеки. Починаючи з 2011 року, ця діяльність перетворилася на проблему глобального масштабу, що впливає на низку країн Західної Африки та світову торгівлю. Пірати в цьому регіоні зазвичай є добре озброєними злочинними структурами, які спеціалізуються на використанні насильницьких методів, переважно з метою викрадення членів міжнародних екіпажів заради викупу. Хоча історично піратські напади були зосереджені на викраденні нафтовантажів (2012 рік фіксував високий рівень нападів – близько 966 інцидентів) [1], сучасний характер загрози сфокусований на захопленні людей, що є головним показником небезпеки регіону.

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження зумовлена парадоксальною динамікою піратства у Гвінейській затоці. На тлі успішних міжнародних військових операцій та значного зниження загальної кількості нападів у 2024-2025 роках, регіон залишається зоною найвищого ризику викрадення екіпажів у світі. Це свідчить про зміщення характеру злочинів, а не їхнє повне припинення. Проблема має значні економічні та геополітичні наслідки, оскільки збитки країн регіону, зокрема Нігерії, сягали мільярдів доларів, підриваючи енергетичну безпеку. Крім того, критичним залишається правовий аспект: обмеження юрисдикції військових суден продовжують сприяти безкарності злочинців. Необхідність усунення цих обмежень та аналіз потенціалу Женевської декларації про права людини на морі (2022 р.) як нового інструменту правового захисту жертв піратства визначає необхідність проведення цього дослідження для забезпечення стабільності та безпеки морських шляхів.

Постановка задачі. Основна задача дослідження полягає у проведенні комплексного аналізу причин стійкості піратських структур у Гвінейській затоці та оцінці динаміки злочинної діяльності (від викрадення вантажів до викрадення людей) станом на 2025 рік. Необхідно проаналізувати фактори неефективності існуючих правових механізмів та обґрунтувати необхідність удосконалення міжнародно-правового режиму для забезпечення безпеки судноплавства, а також встановити обмеження, які створює міжнародне право щодо юрисдикції, та визначити роль Женевської декларації про права людини на морі у захисті жертв морських злочинів.

Результати досліджень. При загальному зниженні активності морського піратства в масштабах планети, у Гвінейській затоці до 2023 року спостерігалось її значне зростання. За даними Міжнародного морського бюро, протягом пікових років розбійники викрадали понад сто людей на рік, що складало майже 90% від загальної кількості викрадених моряків у світі [2].

Станом на 2025 рік, завдяки узгодженим діям держав регіону та міжнародної військово-морської присутності, загальна кількість інцидентів суттєво знизилася, зафіксувавши один із найнижчих показників за десятиліття (наприклад, 15 інцидентів за перші дев'ять місяців 2025 року) [3]. Проте загроза викрадення екіпажів зберігається, оскільки кримінальний мотив не усунено. Пірати тепер полюють переважно на тихохідні танкери та допоміжні судна, зберігаючи здатність здійснювати атаки у відкритому морі та концентруючи свою діяльність на захопленні членів екіпажів заради викупу. Гвінейська затока, незважаючи на зниження загальної кількості нападів, продовжує утримувати лідерство за кількістю викрадень моряків у світі.

Економічні наслідки є катастрофічними. Найбільше страждають великі міжнародні нафтові компанії (ExxonMobil, Chevron, Shell, Eni і Total). Дії морських піратів завдають

значної шкоди і країнам регіону: наприклад, збитки Нігерії від піратства у 2022 році становили 400 000 барелів нафти щодня, або \$1,5 млрд на місяць (майже 5% ВВП) [4].

Фізичні заходи протидії включають встановлення колючого дроту по периметру судна та використання pomp для збивання піратів, які намагаються піднятися на борт [5]. Проте ці заходи є лише пасивним захистом.

Ефективність інституційної протидії обмежується нормами міжнародного права: військові судна можуть надавати допомогу захопленому кораблю тільки на своїй території (територіальних водах), а не у нейтральних водах. Це створює юридичний вакуум, внаслідок якого пірати, отримавши викуп, часто залишаються непокараними. Дві головні світові організації, що займаються протидією піратству – Міжнародна морська організація та Міжнародне морське бюро – на практиці можуть лише надавати рекомендації щодо дій у разі захоплення судна, а також наносити на карти зони ризику [5].

Незважаючи на юридичні обмеження, у сфері захисту прав потерпілих відбувається розвиток. 01 березня 2022 року в Женеві була прийнята Женевська декларація про права людини на морі. Вона є базовим міжнародним договором із прав людини, який став основоположним документом для захисту на державному рівні прав громадян, що потерпіли від піратства. Поява Женевської декларації стала важливим кроком до формування глобальної правової основи захисту жертв морських злочинів.

Ефективна боротьба з піратством у Гвінейській затоці вимагає комплексного підходу, який поєднує: узгоджені дії держав регіону та міжнародних організацій для розширення зони патрулювання; удосконалення правових норм і механізмів притягнення до відповідальності, що усувають юрисдикційний вакуум; посилення рівня технічного та фізичного захисту суден; міжнародну співпрацю у сфері морської безпеки.

Висновки. Піратство в Гвінейській затоці залишається масштабною безпековою та економічною проблемою, що безпосередньо впливає на світову торгівлю. Станом на 2025 рік, незважаючи на успішну військово-морську стримуючу операцію, яка знизилася загальна кількість нападів, регіон зберігає статус світового лідера за викраденнями екіпажів. Ключовим викликом залишається юридична неспроможність міжнародного права ефективно карати піратів через обмеження юрисдикції військових суден. Прийняття Женевської декларації про права людини на морі (2022 р.) є важливим кроком до зміцнення правового захисту жертв піратства. Тільки спільні та скоординовані зусилля світової спільноти, спрямовані на усунення правових прогалин та забезпечення постійної присутності у регіоні, можуть гарантувати безпеку морських шляхів, що є необхідною умовою для сталого розвитку світової торгівлі та глобальної економіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hogg J. Pirates paid \$400,000 ransoms in West Africa's Gulf of Guinea. *BBC News*. 2016. URL: <https://www.bbc.com/news/world-africa-36191477>
2. Долінчук С. Пірати Гвінейської затоки: як флібустьєри викрадають людей замість нафти. *Mind*. 2020. URL: <https://mind.ua/publications/20210796-pirati-gvinejskoyi-zatoki-yak-flibusteri-vikradayut-lyudej-zamist-nafti>
3. International Maritime Bureau (IMB). Piracy and Armed Robbery Against Ships Report, *ICC International Chamber of Commerce*. January – September 2025. URL: <https://www.steamshipmutual.com/sites/default/files/medialibrary/files/2025%20-%20Jan%20-%20Sep%20IMB%20Piracy%20and%20Armed%20Robbery%20Report.p>
4. Піратство у Гвінейській затоці. *Bikinedia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Піратство_у_Гвінейській_затоці
5. Гвінейська затока в даний час є найгіршою точкою піратства в світі. *Barbed*. 2019. URL: <https://barbed.ua/ua/news/gvineyska-zatoka-v-danyy-chas-ye-naygirshoyu-tochkoju-piratstva-v-sviti>

ОПЕРАТИВНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ОКЕАНОГРАФІЧНИХ УМОВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Тучковенко Ю.С.^{1,2}, Кушнір Д.В.¹, Матигін О.С.³, Газетов Є.Р., Чепурна В.Ю.³

¹ Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

(Україна)

² Інститут морської біології НАН України

(Україна)

³ Гідрометцентр Чорного та Азовського морів

(Україна)

Вступ. Оперативне прогнозування зміни океанографічних параметрів стану морського середовища української частини акваторії Азово-Чорноморського басейну, особливо таких як вітрове хвилювання, викликаних вітром коливань рівня моря, течій, необхідне для забезпечення потреб морегосподарського комплексу, безпеки мореплавання, портово-промислових і рекреаційних комплексів, розташованих на морському узбережжі, успішного виконання пошуково-рятувальних операцій на морі ДСНС України.

Внаслідок окупації Кримського півострова російською федерацією, в 2014 р. Україна втратила національну автоматизовану систему морського прогнозування для Чорного та Азовського морів, яка була створена та функціонувала на базі Морського гідрофізичного інституту Національної академії наук України (м.Севастополь) за фінансовою та матеріально-технічною підтримкою Європейського Союзу [1]. У зв'язку з цим, виникла нагальна потреба створення нового автоматизованого модельного комплексу для оперативного прогнозу короткочасної мінливості океанографічних характеристик в акваторіях Чорного і Азовського морів в межах відновлення функціонування національної системи морських прогнозів України. Такий комплекс був створений в Одеському державному екологічному університеті при виконанні науково-дослідної роботи «Розробка складових національної системи морських прогнозів України» ДР № 0117U002425, яка фінансувалась Міністерством освіти і науки України протягом 2016-2019 рр. [2–4], і переданий для випробувального використання в Гідрометцентр Чорного та Азовського морів (ГМЦ ЧАМ, Одеса).

Комплекс складається з сучасних європейських чисельних прогностичних моделей (розробники – науково-дослідний інститут прикладних досліджень «Делтарес», Нідерланди, та Delft University of Technology), які інтегровані між собою: гідродинамічної моделі Delft3D-FLOW, спектральної моделі для прогнозу просторово-часової мінливості параметрів вітрового хвилювання SWAN – Simulating Waves Nearshore Model, які були адаптовані до умов Азово-Чорноморського басейну, верифіковані і валідовані із використанням даних натурних спостережень [2–4].

Комплекс оснащений програмним модулем для зчитування метеорологічної інформації з веб-сервісу, її фільтрації та підготовки до використання при гідродинамічному моделюванні, а також містить оригінальний інтерфейс споживача — оператора-прогнозіста для роботи в спрощеному діалоговому режимі і графічного представлення результатів прогнозування.

На теперішній час комплекс проходить випробувальне використання в оперативній прогностичній практиці Гідрометцентру Чорного і Азовського морів.

Мета роботи полягає в оприлюдненні результатів випробувального використання автоматизованого модельного комплексу у складі інтегрованих чисельних математичних моделей Delft3D-FLOW + SWAN для оперативного прогнозування короткострокової мінливості океанографічних характеристик на підходах до морських портів Одеської

агломерації в період жовтень 2024 р. – березень 2025 р.

Актуальність досліджень. Достовірні морські прогнози сприяють мінімізації втрат та збитків від несприятливих погодних умов і максимізують вигоду за рахунок раціонального використання сприятливих факторів морського середовища. Чим ретельніше використовується інформація про погоду і стан морського середовища у всіх сферах економіки, пов'язаних з використанням ресурсів моря, тим стійкіше буде економіка прилеглих до моря областей України до всіх проявів природної стихії. Світова статистика свідчить, що якщо довіряти гідрометеорологічній інформації і адекватно на неї реагувати, то можна запобігти від 30 до 40 % соціально-економічних втрат від стихії, які визначаються сотнями та мільйонами гривень, і повністю уникнути людських жертв.

Постановка задачі. При проведенні прогностичних розрахунків в акваторії Чорного та Азовського морів використовується базова криволінійна розрахункова сітка з перемінними у горизонтальній площині розмірами осередків $\Delta x = 2,5-5$ км. У середині цієї базової сітки були згенеровані вкладені розрахункові сітки з більшою деталізацією: $\Delta x = 0,8-1,5$ км – для північно-західної частини Чорного моря (ПнЗЧМ) і $\Delta x = 90-250$ м – для акваторії Одеського району ПнЗЧМ, де розташовані морські порти Чорноморськ, Одеса, Південний [4].

У якості вхідної інформації для моделювання в автоматизованому режимі використовуються метеорологічні прогнози, які надаються за глобальною чисельною моделлю прогнозу погоди GFS (Global Forecast System) і вільно отримуються з веб-сервісу NOMADS (National Operational Model Archive and Distribution System) Національної метеорологічної служби США.

Автоматизований модельний комплекс дозволяє отримувати як передісторію розвитку метеорологічної і океанографічної ситуації (до 5 діб, але можна збільшити відповідно до потреб), так і прогноз розвитку океанографічної ситуації на 10 діб вперед від дати вироблення прогнозу. Однак слід зважати на те, що випробування прогностичної здатності програмного комплексу, у варіанті із використанням прогностичної інформації щодо мінливості вітрових умов за GFS прогнозом, показало, що він може застосовуватись для надання виправданого оперативного прогнозу мінливості океанографічних характеристик із завчасністю до 4 діб [4]. Океанографічні прогнози з більшою завчасністю мають малу виправданість через недостатню точність метеорологічного прогнозу.

У поточній версії комплексу розраховуються викликані вітром коливання рівня моря, параметри вітрового хвилювання та вітро-хвильових течій на морських акваторіях ПнЗЧМ, включно з підходами до портів. У разі потреби в отриманні більш деталізованих у просторі результатів розрахунків океанографічних характеристик, наприклад, для внутрішніх портових акваторій, лиманів, гирлових областей річок, для них можуть бути згенеровані додаткові криволінійні розрахункові сітки і застосовано метод «телескопізації» розрахункових сіток з різною просторовою деталізацією.

Верифікація роботи прогностичного комплексу виконувалась шляхом порівняння результатів прогностичних розрахунків з даними спостережень за висотою хвиль та рівнем моря на морських гідрометеорологічних станціях (МГС) ГМЦ ЧАМ в портах: Чорноморськ (ГМБ «Чорноморськ»), Одеса (МГС «Одеса-порт») та Південний (МГС «порт Південний»). Спостереження на МГС виконуються: за висотою хвиль — візуально; за рівнем моря — на МГС «Одеса-порт» — із використанням мареографу, на ГМБ «Чорноморськ» і МГС «порт Південний» — із використанням рівневих рейок.

Додатково, для відкритої частини Одеської затоки верифікація прогнозу висоти хвиль, наданого із використанням модельного комплексу, здійснювалась шляхом порівняння прогнозованих висот значних хвиль (SWH) з даними набору Global Ocean L3 Significant Wave Height From Nrt Satellite Measurements [5] на порталі COPERNICUS, які були отримані альтиметрами супутників: Sentinel-6A, Jason-3, Sentinel-3A, Sentinel-3B, Cryosat-2, SARAL/AltiKa, CFOSAT, Hai Yang-2B. Усього для вказаного вище періоду для

акваторії Одеської затоки використано 155 вимірів SWH.

Результати досліджень. На рис.1 приведені результати прогнозування викликаних вітром денівеляцій рівня моря від незбуреного стану в районі порту Одеса, які порівнюються зі спостереженими на МГС «Одеса-порт» значеннями. Останні розраховувались як відхилення поточних спостережених значень на МГС від осереднених за передуючі прогнозу 14 діб спостережень. Видно, що часова динаміка змодельованих значень денівеляцій рівня моря добре узгоджується зі спостереженими значеннями в діапазоні мінливості відхилень рівня моря від незбуреного вітром стану від -0,4 до 0,5 м.

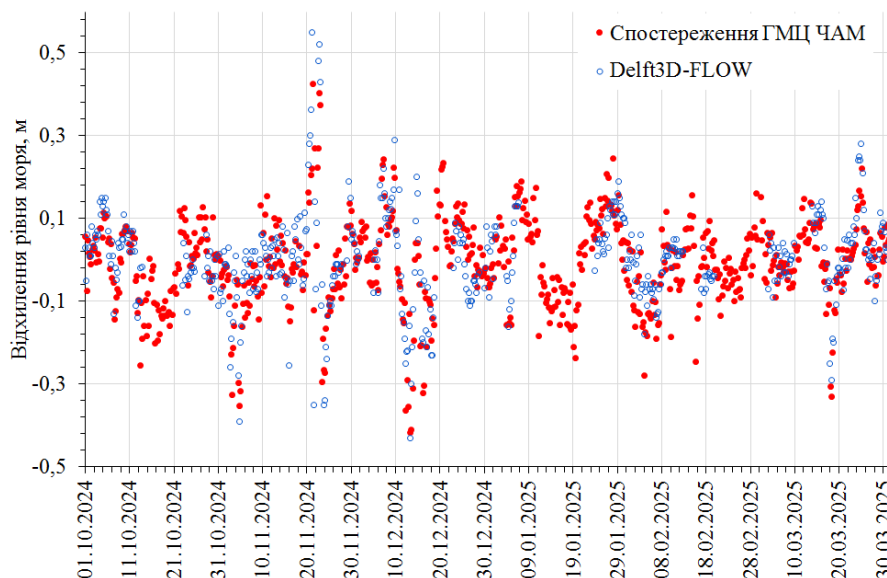


Рисунок 1 — Часова мінливість відхилень рівня моря поблизу порту Одеса у жовтні 2024 р. — березні 2025 р. за спостереженнями ГМЦ ЧАМ та за прогнозом із використанням моделі Delft3D-FLOW на період 1–3 діб

На рис. 2 виконано порівняння результатів прогнозування висот вітрових хвиль і відгінно-нагінних коливань рівня моря в районах розташування портів Одеської агломерації в період жовтень 2024 р. — березень 2025 р., отриманих із використанням модельного комплексу Delft3D-FLOW+SWAN, з результатами спостережень на відповідних ГМС та вимірюваннями альтиметрами супутників. На рис.2а порівнюються результати прогнозування висот вітрових хвиль з даними візуальних спостережень на ГМС виконаних в світлу пору доби, які самі по собі вже є приблизними. На рис. 2б результати прогнозування порівнюються з даними діагнозу висот вітрових хвиль, виконаного на підставі супутникових вимірювань. На рис. 2в прогнозовані денівеляції рівня моря від незбуреного стану порівнюються зі спостереженими на ГМС.

Приведені результати свідчать, що прогноз викликаних вітром денівеляцій рівня моря і висот вітрових хвиль добре узгоджується з даними спостережень на ГМС та супутниковими вимірюваннями. Ряди, що порівнюються, мають достатньо тісний взаємозв'язок для розрахунків із завчасністю прогнозування від 1 до 3 діб. Також встановлено, що модельний комплекс добре відтворює часову динаміку змін рівня моря та висот вітрових хвиль як в період штормових вітрів, так і в умовах домінування помірних вітрів.

Висновки. Автоматизований прогностичний комплекс у складі інтегрованих між собою чисельних математичних моделей Delft3D-FLOW+SWAN, в варіанті із засвоєнням прогностичної метеорологічної інформації із глобальної атмосферної моделі GFS, має добрі перспективи використання в оперативній прогностичній практиці Гідрометцентру Чорного та Азовського морів для надання оперативного прогнозу короточасної (1–3

добі) мінливості викликаних вітром коливань рівня моря та висот вітрових хвиль на підходах до морських портів Одеської агломерації. У разі наявності зацікавлених споживачів прогностичної продукції, після генерації додаткової вкладеної розрахункової сітки і застосування процедури «телескопізації» розрахункових областей, комплекс може застосовуватись для надання оперативних прогнозів океанографічних умов з високою просторовою деталізацією в обраних морських акваторіях: морських портах, лиманах, гирлових областях річок.

Також є можливості доповнення модельного комплексу додатковими модулями з пакету програм Delft3D: PART, який дозволяє виконувати моделювання транспорту (трасування) часток домішок різної природи та з різними властивостями від заданої точки скидання в море; SED та MOR — модулі для розрахунку транспорту наносів та деформацій дна, які можуть бути застосовані для вирішення задач літодинаміки, пов'язаних із оцінками інтенсивності занесення підхідних і сполучних каналів, акваторій портів, ефективністю гідротехнічних наносозахисних споруд. Сфера прикладного застосування модельного комплексу може бути значно розширена у разі доповнення модельного комплексу вказаними додатковими модулями.

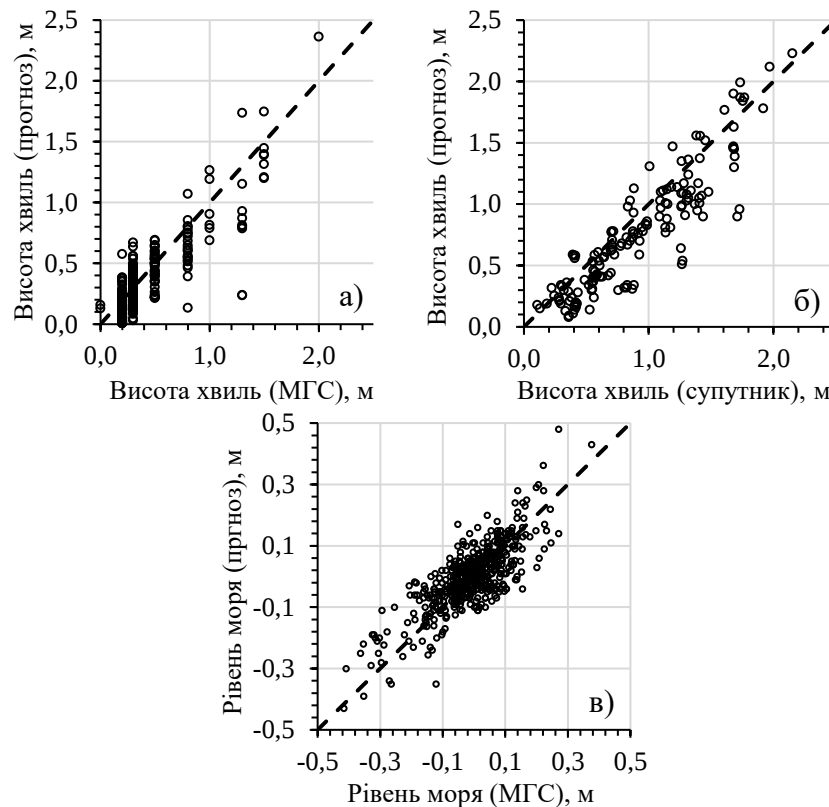


Рисунок 2 — Діаграми відповідності: прогнозованих і спостережених висот хвиль на МГС «порт Південний» (а) та у відкритій частині Одеського затоки за супутниковими даними (б); прогнозованих вітрових денівеляцій рівня моря і спостережених на МГС «Одеса-порт» (в)

ЛІТЕРАТУРА

1. Коротаев Г.К., Демышев С.Г., Дорофеев В.Л. и др. Архитектура и результаты работы международного Черноморского центра морских прогнозов, созданного на базе МГИ НАН Украины в рамках проекта Европейского Союза «Мой Океан». *Екол. безпека прибер. та шельф. зон та компл. викор. ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27. С. 128–133.
2. Кушнір Д.В., Тучковенко Ю.С., Попов Ю.І. (2019) Результати адаптації та

верифікації комплексу інтегрованих чисельних моделей для прогнозування мінливості океанографічних характеристик в північно-східній частині Чорного моря. *Український гідрометеорологічний журнал*, 23, 95–108. <https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.09>

3. Tuchkovenko Y., Kushnir D. Using the Modern Modelling Complex for Operational Forecasting Of Oceanographic Conditions In The Ukrainian Part Of The Sea Of Azov — The Black Sea Basin. *International Scientific and Practical Conference «Intellectual Systems and Information Technologies»*: Conference Proceedings, 13–19 September, Odessa State Environmental University. Odesa, 2021. Pp. 192–199.

4. Тучковенко Ю.С., Гаврилюк Р.В., Кушнір Д.В. (2021) Прогнозування океанографічних характеристик в української частині Азово-Чорноморського басейну: монографія / Одеський державний екологічний університет. Одеса. 122 с.

5. Global Ocean L3 Significant Wave Height From Nrt Satellite. URL: https://data.marine.copernicus.eu/product/WAVE_GLO_PHY_SWH_L3_NRT_014_001 (дата звернення 25.09.2025).

**СЕКЦІЯ:
ЕКОНОМІКА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ:
СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**SECTION
ECONOMICS OF MARITIME TRANSPORT: CURRENT STATUS AND
DEVELOPMENT PROSPECTS**

SWOT-АНАЛІЗ СТАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АВІАПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ У ПОВОЄННИЙ ПЕРІОД НА ПРИКЛАДІ ДП «АНТОНОВ»

Калашник Г.А., Калашник-Рибалко М.А.

*Українська державна льотна академія
(Україна)*

Вступ. Для відновлення України після закінчення російсько-української війни необхідним є найшвидше відновлення авіаційної галузі. Але це потребує стратегічного планування для подолання дефіциту кадрів, інфраструктури та відповідного фінансування [1]. Проведення SWOT-аналізу є не лише актуальним, але й необхідним для трансформації авіапідприємств України з вразливого сектору в стійкий елемент національної та глобальної економіки. Це дозволить не лише мінімізувати загрози, але й реалізувати потенціал для інноваційного зростання у повоєнний період.

Актуальність досліджень. SWOT-аналіз є інструментом стратегічного планування, який дозволяє оцінити внутрішні (Strengths — сильні сторони, Weaknesses — слабкі сторони) та зовнішні (Opportunities — можливості, Threats — загрози) фактори, що впливають на забезпечення сталого розвитку авіапідприємств України. Сталий розвиток в даному випадку розглядається як інтеграція економічних, соціальних та екологічних аспектів: відновлення інфраструктури з урахуванням «зеленого» переходу, підвищення конкурентоспроможності іноземних авіакомпаній, забезпечення безпеки та внесок у загальну економічну реконструкцію нашої країни [2]. Без системного аналізу існує ризик повторення помилок вітчизняної авіаційної галузі минулого, коли вона залежала від імпортних лізингових літаків і не мала резервних стратегій. SWOT-аналіз допоможе моделювати сценарії відновлення авіаційної галузі України у повоєнний період, забезпечуючи безпеку та стабільність національної економіки.

Постановка завдання. Проведення SWOT-аналізу для ідентифікації можливостей в умовах інтеграції України з ЄС є критично необхідним для забезпечення сталого розвитку вітчизняних авіапідприємств. Без такого аналізу вітчизняна авіаційна галузь ризикує залишитися на периферії глобального авіаційного ринку. SWOT-аналіз для Державного підприємства «Антонов» (ДП «Антонов»), як ключового транспортного авіапідприємства України, є інструментом для оцінки поточного стану та стратегічного планування відновлення після повномасштабного вторгнення РФ в Україну у 2022 році. Цей аналіз фокусується на сталому розвитку, враховуючи повоєнні виклики, такі як руйнування інфраструктури [1], залежність від імпорту та можливості України для інтеграції з ЄС. Повоєнне відновлення вимагає переходу від реактивних заходів до проактивного планування. SWOT-аналіз повинен інтегруватись в екосистемний підхід, де авіапідприємства співпрацюють з державою, інвесторами та стейкхолдерами для створення синергії.

Результати досліджень. Сильні сторони авіапідприємств України полягають у наявності радянської/української авіаційної спадщини, адаптивності під час російсько-української війни та у потенціалі для відновлення вітчизняної авіаційної галузі. Україна має потужну авіаційну промисловість, яка спеціалізується на важких вантажних перевезеннях, лінійку транспортних літаків ДП «Антонов». Станом на кінець 2024 року українські авіакомпанії експлуатували 152 літаки з дійсними сертифікатами, багато з яких використовувались для гуманітарних місій ООН у країнах Африки. Це забезпечує унікальну конкурентну перевагу України в ніші вантажних перевезень, де попит зростає на 18–40% через глобальні ланцюги постачань. Перед початком широкомасштабного вторгнення РФ в Україну 24 лютого 2022 року українські авіакомпанії, які спеціалізуються на цивільних авіап перевезеннях, евакуювали повітряний флот до сусідніх країн, переважно до Румунії та Молдови, і продовжили працювати. Наявний збережений кадровий потенціал авіаційних фахівців буде сприяти а швидкому відновленню авіаційної галузі в Україні.

Слабкі сторони зумовлені впливом російсько-української війни, руйнуванням авіатранспортної інфраструктури, втратою активів авіапідприємствами та авіакомпаніями, залежністю від імпорту та низькою «зеленою» готовністю українських авіапідприємств. Понад 20 аеропортів України з 24 лютого 2022 року пошкоджено [1], повітряний простір України закрито з 2022 року. Збережений повітряний флот українських авіакомпаній потребує модернізації — більше 62% літаків старше 10 років, з високими витратами на обслуговування. Українські авіакомпанії через війну та зростання цін на паливе накопичили борги понад \$1 млрд дол. США. Українські авіакомпанії недостатньо впроваджують «зелені» рішення внаслідок відсутності державної підтримки для розробки та використання стійкого авіаційного палива, що суперечить стандартам ЄС [3, 4, 6], вимогам ICAO [5]. Але повоєнний період може відкрити можливості для зростання через міжнародну допомогу та «зелену» реконструкцію українських авіапідприємств, модернізацію аеропортів, інвестиції у впровадження стійкого авіаційного палива (SAF). Відкриття повітряного простору в Україні дозволить відновити маршрути (Європа–Азія) з фокусом на вантажні перевезення.

Зовнішні загрози включають ризик повторних атак РФ на авіатранспортну інфраструктуру, що блокує відновлення авіапідприємств. Серед загроз також економічна нестабільність, інфляція, зростання цін на паливе (на 70%), дефіцит інвестицій, залежність України від донорів (G7, ЄС), зростання конкуренції від «зелених» авіакомпаній, кліматичні норми для авіації відповідно до вимог ICAO [5], ЄС [3, 4, 6]. SWOT-аналіз для ідентифікації можливостей в умовах інтеграції України з ЄС для забезпечення сталого розвитку вітчизняних авіапідприємств представлено у табл. 1.

Таблиця 1 — SWOT-аналіз для ідентифікації можливостей в умовах інтеграції України з ЄС для забезпечення сталого розвитку вітчизняних авіапідприємств

Категорія	Ключові елементи	Вплив на сталий розвиток
Strengths (Сильні сторони)	- Унікальні моделі повітряних суден ДП «Антонов» для перевезення важких вантажів (An-178, An-132), що не мають аналогів на світовому ринку, наявні 152 транспортні літаки; - Адаптивність (евакуація повітряного флоту перед початком масштабного вторгнення РФ); - EASA-партнерство; - Економічний стимул для розвитку туризму, експорту	Підтримка швидкого відновлення з фокусом на "зелену" логістику та інтеграцію до ЄС.
Weaknesses (слабкі сторони)	- Руйнування 20 українських аеропортів; - Старий повітряний флот (62% ПС >10 років); - Фінансові борги більше \$1 млрд дол. США українських авіакомпаній внаслідок війни; - Низька «зелена» готовність українських авіапідприємств до виконання вимог ЄС	Збільшує витрати на 40%, гальмує декарбонізацію; потребує інвестицій \$78 млрд на транспорт.
Opportunities (Можливості)	- можливість фінансування України у повоєнний період відновлення (\$524 млрд) - Ринкове зростання (вантажні перевезення, розвиток туризму); - «Зелений» перехід авіаційної галузі; - Партнерство з ЄС	Можливість впровадження аеропортів з нульовими викидами CO ₂ , ринкове зростання на 30% до 2030 р.
Threats (Загрози)	- Можливі повторні атаки РФ на енергетичну та транспортну інфраструктуру; - Економіка (зростання цін на авіаційне паливе +70%, необхідність інвестицій для відновлення авіаційної галузі у розмірі \$9.96 млрд; - Конкуренція з «зеленими» іноземними авіакомпаніями, які відповідають вимогам ЄС; - Глобальні ризики	Загрожує сталості; потребує захисту та реконструкції.

SWOT-аналіз для ДП «Антонов», як ключового авіапідприємства України, для оцінки поточного стану та стратегічного планування відновлення представлено у табл. 2.

Таблиця 2 — SWOT-аналіз ДП «Антонов» для оцінки поточного стану та стратегічного планування його відновлення

Сильні сторони (Strengths) - Висококваліфікований інженерний колектив та спадщина радянської/української авіаційної школи КБ «Антонов» (розробка унікальних моделей як An-124 «Руслан» та An-225 «Мрія»). - Унікальні моделі для важких вантажів (An-178, An-132), що не мають аналогів на світовому ринку. - Державна підтримка через та стратегічний статус як актив національної безпеки. - Досвід гуманітарних та комерційних перевезень (експорт до Індії, країн Перської затоки).	Слабкі сторони (Weaknesses) - Застарілий парк обладнання та відсутність серійного виробництва літаків лінійки An з 2015 року через російсько-українську війну з 2014 року, розрив з РФ, тимчасову залежність від російських компонентів. - Фінансові проблеми: борги, неефективне управління майном та аудитові порушення (втрати на 1 млрд грн за 2022–2024 рр.). - Руйнування ключової авіаційної інфраструктури МА «Гостомель». - Дефіцит кадрів та інвестицій через війну.
Можливості (Opportunities) - Реконструкція лінійки ПС An-124-150, реконструкція An-225. - Інтеграція з ЄС та НАТО: доступ до грантів ЄС, доступ до запчастин Boeing та необхідних компонентів, нові ринки та впровадження стандартів «зеленої» авіації. - Повоєнна відбудова, потреби в логістиці, модернізація флоту (лінійка ПС An-124-150). - Інновації, впровадження гібридних технологій для сталого розвитку.	Загрози (Threats) - Продовження геополітичної агресії РФ (ризик повторних атак на об'єкти інфраструктури). - Глобальна конкуренція (Boeing, Airbus, китайські аналоги) та залежність від імпорту компонентів для двигунів. - Економічна криза в Україні (дефіцит фінансування, інфляція; витрати на відбудову). - Екологічні регуляції та кліматичні ризики.

За результатами проведеного SWOT-аналізу розроблено стратегічні рекомендації для відновлення ДП «Антонов» на період 2026–2030 рр. у повоєнних умовах (табл. 3).

Таблиця 3 – Стратегічні рекомендації для відновлення ДП «Антонов» на період 2026–2030 рр. у повоєнних умовах

Напрямок	Рекомендації	Ключові KPI	Термін	Партнери / джерела фінансування
1. Відновлення ключового активу	Реконструкція лінійки ПС An-124-150 з використанням 30 % готових вузлів та компонентів (Boeing).	70 % комплектації до 2028 р.	2026–2030	ЄС (Recovery Fund), Катар, Boeing, Укроборонпром
2. Диверсифікація виробництва	Запуск серійного виробництва An-178 (6–8 бортів/рік) з двигунами CFM-56 / ПД-35 (заміна Д-436).	Контракти на експорт ПС (Перу, Індія, Саудівська Аравія).	2026–2028	GE Aviation, Прогрес, Івченко-Прогрес
3. Цифрова трансформація	Впровадження PLM-системи Siemens Teamcenter + цифровий двійник An-124-150.	Скорочення циклу проектування на 40 %.	2026–2027	Siemens, Microsoft Azure Ukraine
4. «Зелена» авіація	Сертифікація An-132D на SAF (Sustainable Aviation Fuel) + гібридна силова установка для An-178.	Зниження CO ₂ на 20 % до 2030 р.	2027–2030	ICSA, SkyNRG, HAY
5. Людський капітал	Програма «Антонов Академія» (500 інженерів/рік) + релокація 200 спеціалістів з окупованих територій, країн ЄС.	80 % кадрового забезпечення до 2028 р.	2026–2029	МОН, ЄС (Erasmus+), Канада
6. Нові ринки	MRO-хаб у Жешуві (Польща) для An-124/ An-148 для країн НАТО + контракт з NATO SALIS до 2035 р.	+\$120 млн/рік доходу.	2026–2027	NATO, Польща, Volatus Aerospace
7. Фінансова стійкість	IPO 25 % акцій на Варшавській біржі (після корпоратизації) + облігації відбудови на \$300 млн.	Чистий прибуток > \$50 млн до 2030 р.	2027–2028	EBRD, IFC, NBU
8. Захист активів	Антидроновий комплекс «Корал-Антонов» навколо Гостомеля + кіберзахист за стандартом NIST.	99,9 % захисту інфраструктури.	2026	Літі Полісистемс, США (CISA)

Виконання розроблених на результатах SWOT-аналізу стратегічних напрямів дозволить ДП «Антонов» перейти від виживання до лідерства у ніші надважких перевезень; забезпечити сталий дохід до 2030 р., знову стати технологічним хабом України в авіабудуванні з фокусом на зелений та цифровий перехід відповідно до вимог ЄС.

Висновки. Виконано SWOT-аналіз для ідентифікації можливостей в умовах інтеграції України з ЄС для забезпечення сталого розвитку вітчизняних авіапідприємств. Виконано SWOT-аналіз для ДП «Антонов», як ключового авіапідприємства України для оцінки поточного стану та стратегічного планування відновлення після повномасштабного вторгнення РФ в Україну у 2022 році. За результатами проведеного SWOT-аналізу розроблено стратегічні рекомендації для ДП «Антонов» на період 2026–2030 рр. у повоєнних умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Калашник Г.А., Калашник-Рибалко М.А. Комплексний підхід до планування відбудови пошкодженої інфраструктури цивільних аеродромів України. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. №8 (49). С. 1440–1453. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-8\(49\)-1440-1453](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-8(49)-1440-1453)
2. Action plan of Ukraine for reducing aviation CO₂ emissions. 2021. 83 p. https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/Action-plan-of-Ukraine-for-reducing-aviation-CO2-emissions-2021_compressed-1.pdf (дата звернення 03.11.2025)
3. EASA. 2023. Part 21 — Airworthiness and Environmental Certification. 2023. <https://www.easa.europa.eu/en/acceptable-means-compliance-and-guidance-material-group/part-21-airworthiness-and-environmental> (дата звернення 03.11.2025)
4. EU. The European Green Deal. The European Climate Pact. 2025 URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата звернення 22.10.2025). (дата звернення 03.11.2025)
5. ICAO. 2024. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). URL: <https://www.icao.int/CORSIA> (дата звернення 03.11.2025)
6. The EU Emission Trading System (EU ETS). European Union, 2016. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en. (дата звернення 03.11.2025)

ІННОВАЦІЙНА ОРІЄНТАЦІЯ РОЗВИТКУ ПОРТІВ

Маркова Є.Ю.¹, Марков М.М.²

¹*Херсонський морський фаховий коледж рибної промисловості
(Україна)*

²*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Сьогодні морські порти функціонують в умовах гострої конкурентної боротьби за вантажну базу як на міжнародному, так і на внутрішньому ринку країни. Вирішення найбільш актуальних завдань успішного функціонування портів в сучасних умовах можливе лише при інноваційній орієнтації стратегії розвитку. Це обумовлює актуальність обраної теми дослідження.

Задачі дослідження полягають у вивченні сучасних (інноваційних) шляхів удосконалення ефективності функціонування морських портів та переходу їх на концепцію «Smart port».

Як відомо, порт — транспортний комплекс, призначений і обладнаний для обслуговування суден і пасажирів морським транспортом; також загально «порт» можна розглядати як всі берегові пристрої з акваторією, що прилягає, або як транспортний вузол, що пов'язує водний та сухопутний види транспорту.

Попри значний потенціал, українські порти стикаються з серйозними проблемами, які вимагають негайного вирішення:

– Військова Загроза: Втрата та блокування ключових портів (Маріуполь, Бердянськ, Херсон, Миколаїв) та необхідність гарантування безпеки морських коридорів.

– Зношеність Інфраструктури: У багатьох портах існує потреба у масштабній заміні причалів, складського обладнання та під'їзних шляхів, що гальмує ефективність.

Недостатня Цифровізація: Розбіжність у рівні цифрової інтеграції між флагманами (3-го покоління) та меншими портами.

– Конкурентне Середовище: Необхідність підвищення ефективності для успішної конкуренції з портами Румунії, Туреччини та Грузії на Чорному морі.

Еволюція морських портів України від 1-го до 4-го покоління відображає історію економічного розвитку України та її інтеграцію у світову торгівлю [Таблиця 1].

Ключовим елементом подолання проблем з фінансування та впровадження інновацій є розвиток публічно-приватного партнерства та прозоре залучення капіталу для модернізації.

Міжнародна практика визначає головні напрями підвищення ефективності та надійності функціонування морських портів [Таблиця 2], зокрема їх техніко-економічного рівня, а також удосконалення організаційно-правових та фінансово-економічних механізмів з урахуванням процесів інтеграції.

Таблиця 1 — Еволюція морських портів

Покоління	Характеристика та опис
1-ше Покоління (Традиційні)	- Основна функція — перевалка вантажів, без комплексної логістики. - Базова інфраструктура: мінімальна механізація, обмежені склади, причальні споруди. - Обробка вантажів: переважно ручна, низька ефективність (метал, ліс, зерно, вугілля). - Технічний рівень: застарілі технології, мала глибина акваторії, невеликі судна. - Приклади: Ренійський, Усть-Дунайський, Очаків.

2-ге Покоління (Механізовані)	- Період: до середини XX ст. - Початок механізації портів — порталні крани, конвеєри. - Формування спеціалізованих терміналів: контейнерні, наливні, зернові. - Розширення інфраструктури: склади, залізничні під'їзди, нафтобази. - Активний розвиток портів: Миколаїв, Херсон, Ізмаїл. - Початкова автоматизація: механічні системи без цифрового контролю. - Період: друга половина XX ст.
3-тє Покоління (Інноваційні)	- Впровадження цифрових рішень і високих технологій в управління. - Глибоководні термінали (до 21 м) — прийом найбільших суден (Panamax, Post-Panamax). - Автоматизація управління та документообігу, електронний обмін даними. - Інвестиційна активність: міжнародні корпорації модернізують порти. - Розвиток логістичних кластерів — порти як центри транспортних мереж. - Період: 1990–2010-ті роки
4-те Покоління (Smart Port)	- Порти нового типу — Smart Port, що працюють як єдина цифрова екосистема. - Використання IoT, Big Data, AI для управління логістикою в реальному часі. - Екологічна трансформація: перехід на відновлювану енергію, зниження CO₂. - Повна автоматизація транспорту, кранів, систем митного контролю. - Цілі: безпека, енергоефективність, прозорість, мінімізація людського фактору. - Перспектива: розвиток до 2038 року, створення 5-го покоління — автономних портів.

Таблиця 2 — Інноваційні напрями розвитку портової інфраструктури

Напрями розвитку портової інфраструктури України		
Глобальна інтеграція	Шлях до інновацій	Міжнародна співпраця
Відновлення та модернізація портів є ключем до стабільного експорту та посилення позицій України у світовій логістиці.	Майбутнє за технологіями, цифровізацією та екологічністю	Для реалізації потенціалу критично важливим є залучення міжнародних інвестицій та співпраця в сфері безпеки морських шляхів

Висновки. Для того щоб нормально запрацювали інноваційні механізми в нашій країні, потрібна продумана модернізація (а може, і реструктуризація) портів, яка прописана в Стратегії розвитку портів.

Для досягнення цієї мети треба спланувати стратегічні цілі за такими пріоритетними напрямами:

1. Збалансований розвиток та ефективне використання портових потужностей на інноваційній основі.

2. Забезпечення конкурентоздатної логістики та покращення сервісу в морських портах.

3. Оптимізація системи управління галузі [3].

Зараз фактично зупинено реалізацію ключових програмних документів у сфері морського та внутрішнього водного транспорту (Морської доктрини та Стратегії розвитку морських портів України), не можуть бути виконані завдання Плану заходів з виконання Національної транспортної стратегії України та Національної економічної стратегії України.

Подальшого вивчення потребує можливість удосконалення законодавства з метою розвитку морських портів, перехід до європейської моделі управління «порт-лендлорд», а також розгляд можливості запровадження інших моделей управління [2,4,5].

ЛІТЕРАТУРА

1. Решетков Д.М., Павлова Н.Л. Сучасні тенденції розвитку морських портів у світі та Україні. Мультимедійна презентація для навчальної дисципліни «Організація портового обслуговування вантажів і транспортних засобів». Одеса: ОНМУ, 2024.

2. Чекаловець В. Морська транспортна система США: досвід розвитку та можливості його використання в Україні/ В.Чекаловець, С.Крижановський // Економіст. – 2005. – №12. – С. 50-54.

3. Маркова Є.Ю. Стратегічне управління і механізми управління виробничо-господарською діяльністю: проблеми теорії і практики: монографія. – Херсон: Айлант, 2016. – 348 с.

4. Про затвердження Стратегії розвитку морських портів України
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/548-2013-%D1%80#Text>

5. Проект Плану відновлення України
<https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/restoration-and-development-of-infrastructure.pdf>

СЕКЦІЯ:
ЛЮДСЬКІ РЕСУРСИ МОРСЬКОЇ ІНДУСТРІЇ ТА ВПЛИВ ЛЮДСЬКОГО
ЧИННИКА
SECTION
HUMAN RESOURCES IN THE MARITIME INDUSTRY AND THE IMPACT
OF THE HUMAN FACTOR

MATHEMATICAL MODEL OF THE FATIGUE INDEX

O. Koretsky, E. Appazov
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

Introduction. The safety of maritime transportation largely depends on the condition of the watchkeeping officer. According to [1], the human factor accounts for more than half of critical incidents and errors in maritime operations. Continuous exposure to various stressors, such as fatigue, heavy daily work, and the inability to compensate for their negative effects, adversely affects attention, increases the likelihood of errors during duty performance, and may lead to fatal consequences [2]. To reduce accident rates caused by the negative impact of fatigue and stress, a number of conventions and recommendations have been developed to regulate and monitor working hours, rest periods, and the well-being of crew members [3,4]. However, despite these measures, the issue of fatigue persists. One of the main reasons for this is that fatigue is a subjective and poorly defined concept, and its assessment is usually performed using various questionnaires without monitoring actual biological indicators [5]. Due to this reason, high attention is being paid to the implementation of monitoring systems based on the analysis of physiological parameters that correlate with fatigue and stress [6].

Review. According to [7,8], the main indicators of fatigue include:

1. Heart Rate Variability (*HRV*) — a low *HRV* is associated with chronic fatigue, psycho-emotional exhaustion, and sleep disturbances.
2. Resting Heart Rate (*RHR*) — an elevated *RHR* may indicate physiological overstrain or active stress [9].
3. Sleep parameters (*REM* — quick sleep and *Deep Sleep*) — a decrease in their duration directly affects cognitive functions by reducing reaction speed, attention, and task accuracy [10]. Even short-term sleep fragmentation significantly decreases *HRV* and increases subjective fatigue [11]. Study [12] demonstrates a reduced perception of stress with an increase in the duration of deep sleep.
4. Daily activity level (*Activity*) — excessive physical activity without sufficient sleep leads to a general decrease in *HRV*, an increase in *RHR*, and delayed recovery of the body's physiological reserves [13].

Due to that all these factors influence the level of fatigue in one way or another, a mathematical model of the overall fatigue index (Fatigue Index, *FI*) has been proposed.

Materials and Methods. The study involved eight navigators aged from 25 to 55 who had been on board for 7–12 weeks. All participants were healthy, with no signs of cardiovascular or neurological disorders, and did not use stimulants or sedatives during the experiment. Observations were carried out during active watchkeeping and other professional duties periods. Each participant underwent continuous monitoring over a seven-day period, including active watches both in port and at sea, as well as periods of sleep.

The collection of *HRV*, duration of Deep Sleep ($T_{DeepSleep}$), *REM*-quick sleep (T_{REM}), and total time of sleep (T_{Sleep}), heart rate (*HR*), and physical activity level (*Activity*) was carried out on a 24/7 basis using Garmin Vivoactive devices, which allowed for continuous tracking of the daily fluctuations of these parameters.

The model is based on the assumption that the level of fatigue results from a combination of recovery deficiency (manifested as decreased *HRV* and reduced duration of deep and *REM* sleep phases) and physiological overload (reflected in increased *RHR* and *Activity*). Accordingly, the Fatigue Index (*FI*) increases proportionally to the degree of deviation of these parameters from their normative values.

Fatigue Index model.

$$FI = w_1 HRV + w_2 \cdot (1 - DeepSleep) + w_3 \cdot (1 - REM) + w_4 \cdot (1 - RHR) + w_5 \cdot Activity + w_{23} \cdot (1 - DeepSleep) \cdot (1 - REM) + a_0 \quad (1)$$

where: HRV — normalised heart rate variability; $DeepSleep$ and REM — normalised proportions of deep and REM – quick sleep; RHR normalised heart rate during time of rest; $Activity$ — normalised level of physical activity; a_0 — model's shift; w_i — parameters weights; 1 — dimensionless unit representing the normal level of rest within [0;1]; $1 - X$ — deficit of a parameter relative to the norm:

1. $1 - DeepSleep$ — lack of deep sleep (physiological fatigue);
2. $1 - REM$ — lack of cognitive recovery;
3. $1 - RHR$ — increased heart rate during rest.

and as greater the deficit in these parameters, the higher the FI level.

Each indicator was normalized:

$$X = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad X \in (HVR, DeepSleep, REM, RHR, Activity) \quad (2)$$

where $X_{\max}$ та $X_{\min}$ individual sampling limits, and the $DeepSleep$ fraction [14]:

$$DeepSleep = \frac{T_{DeepSleep}}{T_{Sleep}}. \quad (3)$$

REM fraction [15]

$$REM = \frac{T_{REM}}{T_{Sleep}}.$$

(4)

RHR fraction calculated as the average heart rate in a time interval when no active movements appear (sleep phase) [16]

$$RHR = \frac{1}{T_{Sleep}} \sum_{t=1}^{T_{Sleep}} HR_t, \quad (5)$$

where HR_t — heart rate at a given moment t

The weighting coefficients were obtained using the method of multiple linear regression:

$$w = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (6)$$

Where X is the input data matrix (HRV , $DeepSleep$, REM , RHR , $Activity$). Each row represents one participant in the experiment, and each column represents one parameter. y is the fatigue level vector according to the subjective Fatigue Assessment Scale (FAS), adapted to a 100-point system using linear normalization [17].

$$\text{A point in a 100-point system} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{x - 10}{50 - 10} \cdot 100, \quad (7)$$

where x is the score according to the FAS System (from 10 to 50),

X^T - transposed matrix X . $(X^T X)^{-1}$ - inverse matrix of the product $X^T X$. w — weight coefficient vector.

To stabilize the results, a modification of ordinary linear regression that adds a «penalty» for overly large weight coefficients - L2 regularisation (Ridge Regression) was applied.

$$w = (X^T X + \lambda I)^{-1} X^T y, \quad (8)$$

Where λ is the adjustment parameter.

Regulation forces the coefficients to tend toward zero in order to avoid overfitting. Instead of minimizing the sum of squared errors, the function that is minimized is:

$$L = \sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2 + \lambda \sum_j w_j^2 \quad (9)$$

where the second term is a penalty for model complexity[18].

The accuracy of the model was verified according to three criteria [19]:

Coefficient of determination:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} . \quad (10)$$

Root mean square error:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} . \quad (11)$$

Mean absolute error:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| , \quad (12)$$

where y_i — real fatigue level, $\hat{y}_i$ — predicted fatigue level, $\bar{y}$ — mean of all real values y_i , N — number of observations.

Results. The experiments yielded the following results:

Table 1 — Weighting coefficients and their interpretation

Designation	Description	Meaning	Interpretation
w_1	contribution of autonomous HRV regulation	0.42	highest impact (HRV)
w_2	physical recovery	0.21	deep sleep deficit
w_3	cognitive-emotional recovery	0.12	REM sleep deficit
w_4	cardiac stress/overwork	0.11	increases with high RHR
w_5	total load	0.08	reflects activity
w_{23}	synergistic effect	0.06	simultaneous REM and DeepSleep deficit
a_0	model shift (baseline fatigue)	0.03	constant

Table 2 — Experimental results

HRV	Deep (%)	REM (%)	RHR	Activity	FI_v3 (model)	FI_real
68	24	15	74	0.55	0.63	0.64
72	31	21	70	0.59	0.58	0.57
76	28	20	67	0.61	0.56	0.55
80	35	23	65	0.63	0.53	0.52
84	41	26	63	0.65	0.50	0.49
88	46	30	61	0.68	0.46	0.47
92	50	33	60	0.69	0.44	0.45
96	53	35	59	0.70	0.42	0.43

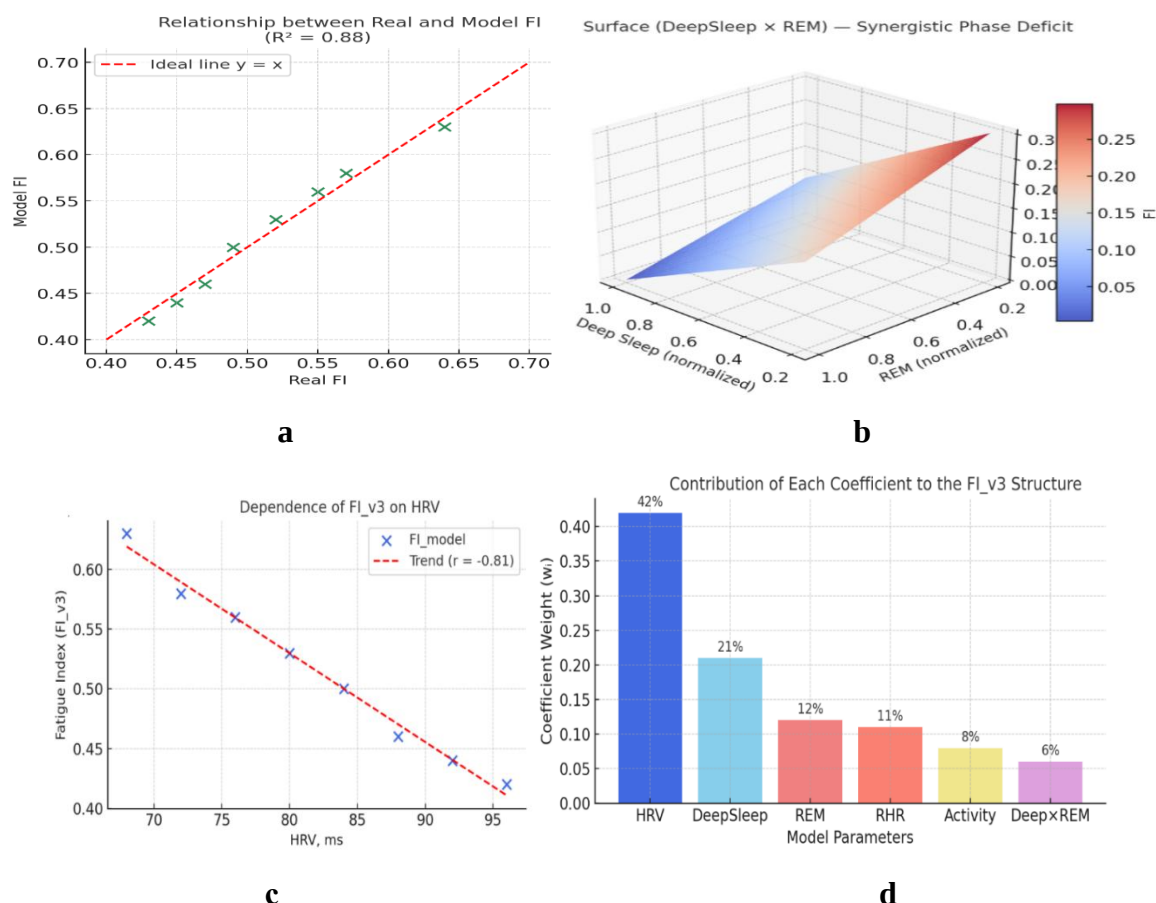


Figure 1 — Main results of the experiments:

a-relation of the model to real indicators; b-synergy plane of deep and REM sleep effects; c-dependence of fatigue index on heart rate variability; d-contribution of each coefficient to overall fatigue

$R^2 = 0.88$, $RMSE = 0.041$, $MAE = 0.036$ which indicates the high accuracy of the model.

Table 3 — Interpretation of indicators

Range of FI	Fatigue level	Interpretation
$FI < 0.35$	Low	Normal condition
$0.35 \leq FI < 0.55$	Moderate	Need for recovery
$0.55 \leq FI < 0.75$	High	Risk of cognitive errors
$FI \geq 0.75$	Critical	Break/sleep highly recommended

Conclusions. A comprehensive mathematical model has been developed for the quantitative assessment of fatigue levels based on the integration of normalized physiological parameters: *HRV*, *DeepSleep*, *REM*, *RHR*, and *Activity*. The model incorporates *weighting coefficients* obtained through regression analysis on an experimental sample of eight participants and accounts for the *synergistic effect* of simultaneous deficiencies in *DeepSleep* and *REM* phases. The calculated accuracy metrics of $RMSE = 0.041$, $MAE = 0.036$, confirm the high performance of the model, which indicates its potential for integration into crew monitoring systems and adaptation to individual physiological profiles. The results demonstrate that the primary contributors to fatigue are *HRV* and *DeepSleep*, which together explain 63% of the variance in the Fatigue Index.

REFERENCES

1. EMCIP. *Annual Report on Maritime Incidents*. European Maritime Safety Agency, 2024.
2. Oleksiy Koretsky. Pavlo Nosov/Approaches to developing a decision support system for maneuvering considering navigator fatigue/conference: problems of sustainable development of the maritime industry (PSDMI – 2024)/ November 2024
3. Maritime Labour Convention (MLC, 2006)
4. IMO. *Guidelines on Fatigue Mitigation*. London: IMO, 2020
5. Fatigue in the General Population/ R. Schwarza O. Kraussa A. Hinz/ *Onkologie* 2003;26:140–144/ DOI: 10.1159/000069834
6. ICAO. *Human Factors Report*. International Civil Aviation Organization, 2022.
7. Xiansheng Guo, Tiehong Su, Haoran Xiao, Rong Xiao, Zhongju Xiao/Using 24-h Heart Rate Variability to Investigate the Sleep Quality and Depression Symptoms of Medical Students/ *Psychiatry*, 04 January 2022/Sec. Sleep Disorders Volume 12 — 2021 | <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.781673>
8. Hye Jin Joo , Kyung A. Kwon, Jaeyong Shin, Sohee Park, Sung-In Jang/ Association between sleep quality and depressive symptoms/ *Journal of Affective Disorders* Volume 310, 1 August 2022, Pages 258–265
9. Smith, C., Jones, R., & Lee, A. (2022). Resting Heart Rate as an Indicator of Cognitive Fatigue in Operational Settings. *Applied Ergonomics*, 104, 103849. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103849>
10. Eric Chern-Pin Chua, Wen-Qi Tan, Sing-Chen Yeo, Pauline Lau, Ivan Lee, Ivan Ho Mien, Kathiravelu Puvanendran, Joshua J Gooley/ Heart rate variability can be used to estimate sleepiness-related decrements in psychomotor vigilance during total sleep deprivation/ PMID: 22379238 PMCID: PMC3274333 DOI: 10.5665/sleep. — 1688
11. Oumaima Benkirane, Bérénice Delwiche, Olivier Mairesse, Philippe Peigneux/ Impact of Sleep Fragmentation on Cognition and Fatigue/ *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022 Nov 22;19(23):15485. doi: 10.3390/ijerph192315485
12. Oleksiy Koretsky, Pavlo Nosov, M. Zinchenko, Dmytro Pohorletskyi/ Method of automated identification of hazardous fatigue factors in navigators based on sleep indicators/ September 2024/Scientific Bulletin Kherson State Maritime Academy/ DOI: 10.33815/2313-4763.2024.1.28.006-021
13. Schlagintweit, J., Laharnar, N., Glos, M., Zemmann, M., Demin, A. V., Lederer, K., Penzel, T., & Fietze, I. (2023). Effects of sleep fragmentation and partial sleep restriction on heart rate variability during night. *Scientific Reports*, 13, 6202.<https://doi.org/10.1038/s41598-023-33013-5>
14. Kong S. D. X., Ma C., Chan J. S. Y., Wong C. H. Y., Wong A., Fung M. M. Y./ Heart rate variability during slow wave sleep is linked to central autonomic network connectivity in older adults/ *Brain Communications*, Volume 5, Issue 3, 2023. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcad129>
15. Cosgrave J.; Wulff, K.; Foster, R.; Reynolds, A./ Revisiting nocturnal heart rate and heart rate variability in insomnia: A polysomnography-based comparison of young self-reported good and poor sleepers/ *Journal of Sleep Research*, Volume 30, Issue 4, 2021/ DOI: 10.1111/jsr.13278
16. Jensen MT, Marott JL, Allin KH, Nordestgaard BG, Jensen GB: Resting heart rate is associated with cardiovascular and all-cause mortality after adjusting for inflammatory markers: the Copenhagen City Heart Study. *Eur J Prev Cardiol* 2012; 19: 102–108.
17. <https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/numerical-data/normalization?hl=uk>
18. Петро Кравець , Володимир Пасічник , Микола Проданюк/ Математична модель

логістичної регресії для бінарної класифікації.ч. 1. Регресійні моделі узагальнення даних/ Information systems and networks/ Issue 15, 2024/ <https://doi.org/10.23939/sisn2024.15.290>

19. Прогнозування та аналіз часових рядів. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи студентів спеціальності 051 «Економіка» освітня програма «Економічна кібернетика», «Економічна аналітика» / Укл.: Юрченко М. Є. — Чернігів: ЧНТУ, 2018. 88 с.

ПСИХОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ ЛЮДСЬКОГО ЧИННИКА В МОРСЬКІЙ ГАЛУЗІ

Літмій М.С.

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка
(Україна)*

Вступ. Морська галузь є однією з найбільш складних сфер професійної діяльності, де взаємодія людини з технікою, природним середовищем і колективом утворює багаторівневу систему з високими ризиками. Незважаючи на зростання рівня автоматизації судноводіння, саме людина залишається центральним елементом, який визначає ефективність, безпеку та стійкість морських операцій. У цій системі людський чинник виступає не лише потенційним джерелом помилки, але й головним адаптаційним механізмом, що забезпечує гнучкість реагування на нестандартні ситуації. Психологічний аналіз цього феномена дозволяє зрозуміти закономірності поведінки моряків, їхню мотивацію, емоційну регуляцію та міжособистісну взаємодію в умовах ізоляції, тривалих навантажень і підвищеної відповідальності.

Актуальність досліджень. Актуальність вивчення людського чинника в морській галузі зумовлена тим, що за даними Міжнародної морської організації понад 75% аварій і порушень на морі пов'язані саме з психологічними аспектами діяльності людини [1; 2]. Подальші емпіричні аналізи [3; 4] підтвердили, що провідними детермінантами морських інцидентів є стрес, перевтома, неефективна комунікація та недотримання процедур безпеки. Психологічна складова стає особливо значущою в умовах інтенсифікації перевезень, зростання багатонаціональності екіпажів і збільшення тривалості рейсів, що призводить до психоемоційного виснаження та підвищення ризику людських помилок. Теоретичне осмислення цих процесів дає змогу інтегрувати результати численних емпіричних спостережень і створити узагальнену модель психологічних механізмів, що визначають безпеку й ефективність морської діяльності.

Постановка задачі. Метою теоретичного дослідження є систематизація наукових підходів до вивчення людського чинника в морській галузі та визначення його ключових психологічних компонентів. Завданнями виступають: узагальнення наукових концепцій і емпіричних даних щодо ролі людського чинника в морській безпеці; виокремлення основних психоемоційних і когнітивних факторів, що впливають на ефективність діяльності моряків; аналіз впливу міжособистісної взаємодії, групової динаміки та культурних відмінностей на роботу екіпажів; визначення напрямів психологічної підтримки та профілактики професійної дезадаптації в морському середовищі.

Результати досліджень. Огляд сучасних наукових джерел свідчить, що поняття «людський чинник» у морській психології охоплює когнітивні, емоційні, поведінкові та соціальні аспекти діяльності моряка [5]. Ключовими детермінантами ефективної роботи екіпажу вважаються: рівень стресостійкості, якість комунікації, психологічна сумісність, стиль лідерства та здатність до саморегуляції. Згідно з узагальненими емпіричними результатами міжнародних досліджень, найбільш значущими психологічними факторами ризику в морській діяльності є: втома — провідна причина помилок, що знижує увагу й реактивність; сенсорна депривація та ізоляція, які призводять до зниження когнітивної ефективності; конфлікти у міжкультурних екіпажах, що створюють додатковий рівень емоційного напруження; дефіцит соціальної підтримки та психологічного супроводу [6]. Теоретичний аналіз робіт [1; 2; 7] показує, що людський чинник виступає системоутворюючим елементом, який одночасно може бути як причиною помилки, так і гарантом безпеки. Психологічна ефективність діяльності залежить не лише від індивідуальних рис особистості, а й від соціально-організаційних умов: структури командної взаємодії, рівня довіри до керівництва, наявності зворотного зв'язку. Окремий пласт досліджень стосується стилів керівництва в морському середовищі. Сучасні роботи [8; 9] доводять, що перехід від жорстко авторитарних до емоційно-інтелектуальних форм

лідерства істотно знижує рівень конфліктності в екіпажі та покращує психологічний клімат. Застосування принципів «Crew Resource Management» (CRM), адаптованих із авіації, сприяє розвитку командної свідомості та підвищенню узгодженості дій у критичних ситуаціях. У межах теоретичного синтезу також можна виділити три рівні впливу людського чинника:

1. Індивідуальний рівень — психофізіологічні процеси, увага, втома, стрес.
2. Груповий рівень — комунікація, довіра, лідерство, рольова взаємодія.
3. Організаційний рівень — культура безпеки, політика компанії, управлінські рішення.

Ця трирівнева структура [10] дозволяє пояснити взаємозалежність між психологічними станами окремих членів екіпажу та загальною ефективністю системи суднового управління. Таким чином, теоретичний аналіз доводить, що людський чинник є не стільки «проблемою», скільки ключовим ресурсом безпеки за умови, що організація забезпечує адекватну психологічну підтримку, тренування навичок саморегуляції та розвиток командної культури.

Висновки. Теоретичне осмислення психологічного впливу людського чинника в морській галузі свідчить, що саме психоемоційні та соціально-когнітивні механізми визначають стабільність і надійність професійного функціонування моряків. Людський чинник виступає системним феноменом, у якому взаємодіють індивідуальні риси, групові процеси та організаційні умови. Узагальнення результатів досліджень [1; 4; 7] дозволяє сформулювати основні напрями психологічного забезпечення морської діяльності: розвиток емоційного інтелекту в лідерів, формування культури безпеки, підтримка ментального здоров'я екіпажів, а також інтеграція психологічного моніторингу у систему управління ризиками. Таким чином, людський чинник у морській галузі повинен розглядатися не лише як джерело небезпеки, а як потенціал для вдосконалення організаційних процесів і підвищення безпеки судноплавства через розвиток психологічної компетентності всіх учасників морської системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hetherington C., Flin R., Mearns K. Safety in shipping: The human element. *Journal of Safety Research*. 2006. Vol. 37. № 4. P. 401-411. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2006.04.007>
2. Chauvin C. Human factors and maritime safety. *Journal of Navigation*. 2011. Vol. 64. № 4. P. 625-632. <https://doi.org/10.1017/S0373463311000142>
3. Celik M., Cebi S. Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. *Accident Analysis & Prevention*. 2009. Vol. 41. № 1. P. 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.09.004>
4. Mallam S. C., Nazir S., Sharma A. The human element in future maritime operations – perceived impact of autonomous shipping. *Safety Science*. 2021. P. 139. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105243>
5. Grech M. R., Horberry T., Smith A. Human factors in the maritime domain. Press. 2002.
6. Oldenburg M., Jensen H. J., Wegner R. Burnout syndrome in seafarers in the merchant marine service. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2013. Vol. 86. № 4. P. 407-416. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0771-7>
7. Grech M. R. Human reliability and error in maritime operations: a review and critique. *Safety Science*. 2016. Vol. 86. P. 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.033>
8. Madsen J. Leadership at sea: a human factors perspective. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2019. Vol. 18. № 1. P. 79-92. <https://doi.org/10.1007/s13437-019-00159-0>
9. Theotokas I., Progoulaki M. Cultural diversity, leadership and performance of multicultural crews: The case of the Greek shipping industry. *Maritime Policy & Management*. 2020. Vol. 47. № 8. P. 1001-1017. <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1770928>
10. Reason J. Human error. Cambridge University Press. 1990.

CONCEPTUAL MODEL «GYROCOMPASS-PM» FOR SAFETY PROJECT MANAGEMENT IN MARITIME TRANSPORT

P. Nosov

*Odessa National Maritime University
(Ukraine)*

Introduction. The rising intensity of maritime traffic, the growing complexity of port operations, climate variability, and cyber and radionavigation disruptions together create a complex systemic environment in which traditional safety-management approaches are often fragmented across governance levels and responsible organizations [1, 2]. The critical task is to establish a single guiding safety reference that is aligned with regulations and capable of «holding course» under uncertainty, incomplete data, and competing objectives related to time and energy consumption.

Research relevance. In the proposed conceptual model, the safety benchmark serves as the portfolio's strategic «meridian». Its essence is that the benchmark specifies the target function of navigational safety [3–5], acting as an autonomous KPI across all governance levels (portfolio → program → project → operations). In other words, it sets a quantitative safety objective in the form of target TSL/ALARP levels (As Low As Reasonably Practicable) for the portfolio, and all decisions at all levels are «aligned» toward achieving the vision of zero accidents. By the invariance principle of the «True North», the management system must maintain the target level of safety despite environmental disturbances (traffic intensity, weather, GNSS outages, human factors, and so forth). To this end, the model combines inertial estimation (a state digital twin), external references (sensors, rules), and a mechanism of managed precession that evaluates the relation «cost of maneuver — risk — value» [6, 7]. Thus, the safety benchmark provides an independent objective function that pulls the management system in a defined direction and motivates the use of dedicated course-correction mechanisms in the event of deviations.

Structure of the «Gyrocompass-PM» conceptual model.

1. The model specifies a hierarchical KPI system for the «True North». At the portfolio level (industry, region, or corporation), lagging safety indicators may include, for example, the frequency of accidents and severe incidents per million nautical miles, as well as environmental events by severity categories. Leading indicators may include the share of investigated near-misses, the share of voyages without COLREG violations, the average time from threat detection to recommendation, and coverage and resilience indices (percentage of the area with guaranteed AIS/radar/VDES coverage; availability of critical navigation services with specified MTBF/MTTR). Illustrative policy thresholds for the safety benchmark might be: ≤ 0.25 accidents per million nautical miles, $\geq 98\%$ of voyages without COLREG violations, and a full PDCA policy-change cycle time of ≤ 15 days. At program or project levels, indicators are analytically detailed: Δ Risk versus baseline, conflict-free traffic density, time to interaction among agents, and similar measures. In this way, the «True North» is materialized in measurable indicators that link strategic objectives to tactical actions. Where necessary, these KPIs are normalized for context (waterway profile, vessel class, seasonality, and the like) and synchronized with the «harmonized operating picture» provided by the reference-fusion layer.

2. The second key element is the inertial core (maritime digital twin), which serves as the estimator of the current state and risk. It is a single «state machine» that provides harmonized situational awareness and forecasting on horizons from several minutes to several hours for the entire ecosystem (fleets, ports, VTS, insurers, regulators). Through the inertial core, the system maintains its «safety course» between external data refreshes, smooths operational turbulence, and supplies the quantitative basis for decision-making algorithms. The core is owned at the portfolio level by a Safety Control Tower; at the program level, by regional or port situation centres operating under explicit service-level agreements (SLAs) on data quality and response

time.

The digital twin ingests heterogeneous data streams with explicit quality attributes: maritime traffic (AIS/VDES from satellite and shore, line-of-sight communications, radar/ARPA tracks); geometry and constraints (ECDIS/ENC, depths, fairways, pilotage information, temporary restrictions); environment (meteorological and hydrological conditions, visibility, storms); fleet condition (operating modes, defects, maintenance states, availability of contingency tugs and pilots); and human-factor inputs, subject to consent (indicators of attention, fatigue, and qualification derived from simulators or wearable sources, as well as BRM/ERM events) [8, 9]. Each stream carries metadata on provenance, time synchronization, latency, and a trust/privacy marker.

3. The third element is the reference-fusion mechanism—a kind of «celestial correction» for the model. It serves as the single source of truth gateway between the real world and the digital twin: it reconciles heterogeneous data sources, resolves inconsistencies, and increases confidence in risk estimates and forecasts. The purpose of fusion is to obtain a single agreed picture—a common operational picture (COP)—for all roles in the ecosystem, including fleets, Vessel Traffic Services (VTS), ports, regulators, and insurers. In essence, it provides all stakeholders with a shared, agreed truth to which the system continually aligns its internal models, analogous to how shipboard navigation systems refine their course using celestial corrections.

The fusion operator is a portfolio-level technical committee (comprising ports, VTS, data providers, and shipping companies) that sets data standards, the source-trust policy, conflict-resolution rules, and service-level agreements (SLAs) for COP updates. On the input side, fusion ingests heterogeneous streams — AIS (satellite/shore), radar, meteorological and hydrological data, ENC/S-100 products, local bylaws and restrictions, COLREG rules, and incident/near-miss histories — explicitly employed as external references for calibrating the digital twin.

4. The fourth element is the decision block—managed precession (safety–time–energy), which performs multi-criteria optimization across all levels. It «rotates the axis» of the management system toward the True North (safety) while minimizing losses in time and energy, and does so smoothly, without disrupting operations (in coordination with dampers and actuation). The inputs to this block are state/risk estimates and a set of candidate actions (routes, maneuvers, slot changes) supplied by the digital twin. The outputs are approved course/speed profiles for each vessel, slot adjustments, and commands issued to VTS and the fleet. Responsibility for this element rests with portfolio/program analytics offices; within companies — with fleet optimization centers; and within ports — with VTS services or berth-planning units.

Algorithmic strategies for solution synthesis depend on the coordination layer. For an individual vessel, model predictive control (MPC) with nonlinear constraints can be applied; candidate maneuvers generate SPR and are checked against COLREG (as hard or penalized constraints). For groups of vessels or an entire corridor, coordinated MPC is used: safety is handled locally at each node, while resources are coordinated centrally, with exchange of «intent» via VTS. Slotting and queuing are addressed by discrete optimization methods (MILP, conflict-based search, auctions), followed by continuous MPC for course and speed. At the portfolio or industry level, ADMM or price-based coordination mechanisms among stakeholders may be employed: penalties are introduced for occupying narrow segments or for failing to provide «green corridors», together with common, agreed safety constraints. In non-smooth scenarios, a library of safe maneuver primitives is used, enabling rapid feasibility screening and subsequent local refinement.

5. The fifth element comprises dampers (buffers/rules), which attenuate oscillations in schedules, resources, and decisions. Their purpose is to reduce variability in timetables and resource loading during threats or incidents and to preserve portfolio controllability without losing the True North orientation. In the model, dampers are implemented as time buffers (in the

spirit of Critical Chain Project Management, CCPM) and formalized intervention rules based on fuzzy logic for emergency response and emergency stop (ER/ES). This prevents overcorrection, where small adjustments cascade into large logistical deviations.

Time buffers are introduced in several forms: a Project Buffer at the end of the critical chain; Feeding Buffers at the entry points to the critical chain; and a dedicated Safety Buffer for risk-intensive phases such as approaches, berthing, and pilotage.

Resource buffers provide reserves of two types. Technical reserves include standby tugs and pilots, warm-standby crews, redundant navigation and communications channels, and backup navigation algorithms. Organizational reserves include spare slots and windows, priority corridors for higher-risk movements, and on-call emergency teams. In the event of system failures (GNSS, ECDIS, communications), an automatic fallback is prescribed: switching to inertial modes, simplified charts, and pre-rehearsed manual protocols.

The outputs of this element are stabilized schedules and queues (damped post-incident amplitudes), guaranteed resource reservations and adjusted slots without cascading delays, and formalized standby procedures for VTS, ports, and fleets, disseminated through the actuation network. Key performance indicators of damper effectiveness include buffer utilization (share of time in red/yellow zones), the proportion of critical interventions that avoid cascading delays, the average post-incident queue depth, time-to-stabilize (TTST), and the share of automatic ER/ES activations that achieved the intended effect without manual escalation.

6. The sixth element is Actuation — the actors who implement decisions on the ground. Their task is to convert DSS outputs and managerial directives into coordinated actions across the entire hierarchy (portfolio–program–operations): vessel maneuvers, berthing, speed adjustments, temporary traffic restrictions, and publication of Maritime Safety Information (MSI), among others. The actuation layer includes VTS and port dispatchers, Maritime Rescue Coordination Centers (MRCC) and coordination centers, pilotage and tug services, ship masters and crews, shoreside fleet managers, automated onboard systems (autopilot, dynamic positioning), waterway maintenance services, and classification societies (which set operational and navigation regimes).

Inputs to the actuation layer comprise approved plans, commands, alerts, procedural playbooks, and up-to-date local conditions: weather, visibility, technical readiness of vessels, availability of pilots and tugs, and the status of communications channels. The execution logic is organized hierarchically: portfolio-level directives are cascaded through program rules (corridor/cluster) down to operational commands for vessels, VTS, and terminals. This functions as a “cardan-like” transmission of decision influence without parasitic distortions: changes at higher levels (policy, weather, market factors) should not immediately destabilize operations; decisions are delivered in a structured manner, with explicit consideration of dampers.

The Actuation Loop includes feedback: decisions → executors (VTS/crew/autopilot/port services) → feedback (logs, incident records, audits) → policy and model adjustments within the PDCA cycle. A critical enabling mechanism is the communications network of repeaters—VTS, harbor master’s offices, shipowners, and crews — which broadcasts the «safety course» as a single channel for delivering decisions to points of execution. As a result, all tactical actors receive synchronized messages and respond to a unified operating picture.

7. The seventh element is PDCA / audits/investigations — «calibrating the benchmark» across the entire hierarchy. This block closes the learning loop for the portfolio, programs, and projects. Every incident or near-miss, every audit, and any new telemetry are fed back into the system as grounds for revising the «True North», the rules, the models, and personnel training. This is where «course straightening» takes place (by analogy with the erection operation in a gyrocompass).

Ownership and roles. PDCA is owned, respectively, by the Joint Portfolio Safety Commission (regulator plus industry), by companies (HSE/DP departments), and by ports (safety and investigation services). A RACI scheme is typically organized as follows: Responsible —

HSE/port safety; Accountable — portfolio council; Consulted — classification societies/inspections; Informed — all stakeholders. Inputs include all relevant data: voyage logs, incident and near-miss records, telemetry (including human-factor signals), root-cause analysis (RCA) materials, crew simulator assessments, ISM and port-state audit findings, and structured feedback from ecosystem participants.

Operating logic follows the classical Deming PDCA cycle [10]. Plan: formulate/update safety policies, «True North» KPI thresholds, trigger criteria, and the validation and verification (V&V) plan for the models. Do: implement changes in the DSS and procedures (model releases, software updates), and conduct pilots. Check: monitor deviations, conduct periodic compliance audits, perform RCA investigations, and test the modified models on retrospective scenarios. Act: “straighten the course” by updating the digital-twin models, prioritization rules, buffer sizes, and training programs; prepare and disseminate safety bulletins and checklists. As with PDCA’s general purpose — «to manage activities effectively on a systemic basis» — here it is embedded directly in the managed-precession mechanism and the digital twin: each cycle adjusts concrete parameters (safety thresholds, fusion weights, buffer sizes, model hyperparameters), passes V&V, and is mandatorily released into production with effect monitoring. This is not a routine «after-the-fact audit», but a continuous self-correcting control loop.

8. The eighth element — KPI «True North» — provides the checklists for the portfolio, programs, and projects. These KPIs establish a quantitatively defined safety compass that pulls the entire management system toward the specified meridian. In the model’s design, safety is treated as a distinct objective and a top-level KPI rather than merely a component of quality or risk. The KPI system is pyramidal (portfolio → program → project) and is explicitly anchored to the digital twin (risk estimates), the reference-fusion «single source of truth» (harmonized data), the damper layer (stabilizing buffers), the actuation layer (realized outcomes), and the PDCA cycle (regular reviews).

The principal design rules of the KPI system are as follows.

(1) Duality: combine lagging and leading indicators. The leading core is closely linked to digital-twin functions (conflict-prediction accuracy and completeness, average warning horizon, share of actions executed on time). In this sense, «key indicators may be divided into leading and lagging: lagging ones capture results after a period, while leading ones enable control during the period».

(2) Context invariance: normalize KPIs by corridor profile and navigation regime, vessel class, and weather conditions (use context adjustments to ensure comparability across situations).

(3) Single agreed truth: all KPIs rely on the reference-fusion layer; any data discrepancies are resolved at the COP level prior to KPI aggregation.

(4) Closed improvement loop: KPIs carry embedded PDCA triggers (review of thresholds, policies, and models) together with validation and audit.

(5) Redundancy and readiness: include resilience KPIs for critical services (GNSS, ECDIS, radar, communications) with their own MTBF/MTTR metrics and the proportion of time spent in fallback modes without incident.

The three-tier KPI pyramid is detailed as follows. At the portfolio level (industry, region, corporation), lagging indicators include accident and severe-incident frequency, annual losses, and categorized environmental events. Leading indicators include: proactivity (share of investigated near-misses, adoption rate of DSS recommendations, average time from «threat detected» to «recommendation issued»); coverage/readiness (percentage of the water area with guaranteed AIS/radar/VDES coverage, readiness of fallback modes for critical services); and synchronisation (share of «green corridors», that is, periods with zero conflicts at a given traffic density). Assessment is performed by water areas and corridors, normalized for traffic intensity, seasonality, and vessel type. The portfolio True North Index is formed as a weighted sum of safety KPIs using RAG logic, with explicit penalties for «red» violations.

Strategy for Scheme Design and Macro-level Implementation.

Presentation architecture. A multilayer scheme with four loops is recommended: orientation and estimation (elements 1–3), decision-making (element 4), execution with stabilizers (elements 6 and 5), and the learning cycle (element 7) with a KPI panel (element 8). Arrows between blocks should be labeled by flow types: data, estimation, decisions, commands, feedback, and indicators (Figure 1).

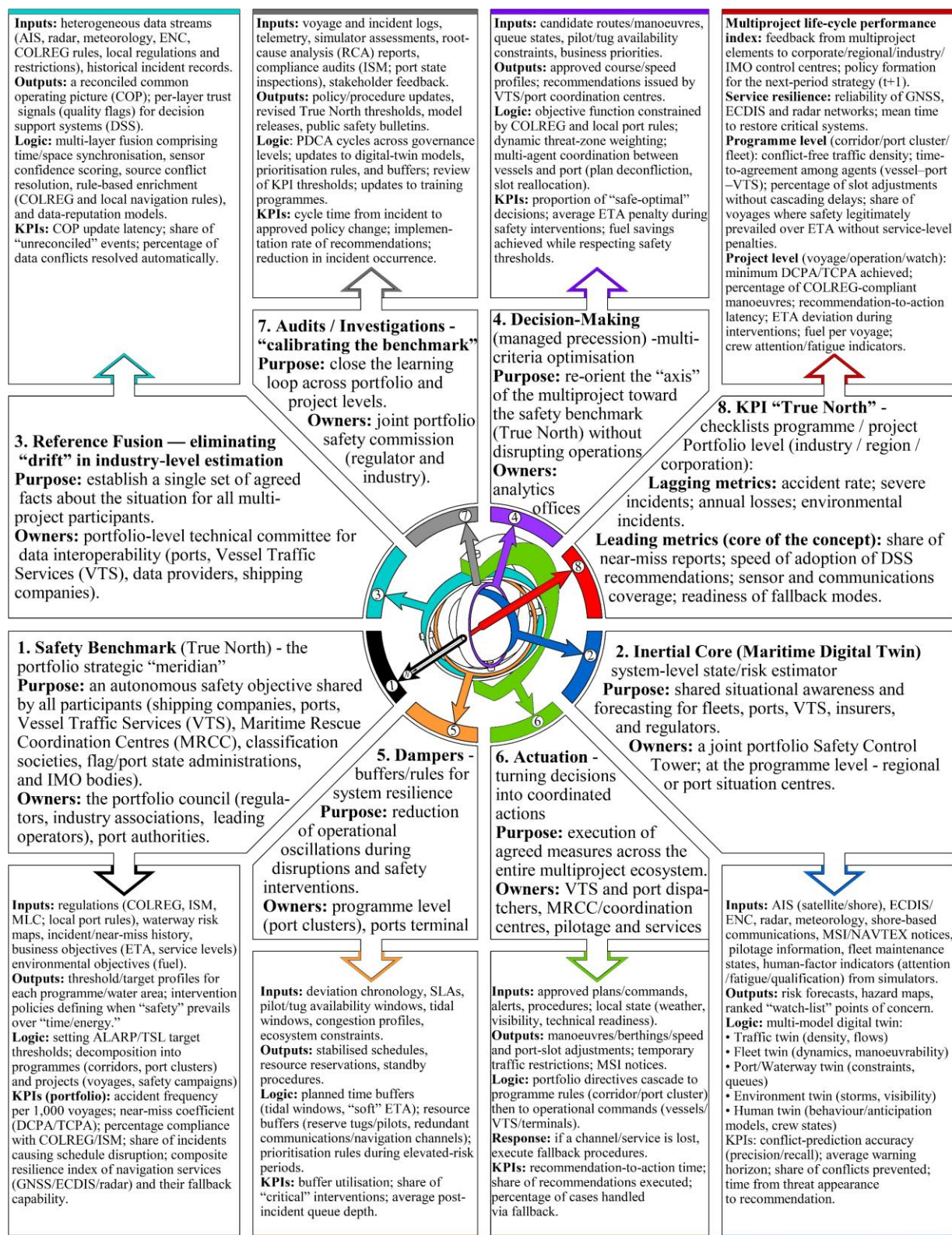


Figure 1 — Cyclical interaction of elements in the «Gyrocompass-PM» model

Institutional model of the concept. At the state or regional level, portfolio safety councils and interoperability technical committees are established. At the port level, planning and dispatch centers operate. At the company level, fleet optimization and risk-management centers are responsible. The key enablers are data-sharing agreements and clearly assigned responsibility roles, anchored in regulation.

Roadmap for the concept.

1. Pilot corridor or port cluster: creation of a common operating picture, commissioning of the digital twin, and introduction of a minimal KPI set.

2. Policy and buffer alignment: promulgation of regulations that include damping rules and scenarios of temporary restrictions, establishment of the actuation network with targeted drills.

3. Full decision loop: coordinated slotting and maneuver planning, explainable outputs, and logging of accepted and declined recommendations.

4. PDCA deployment: regular reviews, investigations, public bulletins, and controlled releases of updated procedures and models.

5. Scaling: onboarding additional ports and companies, mutual recognition of indicators, and interstate coordination.

Aggregate benefits for the «Gyrocompass-PM» multiproject:

– Unity of goals and data: a shared compass and a single agreed truth eliminate contradictions among participants.

– Proactivity and explainability: decisions are justified by common risk assessments and are taken in advance of incidents.

– Service resilience: damping mechanisms and graceful-degradation modes preserve controllability during disturbances.

– System learning: every incident yields measurable changes in policies, procedures, and personnel training.

– Scalability and reproducibility: the model transfers across ports and states without disrupting local practices, because it functions as an overlay to existing norms.

Conclusion. The proposed «Gyrocompass-PM» conceptual model provides a practical framework for portfolio-level safety management in maritime transport. It does not replace existing regulations; rather, it integrates them into a coherent architecture that runs from strategic orientation to execution, and from a single source of truth to transparent indicators. The model is scalable, interagency, and explainable. It underpins state safety policy, corporate fleet governance, and international coordination in transport corridors, supporting a systemic shift from reactive to preventive management.

REFERENCES

1. Development of innovation-investment policy for regional development projects / S. Bushuyev, O. Ilin, A. Puziichuk [et al.] // Integrated strategic management, portfolio, program, and project management : abstr. of the 15th Intern. Sci. and Practical Conf., February 11–12, 2025 / org. com.: Yevgen I. Sokol, Yuriy Ya. Bobalo, Gulchohra Huseyn gizi Mammadova, Sergey D. Bushuyev ; ed. Kononenko I. V. ; National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" [et al.]. — Kharkiv : NTU «KhPI», 2025. — P. 26–27.

2. Бушуєв, С., & Васильєв, І. (2024). Проєктний підхід щодо створення керуючої системи для модернізації організації дорожнього руху під час відбудови територіальних громад. *Управління розвитком складних систем*, (59), 24–33. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.24-33>

3. Носов П.С., Сокол І.В., Подобєда В.В. Розробка методів та засобів автоматизації навігаційних розрахунків на борту судна в критичних ситуаціях // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал.* — Херсон: Херсонська державна морська академія. № 2(29), 2024. С 122–138. <https://doi.org/10.33815/2313->

4763.2024.2.29.122-138.

4. Kochubei P., Nosov P. Determining the impact of the human operator factor using a navigation simulator // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. Херсон: Херсонська державна морська академія. № 1(30), 2025. С. 158–170. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.158-170>.

5. Nosov P.S. Development of an expert system for evaluating vessel movement trajectories during simulator training of navigation cadets. Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy №1, 2025. ISSN 2220-1025. С. 106–111.

6. Nosov P.S. Systemic approaches to rational management of functional marine technical systems and complexes // Журналу «Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій». No 2(38) 2023. С. 80-95. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.09>.

7. Nosov, P., Koretsky, O., Zinchenko, S., Prokopchuk, Y., Gritsuk, I., Sokol, I., Kyrychenko, K. (2023). Devising an approach to safety management of vessel control through the identification of navigator's state. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (3 (124)), 19–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286156>.

8. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Prokopchuk Yu.A., Popovych I.S., Litovchenko V.I. Influence human factor on safety's planning route of water transport // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. — Херсон: Херсонська державна морська академія, 2021. — №3(21). — С. 36–51. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2021.1.24.057-070>.

9. Nosov, P., Zinchenko, S., Plokhikh, V., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Makarchuk, D., Mamenko, P., Moiseienko, V., & Ben, A. (2021). Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/3(112), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239093>.

10. Alvarado, Julio. (2025). El Ciclo de Deming y la planificación en las Instituciones de Educación Superior de Nicaragua. The Deming Cycle and planning in the Higher Education Institutions of Nicaragua O Ciclo de Deming e o planejamento nas instituições de ensino superior da Nicarágua. Gestión de la Educación. 11. <https://doi.org/10.15517/pkd4n157>.

СТАВЛЕННЯ ДО ЧАСУ У МІЖКУЛЬТУРНІЙ КОМУНІКАЦІЇ МОРСЬКИХ ФАХІВЦІВ

Степанян А.А., Добровольська В.А.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Міжкультурна комунікація є складним процесом взаємодії між представниками різних культур, де ключову роль відіграють не лише вербальні, а й невербальні елементи, зокрема ставлення до часу, або хронеміка. Час сприймається не як універсальна константа, а як культурно обумовлений феномен, що відображає цінності, філософію та спосіб життя суспільства. У західних культурах час часто розглядається як лінійний ресурс, що вимагає ефективного управління, тоді як у східних традиціях він більш гнучкий і відносний. Актуальність теми дослідження полягає у тому, що у професійній сфері, особливо в міжнародному судноплавстві, де безпека та логістична ефективність критично залежать від чітких графіків, ці відмінності можуть призводити до непорозумінь, конфліктів та зниження ефективності комунікації в багатонаціональних екіпажах. Метою цього дослідження є аналіз ставлення до часу в різних культурах на основі порівняння західних і східних підходів, а також оцінка їхнього впливу на міжкультурну взаємодію морських фахівців.

Результати досліджень. Одним з ключових концептів у вивченні ставлення до часу є поділ культур на монохронні (моноактивні) та поліхронні (поліактивні), запропонований Едвардом Холлом і розвинутий у подальших дослідженнях [1, с.14]. У монохронних культурах, таких як США, Німеччина чи скандинавські країни, час сприймається як обмежений ресурс, подібний до грошей: «час – це гроші» [2, с. 185; 3, с.5-6]. Люди фокусуються на одній справі за раз, дотримуються чітких графіків, цінують пунктуальність і вважають запізнення проявом неповаги. Це пов'язано з індустріальним розвитком і протестантською етикою, де ефективність і продуктивність є пріоритетами [4, с.112]. У морській сфері це проявляється в жорсткому дотриманні графіка вахт, часу прибуття та дедлайнів портових операцій. Наприклад, для німецького капітана затримка на 30 хвилин із передачею вахти може сприйматися як ознака байдужості до безпеки судна, що підриває довіру в командній взаємодії.

Навпаки, поліхронні культури, характерні для Латинської Америки, Близького Сходу, Китаю чи України, розглядають час як гнучкий і циклічний, де пріоритет віддається стосункам, а не строгим дедлайнам [5]. Тут люди можуть виконувати кілька завдань одночасно, а зустрічі починаються, коли всі прибули, і тривають стільки, скільки потрібно для значущої взаємодії. Запізнення на годину не вважається грубістю, а радше нормою, що враховує людські фактори [2, с.184].

Цей погляд на час тісно переплітається з практичними моделями поведінки, демонструючи, як саме глибокі культурні переконання впливають на повсякденну комунікацію. Так, у китайській традиції час є відносним і суб'єктивним, натхненним конфуціанством (фокус на минулому для етичних моделей) та даосизмом (безмежність і свобода від обмежень) [5]. У даоських метафорах, зокрема у філософа Чжуан-цзи, тривалість життя у 800 років може вважатися короткою порівняно з нескінченністю чи циклічністю природних процесів, що формує релятивне та філософське ставлення до часових обмежень.

Навігаційна безпека, графік вахт і портові операції за своєю суттю є монохронними, і поліхронне ставлення до них створює прямий ризик безпеці. Зазначені відмінності у ставленні до часу безпосередньо впливають на міжкультурну комунікацію: монохронні фахівці схильні сприймати поліхронних як хаотичних та неорганізованих, тоді як останні розглядають перших як холодних, негнучких та надмірно сфокусованих на завданні, що часто є джерелом міжособистісних конфліктів [6]. У висококонтекстних

культурах (поліхронних) час інтегрується з невербальними сигналами, тоді як у низькоконтекстних (монохронних) акцент робиться на явних словах і термінах [4, с. 112]. Конфлікт часу на борту судна виникає, коли інженер-філіппінець (поліхронний час) може призупинити плановий ремонт для вирішення особистого питання з колегою, тоді як боцман-голландець (монохронний час) вимагає суворого дотримання часового ліміту для завершення завдання.

Культурні контексти, включаючи ставлення до часу (хронеміку), формують топологію міжкультурної комунікації – простір взаємодії з кордонами «свій-чужий». У глобалізованому світі, особливо в умовах інтенсивних міграцій та роботи в багатонаціональних екіпажах, час стає гетерохронним: різні культурні групи функціонують у несумісних часових режимах, що часто призводить до стресу аккультурації (фази ейфорії, розчарування, адаптації). Наприклад, в умовах віддаленого управління судном (Vessel Remote Management), коли інспектор на березі працює за монохронним графіком, а екіпаж у морі дотримується повахового циклу, виникає фрагментація часу, що ускладнює синхронізацію та може впливати на операційну безпеку.

У командній взаємодії культурне розмаїття та мовні відмінності посилюють вплив часових орієнтацій. За моделлю Г. Хофстеде, виміри, такі як довгострокова орієнтація (Long-Term Orientation), пояснюють відмінності у сприйнятті лідерства, плануванні структури та ініціативи [7, с. 202]. У мультикультурних морських командах монохронні культури вимагають пунктуальності як ознаки професіоналізму та дисципліни, тоді як поліхронні — гнучкості, оскільки пріоритет надається збереженню гармонійних стосунків, що може спричинити міжособистісні конфлікти [3, с.17–19]. Дослідження показують, що висока культурна інтелектуальність, що включає знання норм, рефлексію, мотивацію та поведінкову адаптацію, зменшує ці бар'єри, підвищуючи інноваційність і продуктивність екіпажу. Наприклад, у компаніях з високим етнічним розмаїттям фінансові результати на 36% кращі, але лише за умови адаптації до часових відмінностей [7, с. 204].

Цей імператив монохронності посилюється міжнародними регуляторними вимогами: конвенції (наприклад, Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (STCW)), встановлюють чіткі часові обмеження для відпочинку та роботи, що демонструє, що галузь вимагає суворої монохронності, але культурна поведінка (наприклад, пріоритет соціалізації під час відпочинку) може порушувати ці критично важливі для безпеки вимоги.

У контексті України, як перехідної культури, у морській галузі часто поєднується монохронний бізнес-етикет (чіткі логістичні дедлайни, контракти) з поліхронним повсякденним життям (невизначені домовленості, емоційність), що ускладнює взаємодію з низькоконтекстними партнерами. Крім того, віртуальна комунікація (наприклад, через супутниковий зв'язок) нівелює фізичні часові зони, але втрачає емоційні канали, призводячи до ілюзій синхронності та зниження ефективності.

Для підвищення ефективності міжкультурної комунікації та забезпечення безпеки мореплавства необхідно чітко визначати особливості сприйняття часу: аналізувати монохронні/поліхронні риси членів екіпажу, адаптувати робочі ритми та уникати стереотипів, що можуть перешкоджати злагодженій командній роботі. У професійній морській сфері критично важливо інтегрувати знання про хронеміку в програми підготовки фахівців, що сприяє толерантності та взаєморозумінню. Ключові стратегії для багатонаціональних морських команд включають: прояв гнучкості у власному ритмі, пошук балансу між строгим дотриманням завдань (вахти, навігація, ремонт) та підтримкою стосунків у колективі, а також активне використання культурного інтелекту, тобто здатності розуміти, інтерпретувати та адекватно реагувати на поведінку людей з різним культурним досвідом [7, с. 202]. Наприклад, використання стандартизованих операційних процедур та уніфікованих чек-лістів на борту судна є ключовим інструментом для трансформації поліхронних схильностей членів екіпажу у монохронну,

необхідну для безпеки, послідовність дій. Наприклад, при плануванні ремонтних робіт з поліхронними підлеглими акцент слід робити не лише на чітких дедлайнах, а й на побудові довіри та узгодженні пріоритетів, тоді як у взаємодії з монохронними – на детальній покроковій інструкції з жорсткою прив'язкою до часу. Дослідження підкреслюють, що ігнорування часових відмінностей призводить до фрустрації та операційних ризиків, але усвідомлення дозволяє перетворити культурне різноманіття на конкурентну перевагу та вищий рівень інноваційності на борту [6]. У глобалізованому морському світі, де робота синхронізується з технологіями, культурна адаптація часових норм є ключем до стабільного успіху.

Висновки. Ставлення до часу є «дзеркалом» культурних цінностей та ключовим невербальним фактором, що суттєво впливає на міжкультурну комунікацію морських фахівців. Відмінності між монохронними (лінійними) та поліхронними (гнучкими) орієнтаціями, західними та східними підходами створюють значні виклики для безпеки та операційної ефективності на борту багатонаціональних суден, але також відкривають можливості для інновацій. Суворі вимоги морської галузі (наприклад, конвенція STCW, графіки вахт) є монохронними за своєю суттю, ігнорування чого призводить до міжособистісних конфліктів та ризиків. Використовуючи культурні контексти, стратегії адаптації та інструменти культурного інтелекту, а також інтегруючи хронеміку у професійну підготовку та стандартизовані операційні процедури, можна підвищити ефективність взаємодії, зменшити конфлікти та сприяти толерантності. У майбутньому дослідження часових параметрів у віртуальних просторах (віддалене управління) стануть ще актуальнішими для глобальних морських команд. Таким чином, розуміння часу не лише усуває бар'єри, а й збагачує професійний культурний діалог, забезпечуючи безпеку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Intercultural Communication Handbook. 2018. URL: <https://eslcooperative.ca/wp-content/uploads/2023/12/CESLM-Intercultural-Communication-Handbook-2018.pdf>
2. Салащенко Г.М. Визначення особливостей сприйняття часу з метою підвищення ефективності процесу міжкультурної комунікації. *Правовий часопис Донбасу*. 2020. № 4 (73). С. 182–188. DOI: <https://doi.org/10.32366/2523-4269-2020-73-4-182-188>
3. Fulmer C. A., Crosby B., Gelfand M. J. Cross-cultural Perspectives on Time. *Time and Work: How Time Impacts Groups, Organizations, and Methodological Choices* / Editors A. Shipp, Y. Fried. Psychological Press, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315798370>.
4. Колінько М. Вплив культурних контекстів на міжкультурну комунікацію. *Світогляд-Філософія-Релігія*. 2018. Вип. 13. С. 108–116. DOI: <https://doi.org/10.21272/wpr.2018.13.13>
5. Li Mengyu. The unique values of Chinese traditional cultural time orientation: in comparison with Western cultural time orientation. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?doi=cf204a812fb3d51f2aa353929975d5dfcee0acda&repid=rep1&type=pdf>
6. Brislin R. W., Kim E. S. Cultural diversity and people's understanding and uses of time. *Applied Psychology: An International Review*. 2003. Vol. 52, No. 3. P. 363–382. URL: https://spkb.blot.im/_readings/Cultural%20Diversity%20in%20People%E2%80%99s%20Understanding%20and%20Uses%20of%20Time%20BRISLIN%20KIM%202003%20.pdf
7. Колодяжна А.В., Білашов К.Ю. Вплив культурного розмаїття та мовних відмінностей на командну взаємодію: The 17th International scientific and practical conference «Trends in the development of science in the digital transformations» (April 29 – May 02, 2025) Milan, Italy. International Science Group. 2025. P.202–206. DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2025.1.17>

СЕКЦІЯ:
МЕНЕДЖМЕНТ РИЗИКІВ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ЛОГІСТИКА

SECTION
RISK MANAGEMENT IN MARITIME SHIPPING AND LOGISTICS

СЕРЕДЗЕМНЕ МОРЕ: УНІКАЛЬНІСТЬ ГЕОГРАФІЧНОГО ПОЛОЖЕННЯ ТА РОЛЬ У СВІТОВІЙ МОРСЬКІЙ ТОРГІВЛІ

Ананьєва В.Ю., Добровольська В.А.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Середземне море є одним із ключових регіонів Світового океану, яке відіграє важливу роль у міжнародній торгівлі, енергетичних потоках та геополітичній взаємодії держав. Через нього проходить понад 20% світового морського вантажообігу, а його порти є стратегічними пунктами на маршрутах між Європою, Африкою та Азією [1].

Актуальність теми зумовлена тим, що Середземне море сьогодні є не лише важливим торговельним маршрутом, а й ареною глобальних викликів: енергетичних криз, переформатування логістичних ланцюгів через військові конфлікти, зміни кліматичних умов і посилення конкуренції за ресурси континентального шельфу. У цих умовах регіон набуває ще більшого значення для стабільності світових транспортних систем і забезпечення продовольчої безпеки.

Мета дослідження — висвітлення географічних особливостей Середземного моря та визначення його ролі у сучасних світових транспортних процесах, зокрема в контексті глобальних економічних і політичних змін; аналіз значення Середземного моря для України як ключового напрямку експорту через Чорне море.

Результати досліджень. Середземне море розташоване між двома континентами — Євразією та Африкою, та сполучене з Атлантичним океаном через Гібралтарську протоку. Площа акваторії становить близько 2,5 млн км², середня глибина — 1 500 м, а максимальна сягає 5 267 м у Іонічному морі (улоговина Калліпсо).

Басейн Середземного моря поділяється на низку морів — Адріатичне, Іонічне, Тірренське, Егейське, Левантійське, Лігурійське тощо, які утворюють складну гідрологічну систему. Його берегова лінія протяжністю понад 46 тисяч км надзвичайно розчленована: тут поєднуються високі скелясті узбережжя (Італія, Хорватія, Греція) з рівнинними (Єгипет, Туніс).

Клімат Середземномор'я переважно субтропічний, із м'якою вологою зимою та спекотним сухим літом, однак східні та південні райони зазнають впливу пустельних вітрів Сахари, що зумовлює підвищене випаровування. Висока солоність води (у середньому 38–39‰) і значне випаровування роблять море одним із найсолоніших у світі.

Гідрологічний режим характеризується складною системою течій. Через Гібралтарську протоку з Атлантики надходять поверхневі води, що рухаються на схід, утворюючи Алжирську та Левантинську течії, які замикаються до південного узбережжя Туреччини. Глибоководні маси циркулюють у протилежному напрямку, повертаючись до Атлантики, що створює унікальну двошарову циркуляцію вод.

У більшості картографічних і гідрографічних схем Середземне море зображується як центр міжконтинентального обміну, де природні умови сприяють розвитку інтенсивного судноплавства, рибальства та туризму [2].

Середземне море з давніх часів було осередком обміну товарами, культурою та технологіями між народами трьох континентів. Уже в античний період воно стало «колискою» морської торгівлі: фінікійці та карфагеняни розвинули мореплавство й заснували торговельні колонії від Північної Африки до Іспанії, а Рим перетворив Середземномор'я на внутрішнє море своєї імперії — *Mare Nostrum*, що забезпечувало стабільне постачання зерна, металів і тканин.

У Середньовіччі провідну роль у торгівлі посіли генуезці та венеційці, які створили мережу морських торговельних республік і контролювали транзит між Європою, Близьким Сходом і Північною Африкою. Водночас арабські держави розвивали морські шляхи у східній частині басейну, поєднуючи середземноморські порти з Індійським

океаном через караванні маршрути.

У Новий час ключовим етапом став прорив через Суецький канал (1869 р.), який з'єднав Середземне море з Червоним і відкрив прямий морський шлях до Індії та Південно-Східної Азії. Це радикально змінило структуру світової торгівлі, перетворивши регіон на центральну ланку між Європою та Азією.

Сьогодні Середземне море зберігає статус одного з найважливіших торговельних вузлів світу, через який проходять основні маршрути контейнерних суден, нафтових танкерів і газових перевізників, що поєднують Європейський Союз, Близький Схід та Африку [3].

Середземне море сьогодні є одним із найактивніших морських регіонів світу, через який проходить понад 15 % глобального морського вантажообігу. Щороку через Суецький канал проходить понад 19 тисяч суден, що забезпечують близько 12 % світової торгівлі товарами та енергоресурсами [4]. За даними OECD та Plan Bleu, щільність морських шляхів у Середземномор'ї є однією з найвищих у світі — понад 300 торговельних маршрутів щоденно з'єднують понад 30 прибережних держав.

Морський басейн налічує понад 200 великих портів і терміналів, які забезпечують не лише транзит вантажів, але й розвиток портової промисловості, логістики та судноремонту. Найбільшими транспортними вузлами є Марсель (Франція), Валенсія (Іспанія), Пірей (Греція), Генуя (Італія), Александрія та Порт-Саїд (Єгипет), Стамбул (Туреччина). Ці порти входять до переліку найзавантаженіших у Європі за кількістю оброблених контейнерів (TEU). Наприклад, порт Валенсія обробляє понад 5 млн TEU на рік, а Пірей — понад 4,6 млн TEU, ставши головним перевалочним центром Східного Середземномор'я після інвестицій китайської компанії COSCO.

Середземне море виступає головним енергетичним коридором між Близьким Сходом, Африкою та Європою. Через регіон проходять основні маршрути постачання нафти й зрідженого природного газу (LNG) до портів Італії, Франції, Іспанії та Греції. У східній частині активно розвивається Левантійський басейн, де зосереджені великі запаси газу (родовища «Zohr», «Leviathan», «Aphrodite») [7, с.173]. Їх розробка має не лише економічний, а й політичний вимір — зміцнення енергетичної незалежності ЄС та зниження залежності від російських поставок [5].

Важливу роль відіграють транзитні вузли та стратегічні протоки — Гібралтарська, Босфор та Дарданелли, а також Суецький канал. Через них здійснюється рух між Атлантичним океаном, Чорним і Червоним морями, що перетворює регіон на «морський міст» між континентами. Середземноморські шляхи забезпечують швидке постачання сировини, зерна, енергоресурсів та промислових товарів у Європу, а також експорт європейської продукції на ринки Близького Сходу й Африки.

Сучасні тенденції розвитку морської логістики у регіоні спрямовані на цифровізацію портів, впровадження «зелених» технологій і зменшення викидів CO₂ у транспортному секторі. Ініціативи ЄС, такі як Motorways of the Sea та EU Maritime Transport Strategy 2050, передбачають модернізацію середземноморських портів, розширення терміналів LNG і розвиток сталого судноплавства.

Для України Середземне море має стратегічне значення як ключовий напрям експорту через Чорне море. Відновлення морських маршрутів через протоки Босфор і Дарданелли дозволяє забезпечувати вивезення українського зерна, металів та продукції агропромислового комплексу до портів Південної Європи та Північної Африки. Це робить Середземне море важливою ланкою у відновленні української економіки та зміцненні її позицій у світовій торгівлі.

Середземноморський регіон залишається зоною перетину інтересів провідних держав світу, регіональних учасників і транснаціональних корпорацій. Конкуренція за контроль над транспортними коридорами, енергетичними ресурсами та стратегічними протоками створює складну систему взаємозалежностей. Особливо важливу роль відіграє

Туреччина, яка виступає ключовим посередником між Чорним і Середземним морем, контролюючи протоки Босфор і Дарданелли та забезпечуючи вихід України до світових торговельних шляхів.

Після повномасштабного вторгнення РФ в Україну у 2022 році геополітична ситуація в регіоні істотно змінилася. Закриття частини традиційних маршрутів у Чорному морі призвело до переорієнтації українського експорту через альтернативні напрямки – до портів Румунії, Болгарії, Греції та далі через Середземне море до Південної Європи й Північної Африки. У межах зернової ініціативи ООН Україна зберегла можливість постачання сільськогосподарської продукції до країн, що залежать від її експорту, чим підтвердила своє стратегічне значення для світової продовольчої безпеки.

Водночас Середземномор'я залишається енергетичним вузлом, через який проходять газопроводи та маршрути постачання зрідженого природного газу. Відкриття нових родовищ у східній частині моря (Ізраїль, Кіпр, Єгипет) сприяє посиленню ролі регіону у формуванні альтернативних енергетичних маршрутів для Європи, що зменшує залежність від російських поставок [6].

Європейський Союз через програму Union for the Mediterranean активно підтримує розвиток сталого транспорту та «зелених портів», які спрямовані на скорочення викидів CO₂, впровадження енергоефективних технологій і цифровізацію логістики [7, с.178]. У межах екологічної політики ЄС акцент робиться на мінімізацію екологічних ризиків судноплавства, захист прибережних екосистем і модернізацію інфраструктури портів, що відповідає Цілям сталого розвитку ООН [6].

Для України Середземне море має першочергове стратегічне значення – воно є основним маршрутом експорту українських товарів через Чорне море та чорноморські протоки. Вихід до середземноморських портів забезпечує інтеграцію українського експорту до глобальних ринків і зміцнює економічну співпрацю з країнами ЄС, Близького Сходу та Африки.

Висновки. Середземне море відіграє ключову роль у глобальній транспортній системі, поєднуючи торговельні, енергетичні та логістичні інтереси Європи, Азії й Африки. Його географічне положення, розвинена портова інфраструктура та концентрація морських маршрутів роблять регіон одним із найважливіших центрів світової торгівлі.

Забезпечення сталого функціонування судноплавства у Середземномор'ї потребує комплексного управління ризиками, яке базується на поєднанні міжнародних норм – Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі, Міжнародного кодексу управління безпекою, Міжнародної конвенції з запобігання забрудненню з суден – та методології Formal Safety Assessment. Сучасна практика морських перевезень орієнтується на зниження людського фактора як основного джерела аварійності, підвищення технічної надійності флоту, цифровізацію управління й моніторинг технічного стану суден.

Інтеграція управління ризиками з цілями сталого розвитку Міжнародної морської організації сприяє поєднанню безпеки, екологічної відповідальності та операційної ефективності. Це реалізується через зменшення викидів парникових газів від суден, перехід на альтернативні види палива, оптимізацію маршрутів і впровадження цифрових систем, що знижують ризик аварій.

Для України значення Середземного моря є стратегічним – воно забезпечує вихід на глобальні торговельні ринки через Чорне море та протоки Босфор і Дарданелли, підтримує експорт аграрної та промислової продукції, а також зміцнює позиції нашої держави в європейській економічній системі.

ЛІТЕРАТУРА

1. OECD. Regional Integration in the Union for the Mediterranean 2025. URL: https://www.oecd.org/en/publications/regional-integration-in-the-union-for-the-mediterranean-2025_6422396e-en/full-report/infrastructure_3cf9d59b.html

2. Offshore Energy Exploration Activities and the Exclusive Economic Zone Regime: A case study of the Eastern Mediterranean Basin. URL: https://www.researchgate.net/publication/322927029_Offshore_Energy_Exploration_Activities_and_the_Exclusive_Economic_Zone_Regime_A_case_study_of_the_Eastern_Mediterranean_Basin
3. Plan Bleu. Maritime Transport in the Mediterranean. URL: https://planbleu.org/sites/default/files/publications/cahier7_transport_en.pdf
4. Istituto Affari Internazionali (IAI). Maritime security and energy routes in the Mediterranean. URL: <https://www.iai.it/sites/default/files/iaip2207.pdf>
5. GMFUS. Infrastructures and Power in the MENA Region. URL: https://www.gmfus.org/sites/default/files/Chapter%20Laura%20Basagni__JPS_Infrastructures%20and%20power%20in%20the%20MENA-12-33.pdf
6. GFocus Magazine. Mediterranean transport and trade outlook. URL: <https://gfocusmagazine.com/?p=3578&lang=en>
7. Серафімов В. В. Сучасні тенденції формування морської політики держав Середземномор'я. LEX PORTUS, 2018, 3 (11), с. 157–181. <https://doi.org/10.26886/2524-101X.3.2018.11>

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРИ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Ананьєва В.Ю., Стовба Т.А.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Морські перевезення забезпечують понад 80% світової торгівлі, але супроводжуються комплексом ризиків — навігаційних, технічних, екологічних та організаційних. Важливу роль у виникненні інцидентів відіграє людський фактор, якому Міжнародна морська організація (далі IMO) приділяє значну увагу [1]. Управління ризиками інтегроване в міжнародну нормативну базу (SOLAS, ISM Code, MARPOL) і методологію Formal Safety Assessment (далі FSA) [2–5].

Актуальність досліджень. Концепція сталого розвитку, ухвалена на Конференції ООН у 1992 р., дотепер залишається актуальною через посилення кліматичних та енергетичних викликів. Сталий розвиток морського транспорту поєднує досягнення економічної ефективності, екологічної безпеки та соціальної відповідальності учасників ланцюгів перевезень. Управління ризиками при морських перевезеннях вантажів тісно корелюється з цілями сталого розвитку, сформульованими ООН: з ціллю №13 (боротьба зі зміною клімату) та ціллю №14 (збереження морських екосистем) та ін. [6].

Постановка задачі. Узагальнити заходи щодо управління ризиками морських перевезень вантажів відповідно до чинних міжнародних норм з метою досягнення цілей сталого розвитку у судноплаванні.

Результати досліджень. Під ризиком у судноплаванні розуміють імовірність настання небажаної події та тяжкість її наслідків для людей, майна й довкілля. Ключові групи ризиків при перевезенні вантажів представлені на рис. 1.

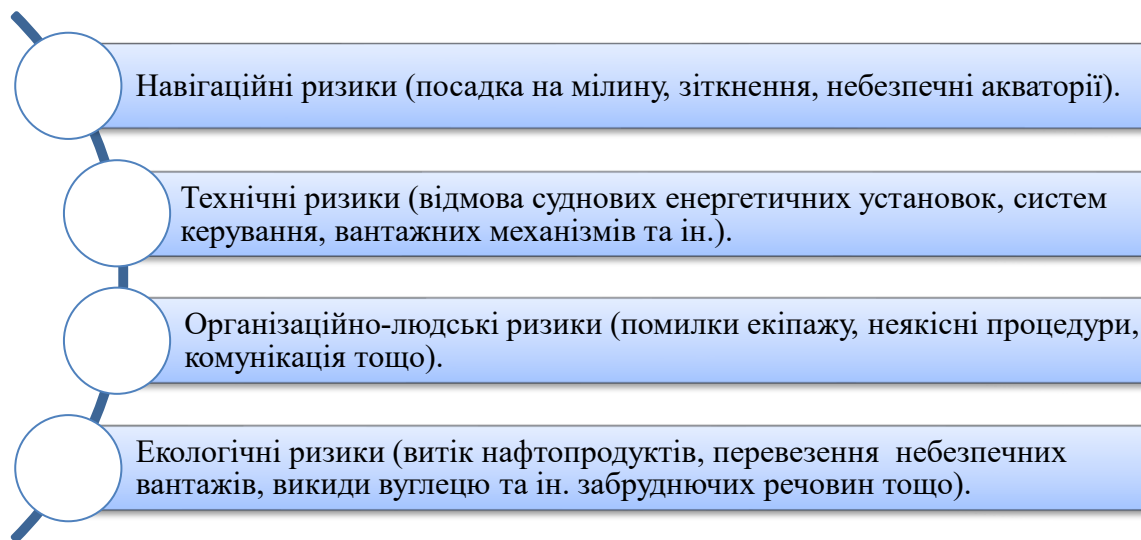


Рисунок 1 — Ключові групи ризиків при вантажних перевезеннях

Грунтовний аналіз міжнародних норм щодо управління ризиками дозволив встановити наступне. Конвенція SOLAS визначає мінімальні стандарти будівництва, обладнання та експлуатації суден задля забезпечення безпеки [3]. ISM Code встановлює міжнародний стандарт безпечної експлуатації суден і запобігання забрудненню через систему управління безпекою (SMS), що охоплює політику, процедури, підготовку персоналу та внутрішні аудити [2]. MARPOL є базовою конвенцією із запобігання забрудненню морського середовища суднами, включаючи вимоги до попередження витоків нафти, хімікатів, сміття та контролю викидів в атмосферу [4]. Методологія FSA

забезпечує структурований процес ідентифікації небезпек (HAZID), аналізу ризиків, оцінювання варіантів контролю та визначення їхньої рентабельності (ALARP) для прийняття регуляторних рішень [5].

Узагальнення розслідувань і статистики EMSA щодо морських інцидентів підтверджує ключову роль людського чинника в аварійності та необхідність зміцнення операційної дисципліни [7]. Розподіл за причинами морських інцидентів відбувається таким чином:

– невідповідні дії вахтового персоналу викликають 32% загальної кількості людських помилок;

- помилкові рішення й дії внаслідок впливу стресорів, втоми — 30%;
- неправильний вибір швидкості та використання радара — 15,5%;
- неправильне використання обладнання — 2,0%;
- проблеми, пов'язані з процедурами — 2,0%;
- непорозуміння внаслідок недостатньої підготовки (lack of training) — 1,0%;
- проблеми, викликані багатонаціональністю членів екіпажу — 1,0% [8].

Отже, більшість морських інцидентів при перевезенні вантажів є наслідком людських помилок.

Зокрема, інцидент з «Ever Given» (23–29 березня 2021 р.), що стався у Суецькому каналі, є одним із наймасштабніших у сучасній історії судноплавства. Посадка на міліну 400-метрового контейнеровоза призвела до блокування каналу протягом 6 діб, затримавши понад 400 суден і спричинивши збитки світовій торгівлі на понад 9 млрд доларів США щодоби [9]. За даними розслідувань основними факторами, які викликали інцидент, стали сильний боковий вітер, надмірна швидкість, недостатня координація між капітаном та лоцманом при маневруванні в обмеженій акваторії. Інцидент продемонстрував важливість врахування метеоумов, лоцманських порад і управлінських рішень у тісних каналах.

Ще один інцидент, який стався не на вантажному, а на круїзному судні «Costa Concordia» (13 січня 2012 р.) заслуговує на аналіз кейсу щодо необхідності впровадження культури безпеки. Внаслідок відхилення судна від планового маршруту відбулася посадка судна на підводні скелі біля острова Джильйо, що призвело до загибелі 32 осіб. Розслідування встановило, що капітан ухвалив самовільне рішення для «салюту берегу», порушивши навігаційні процедури [10]. Так, проходження судна максимально близько до берегової лінії є надзвичайно ризикованим рішенням, оскільки маршрути, прокладені так близько до берега, часто проходять через мілководдя або поблизу підводних скель і рифів, які не позначені як безпечні для великих суден. Виявлені недоліки – відсутність контролю на містку, неузгоджені дії екіпажу та неефективна евакуація – підтвердили, що культура безпеки, командна взаємодія та лідерство є ключовими елементами управління ризиками.

Узагальнена система заходів для мінімізації ключових груп ризиків при морських перевезеннях наведена на рис.2.

Ефективне управління ризиками полягає у виявленні потенційних небезпек, оцінюванні ймовірності їх реалізації, розробленні запобіжних заходів і контролі за їх виконанням. Такий підхід забезпечує зменшення ймовірності аварій, мінімізацію екологічних збитків, підвищення енергоефективності суден та досягнення цілей декарбонізації.

Управління ризиками при морських перевезеннях реалізується через скорочення аварійності, оптимізацію витрат пального, підвищення енергоефективності (EEDI, SEEMP), формування культури безпеки та соціальної відповідальності усіх учасників доставки вантажів. Це створює синергію між безпекою, екологічною відповідальністю й операційною ефективністю у глобальній морській практиці [11–12].

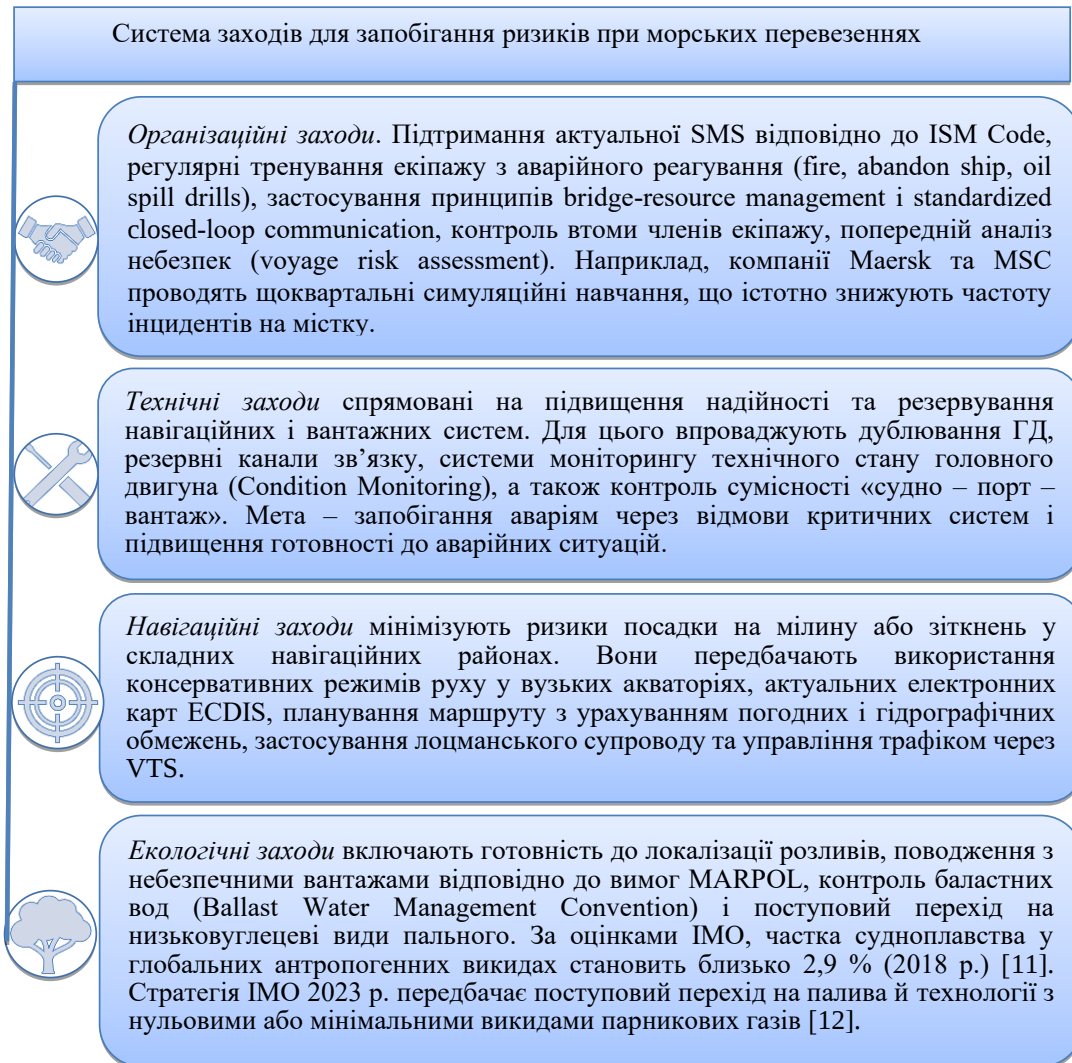


Рисунок 2 — Система заходів для запобігання ключових груп ризиків при морських перевезеннях вантажів

Висновки. Управління ризиками при морських перевезеннях вантажів базується на дотриманні SOLAS, ISM Code, MARPOL та методології FSA із фокусом на людський фактор, який дотепер залишається домінуючим чинником аварійності.

Аналіз морських інцидентів підкреслює необхідність суворого дотримання процедур, належної підготовки суднового екіпажу і консервативної навігації в обмежених водах.

Внаслідок інтеграції управління ризиками з цілями сталого розвитку виникає можливість отримати ефект синергії, який досягається завдяки впровадженню системного моніторингу технічного стану суден, скороченню викидів, підвищенню енергоефективності (EEDI, SEEMP), застосуванню альтернативних видів пального, оптимізації маршрутів та використанню цифрових рішень задля запобігання морським інцидентам.

Управління ризиками має супроводжуватись формуванням культури безпеки серед членів екіпажу, яка зменшує кількість морських інцидентів і фінансові втрати компаній, забезпечуючи економічну та екологічну сталість судноплавства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Human Element. *imo.org* : веб-сайт. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement> (дата звернення: 22.10.2025).
2. The International Safety Management (ISM) Code. *imo.org* : веб-сайт. URL: <https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/ismcode.aspx> (дата звернення: 22.10.2025).
3. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. *imo.org*: веб-сайт. URL: [https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-\(solas\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-(solas),-1974.aspx) (дата звернення: 22.10.2025).
4. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). *imo.org* : веб-сайт. URL: [https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-\(marpol\).aspx](https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx) (дата звернення: 12.10.2025).
5. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2. Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. IMO, 09.04.2018. *imo.org* : веб-сайт. URL: [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/HumanElement/Documents/MSC-MEPC.2-Circ.12-Rev.2%20-%20Revised%20Guidelines%20For%20Formal%20Safety%20Assessment%20\(Fsa\)For%20Use%20In%20The%20Imo%20Rule-Making%20Proces...%20\(Secretariat\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/HumanElement/Documents/MSC-MEPC.2-Circ.12-Rev.2%20-%20Revised%20Guidelines%20For%20Formal%20Safety%20Assessment%20(Fsa)For%20Use%20In%20The%20Imo%20Rule-Making%20Proces...%20(Secretariat).pdf) (дата звернення: 22.10.2025).
6. Сталий розвиток. *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BA (дата звернення: 5.11.2025).
7. European Maritime Safety Agency (EMSA). Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2023. *safety4sea.com*: веб-сайт. URL: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2023/10/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2023_10.pdf (дата звернення: 25.10.2025).
8. Гилка У.Л. Організаційно-управлінські можливості запобігання аваріям морського транспорту. *Економіка та менеджмент*. 2020. №1. С. 109–114. DOI: [https://doi.org/10.15589/znp2020.1\(479\).14](https://doi.org/10.15589/znp2020.1(479).14).
9. Report R-026-2021-DIAM. Final Investigation Report – M/V “Ever Given” (Suez Canal grounding, 23–29 March 2021). *gcaptain.com*: веб-сайт. URL: <https://gcaptain.com/wp-content/uploads/2023/07/Final-Investigation-Report-Ever-Given-23-March-2021.pdf> (дата звернення: 25.10.2025).
10. Costa Concordia – Technical Marine Safety investigation materials. Ministry of Infrastructure and Transport (Italy), Maritime Investigative Body. *ifsma.org* : веб-сайт. URL: <https://www.ifsma.org/tempannounce/CostaConcordia.pdf> (дата звернення: 25.10.2025).
11. Fourth IMO GHG Study 2020 – Executive Summary. *imo.org* : веб-сайт. URL: <https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20Executive-Summary.pdf> (дата звернення: 25.10.2025).
12. Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. *imo.org* : веб-сайт. URL: <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/2023-imo-strategy-on-reduction-of-ghg-emissions-from-ships.aspx> (дата звернення: 25.10.2025).

ЧАРТЕР ТА КОНОСАМЕНТ: КОЛІЗІЇ УМОВ ТА ПРАВОВІ МЕХАНІЗМИ ЇХ УЗГОДЖЕННЯ

Домашевський А.Д., Панченко І.М.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Морська торгівля як провідна галузь глобального обміну регулюється двома ключовими комерційними документами: чартером та коносаментом. Чартер є двосторонньою угодою між судновласником і фрахтувальником, тоді як коносамент є контрактом перевезення, що часто передається третім особам (вантажоодержувачам), які не були стороною чартеру. Предметом дослідження є правові колізії, що виникають внаслідок інкорпорації умов чартеру до тексту коносаменту. Ця юридична взаємодія, будучи необхідною для гармонізації умов, водночас створює потенціал для суперечок щодо застосовного права, юрисдикції та обсягу зобов'язань між перевізником та кінцевим власником вантажу.

Актуальність дослідження. Актуальність обраної проблематики визначається її безпосереднім впливом на комерційну передбачуваність та фінансові ризики у міжнародному морському праві. По-перше, нечіткі застереження про інкорпорацію створюють асиметрію правових ризиків для власників коносаментів, які, приймаючи документ, можуть несподівано опинитися під дією умов чартеру, про які вони не знали і які можуть суперечити їхнім економічним інтересам. По-друге, правозастосовча практика, особливо щодо інкорпорації таких критичних положень, як арбітраж та юрисдикція, демонструє відсутність єдиного підходу. Це зумовлює правову невизначеність та призводить до дороговартісних і тривалих паралельних судових процесів у різних юрисдикціях (наприклад, суперечка за чартером та суперечка за коносаментом). Таким чином, дослідження та систематизація критеріїв ефективної інкорпорації є критично важливим для мінімізації комерційних та юридичних загроз у морській галузі.

Постановка задачі. Основна задача даного наукового дослідження полягає у проведенні всебічного правового аналізу механізмів виникнення та вирішення конфліктів між умовами чартеру та коносаменту, а також у формуванні науково обґрунтованих практичних рекомендацій для їх запобігання.

Результати досліджень. У морській торгівлі документи відіграють визначальну роль у встановленні прав, обов'язків і ризиків сторін. Зокрема, два ключові документи — чартер і коносамент часто взаємопов'язані, але мають різне юридичне походження і завдання. Коли умови чартеру й умови коносаменту не збігаються або суперечать одне одному, виникає конфлікт. Щоб зрозуміти, чому така колізія виникає, спершу варто розглянути їх природу та джерела конфлікту.

Правова природа чартеру і коносаменту — це ключ до розуміння, чому між ними можуть з'являтися протиріччя. Чартер — це договір фрахтування, укладений між власником судна і фрахтувальником, де встановлюються умови найму судна, маршруту, фрахту, часу навантаження та розвантаження, штрафів за затримки тощо. Коносамент натомість видається вже після прийняття вантажу. Він служить і як доказ того, що вантаж прийнято, і як документ, що передає право вимоги вантажу. У правовому сенсі коносамент стає контрактом перевезення між перевізником і власником коносаменту і цей договір може не бути точно відображенням умов чартеру [1, с. 3]. Ось чому умови чартеру не автоматично діють між перевізником і вантажоодержувачем, якщо вони не включені у текст коносаменту [2, С.117].

Причини конфліктів між умовами чартеру й коносаменту виростають із кількох джерел: по-перше, різні суб'єкти документів — фрахтувальник є стороною чартеру, вантажоодержувач стороною коносаменту; по-друге, коносамент може передаватися третім особам, які не брали участі в складанні чартеру і не знали його умов; по-третє,

інкорпорація умов чартеру може бути сформульована нечітко, що створює неоднозначність, які саме умови включені (наприклад, «застереження про застосовне право та арбітраж» в коносаменті, тоді як у чартері є лише положення про судову юрисдикцію). Юридично важливим є те, що при конфлікті між умовами коносамента і чартеру пріоритет у багатьох системах належить коносаменту як безпосередньому договору перевезення. Наприклад, за англійським правом, якщо положення чартеру прямо суперечить ключовим зобов'язанням у коносаменті, такі положення можуть бути відхилені або не застосовані у відношенні до держателя коносамента. Крім того, інкорпорація арбітражних або юрисдикційних пунктів вимагає особливої уваги й чітких формулювань, і суди часто здійснюють тлумачення текстів з урахуванням комерційного контексту.

Коли коносамент містить фразу «Усі умови, положення, застереження та винятки, передбачені чартером, включно із застереженням щодо застосовного права та арбітражу, цим документом визнаються частиною цього коносамента», це означає, що перевізник прагне, щоб усі основні умови чартеру набули сили також відносно власника коносамента. Однак чи будуть ці умови захищені в суді, залежить від того, чи існує чітке ідентифікування чартеру на коносаменті, чи умова про право й юрисдикцію та чи сформульована вона в достатній конкретності. За англійським правом, загальні слова інкорпорації можуть бути достатніми для включення основних положень перевезення, але не завжди для включення арбітражу або судової юрисдикції потрібне чітке посилання.

У сучасній практиці виникають цікаві кейси, які демонструють, як суд підходить до таких конфліктів і як прагматично вирішує невизначеності. У справі «Channel Ranger» (2014) коносамент було видано за формою Congenbill 1994, і на його звороті була фраза про інкорпорацію чартеру з «застереження про застосовне право та арбітраж». Проте в самому чартері передбачалася юрисдикція Високого суду Англії, а не арбітраж. Суд першої інстанції і Апеляційний суд Англії визнали, що помилка в словах «арбітраж» може бути виправлена через тлумачення, і що малося на увазі введення у дію положення про англійську юрисдикцію [3].

Ще один приклад справа Navios Koyo (2021, Сінгапур). У коносаменті чітко зазначено: «Усі умови, положення, застереження та винятки чартеру, датованого як зазначено на звороті, включно із застереженням про застосовне право та арбітраж, цим визнаються частиною цього документа», і сам чартер передбачав арбітраж у Лондоні. Суди Сінгапуру підтримали позицію перевізника про застосування арбітражу і постановили призупинити судові дії в суді на користь арбітражу [4].

Ці приклади підкреслюють, що інкорпорація – це можливість, але не гарантія. Її застосування залежить від формулювання і контексту.

Наслідки для сторін у разі конфлікту дуже серйозні. Перевізник ризикує виявитися зобов'язаним виконати суперечливі вимоги як від фрахтувальника за чартером, так і від власника коносамента. Окрім того, може бути втягнутий у судові процеси в різних юрисдикціях. Фрахтувальник, якщо передав відповідний коносамент, може втратити контроль над тим, які умови застосуються проти вантажоодержувача. Вантажоодержувач, прийнявши коносамент, може раптом дізнатись, що на нього поширюються умови чартеру, які він фактично не бачив, і опинитися зобов'язаним згідно з положеннями, що не відповідають його економічним чи логістичним інтересам.

Щоб уникнути таких конфліктів, у морській галузі застосовують кілька ефективних методів. По-перше, у коносаменті слід завжди чітко ідентифікувати чартер, зазначаючи дату, сторони, номер або назву договору. По-друге, формулювання інкорпорації має бути дуже конкретним та однозначним. По-третє, разом із коносаментом може подаватися копія чартеру або принаймні доступ до нього, щоб власник коносамента міг ознайомитись із деталями. По-четверте, слід уникати надмірної інкорпорації, не включаючи ті умови чартеру, які явно не стосуються перевезення вантажу чи передання права власності

(наприклад, внутрішні бухгалтерські зобов'язання фрахтувальника). У випадку невизначеності необхідно передбачати механізм тлумачення або процедуру узгодження умов між сторонами ще на етапі укладання документів [5].

Слід зауважити, що коли інкорпорація виконується ретельно й свідомо, вона дозволяє забезпечити узгодженість умов перевезення, захистити інтереси перевізника і мінімізувати ризики для вантажоодержувача [6].

Висновки. Конфлікт між чартером і коносаментом є, по суті, зіткненням двох правових реальностей: двостороннього договору фрахтування та зобов'язання перед власником товаророзпорядчого документа. Юридична прагматика вимагає, щоб при інкорпорації умов чартеру в коносамент дотримувалися принципу конкретності та прозорості.

Ефективність інкорпорації залежить від свідомого правового акту, який має бути відображений у чіткому ідентифікуванні чартеру та однозначному формулюванні перенесених положень, особливо тих, що стосуються юрисдикційних питань. Нечіткість створює простір для правових конфліктів, утягуючи перевізника у суперечки та накладаючи непередбачувані обов'язки на вантажоодержувача.

Шлях до вирішення цієї проблеми полягає не лише в судовому тлумаченні, а й у превентивних заходах: стандартизації комерційної практики, удосконаленні типових форм коносаментів та підвищенні правової обізнаності учасників морських перевезень. Лише такий комплексний підхід забезпечить узгодженість умов та мінімізує юридичні ризики в цій критично важливій галузі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Evi Plomaritou, Ioannis Voudouris. The Relationships of Bill of Lading, Charterparty and Other Transport Documents. *Journal of Economics, Management and Trade*. 2019. №24(6). P. 1-8 DOI: 10.9734/jemt/2019/v24i630182
2. Wilson, John F. Carriage of Goods by Sea. 7th ed., Pearson Longman, 2010. p. 617. URL: https://www.scribd.com/document/586576129/Carriage-of-Goods-by-Sea-7th-Ed-Legal-J-Wilson-Pearson-2010-BBS?language_settings_changed=English
3. The «Channel Ranger». *Shipping*. 2014. https://www.clydeco.com/clyde/media/fileslibrary/CC006259_Channel_Ranger_update_13.11.14.pdf
4. Справа Navios Koyo. Рішення Апеляційного суду Сінгапуру. 2021. SGCA 99. URL: https://www.elitigation.sg/gd/s/2021_SGCA_99
5. Incorporation of the charterparty terms into bills of lading. *Interlegal Blog*. 2023. URL: <https://blog.interlegal.com.ua/incorporation-of-the-charterparty-terms-into-bills-of-lading>
Incorporation of Charterparty Terms into Bills of Lading. *West of England. P&I Guide*. 2020. URL: https://www.westpandi.com/getattachment/ffa75445-1ae8-4845-a437-1d986e869c73/p-i_guide_incorporation_of_charterparty_2pp_v2_lr.pdf

МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ МОРСЬКИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МОТОДОМ MONTE CARLO

Жищинський Ю.С.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Сучасна логістика в умовах глобальної нестабільності, воєнних дій та порушень ланцюгів постачання потребує принципово нових підходів до управління ризиками. Морська складова мультимодальних перевезень є критично важливою для України, оскільки забезпечує вихід на світові ринки через чорноморсько-дунайські порти [1-3]. Основною метою було оцінити розподіл загального часу доставки та сукупної вартості перевезення при природних коливаннях ключових факторів, зокрема з використанням імітаційного моделювання Monte Carlo.

Методологія дослідження та моделювання Monte Carlo

Для оцінки впливу впровадження управління на надійність та ефективність мультимодальних перевезень використано комбінацію сценарного та імітаційного підходів [4-5]. Розглянемо базовий маршрут «Пункт 1 – Пункт 2» для експорту зерна обсягом 120 000 т/рік.

Для транспортування такого об'єму розроблено схему перевезення, яка показана на рис.1. Зі схеми бачимо, що є два різних транспорту – кораблі, на яких перевозять зерно. Є одна логістична точка передачі вантажу.

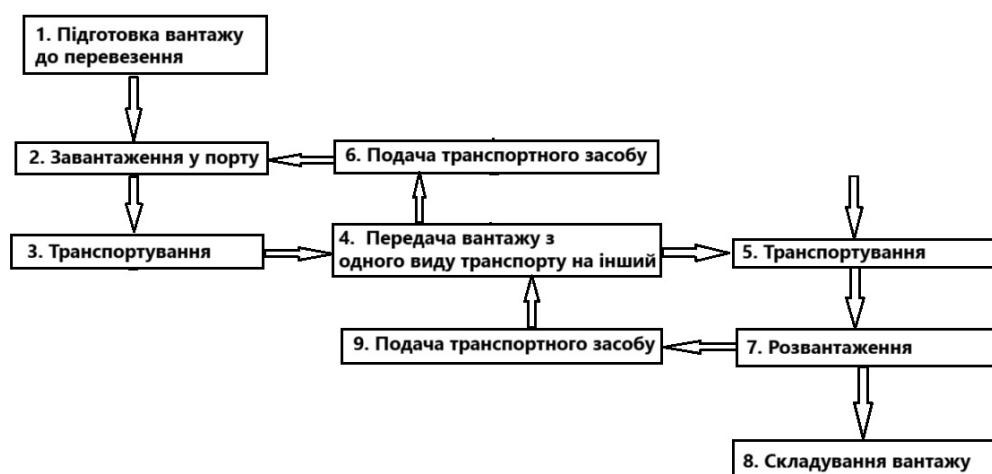


Рисунок 1 — Схема мультимодального морського перевезення

Вхідні технічні критерії (змінні моделі):

- Швидкість судна.
- Час на перевалку / траншшипмент (робота у перевалочній точці), год.
- Очікування в порту (berth waiting) на обидвох кінцях, год.
- Затримки через погоду, технічні / спеціальні події
- Швидкість завантаження/розвантаження (тон/год або TEU/год.
- Пропускна здатність перевалочної точки (обмеження)
- Надійність обладнання / відмова (відсоток рейсів з проблемою).
- Вартість пального / бункеру (€/т або €/MWh).
- Споживання палива на км або на тонно-кілометр для кожного сегмента.
- Портові збори / обробка (€/т або € на операцію).
- Витрати на перевалку (€/т) у перевалочній точці.
- Демередж / штрафи (за затримки)
- Втрати/псування вантажу при перевалці (%).

- Ризик крадіжки / юр. проблем (ймовірність і середній збиток)
- Доступність місця на борту (slot availability)
- Час консолідації / достатність обсягу для відправки (для барж/контейнерів).

Метод чисельного інтегрування Монте–Карло – це найбільш відоме застосування статичного моделювання для розв’язання прикладних математичних задач [5-6]. Якщо з послідовністю випадкових чисел $\{x_i\} \in X$ з законом розподілу ймовірностей $f_x(x)$ провести функціональне перетворення, $y_i = \varphi(x_i)$ то математичне очікування отриманої послідовності випадкових чисел $\{x y_i\} \in Y$

$$m_y = \int_{-\infty}^{\infty} (x) f_x(x) dx, \quad (1)$$

при обсязі вибірки більше декількох тисяч чисел з достатньо високою точністю може бути оцінено за формулою

$$m_y = \frac{1}{n} \int_{i=1}^n y_i, \quad (2)$$

Введемо так звану функцію індикатора області $1[a, b, x] = \begin{cases} 1, a \leq x \leq b \\ 0, a < x > b \end{cases}$

Якщо тепер обрати функцію $\varphi(x) = \frac{f(x)}{f_x(x)}$, то кінцевий вираз буде мати вигляд

$$I = m_y = \frac{1}{n} \int_{i=1}^n \frac{f(x)}{f_x(x)} 1[a, b, x_i], \quad (3)$$

Алгоритм обчислення визначеного інтегралу за методом Монте–Карло наведено на рисунку 2.

Похибка за методом Монте–Карло визначається похибкою генерації псевдовипадкової послідовності чисел, які були згенеровані на ЕОМ, та обсягом вибірки. Вона може бути оцінена із співвідношення [6]:

$$\Delta = \frac{1}{2\sqrt{n(1-P)}}$$

де P — гарантована ймовірність влучання похибки в інтервал $[-\Delta; +\Delta]$.

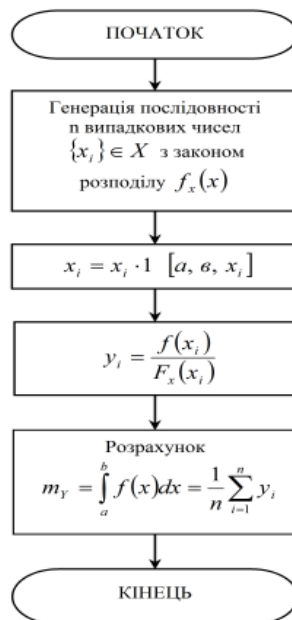


Рисунок 2 — Алгоритм методу Монте-Карло (Джерело [6])

Число випробувань n не залежить від кратності інтеграла, тому метод Монте-Карло знаходить застосування для обчислення багаторазових інтегралів, де застосовувати інші методи чисельного інтегрування неефективно через сильне зростання кількості обчислювальних операцій. Для нашого прикладу візьмемо $n = 500$.

Розглянемо послідовність дій при обчисленні кратних інтегралів при моделюванні морських перевезень. Для цього використаємо m генераторів випадкових чисел, де m – дорівнює кратності інтегрованих.

$$I = \iint_{(S)} f(x_1, x_2, \dots, x_m) dx_1 dx_2 \dots dx_m,$$

де $y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ – неперервна функція в обмеженій замкненій області.

Для оцінки впливу невизначеності параметрів було проведено 500 ітерацій імітації з випадковими варіаціями обсягу перевезень, рівня економії, затримок і ризику втрат вантажу. Модель описує мультимодальний морський маршрут із двома морськими ділянками (800 км та 400 км), які розділені перевалочною точкою для передачі вантажу на інше судно. Враховано, з урахуванням рекомендацій [7-9] стохастичні параметри:

- швидкість суден (нормальний розподіл),
- затримки у портах та на перевантаженні (трикутний розподіл),
- імовірність екстремальних затримок (5 %),
- варіацію витрат на паливе, портові збори, втрати вантажу та операційні витрати.

Згенеровано випадкові значення всіх вхідних змінних (швидкості, витрати, затримки, р-події тощо). Розраховано часи руху з урахуванням можливих екстремальних додаткових затримок. Прийнято: тонаж 1000 тон з ціною 200 євро за тону; затримки на 12,24 та 48 годин; швидкості 12 і 13 вузлів; верогідність екстремальної затримки –5%. Витрати палива: 0,1 т/км.

Отримані результати моделювання показані на рис.3 та зведені до таблиці 1.

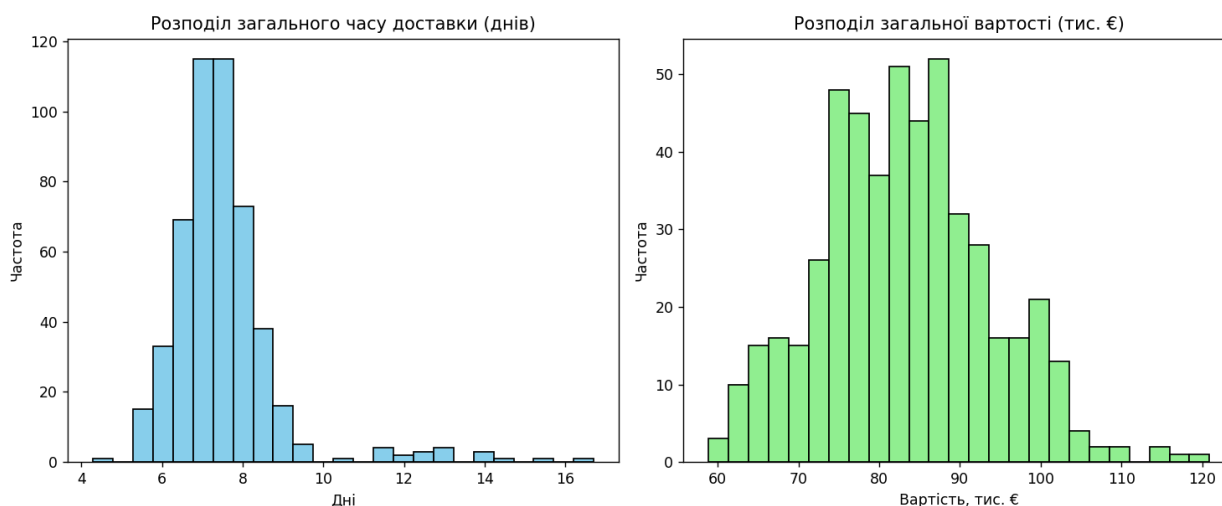


Рисунок 3 — Ймовірність розподілу

Таблиця 1 – Результати моделювання

Показник	Середнє	5-й перцентиль	50-й (медіана)	95-й перцентиль
Загальний час доставки	≈ 120–140 год (5–6 діб)	≈ 90 год	≈ 130 год	≈ 210 год
Загальна вартість перевезення	≈ 290–310 тис. €	≈ 250 тис. €	≈ 300 тис. €	≈ 360 тис. €

Висновки. Основна частка варіацій у загальному часі доставки припадає на: непередбачувані затримки у портах (до ± 24 год); тривалість перевалки (12–48 год); екстремальні події, які у 5 % випадків подовжують маршрут на 3–7 діб. Середній час перевезення у межах 5–6 діб відповідає сучасним умовам при середній швидкості 12–13 вузлів. Екстремальні сценарії (95-й перцентиль) можуть збільшити тривалість у 1,5–2 рази.

Пальне становить близько 35–40 % загальних витрат. Портові збори та перевантаження — до 45 %. Втрати вантажу (через пошкодження або логістичні розриви) дають невелику, але нестабільну частку — 1–2 % загальної вартості. Екстремальні події (шторми, черги, страйки) здатні збільшити вартість рейсу на 15–25 %.

Розподіл часу має асиметричний характер. Поточна система демонструє достатньо високу стійкість, але залишається чутливою до портових факторів. Цифровізація логістики (електронні маніфести, автоматичне планування швартувань, прогнозування ЕТА) потенційно може: скоротити середній час доставки на 10–15 %; зменшити варіацію витрат на 20–25 %; знизити ризик екстремальних затримок на 3–4 п.п.

Модель продемонструвала, що найбільший вплив на ефективність мультимодального морського перевезення мають: час простою в портах; ефективність перевалочної операції; ціна пального. Імовірність критичних перевищень часу доставки (> 200 год) становить близько 5 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. UNCTAD. (2023). Review of maritime transport. <https://unctad.org/topic/transport-and-trade-logistics/review-of-maritime-transport>
2. BIMCO. (2022). Logistics disruption reports. <https://www.bimco.org>
3. World Bank. (2023). Logistics performance index & maritime connectivity index. <https://lpi.worldbank.org> OECD. (2022). Multimodal connectivity report. <https://www.oecd.org/transport/>
4. Chuprina, I. (2023). ІКТ в інноваційному розвитку логістики. Національний авіаційний університет. Melnyk, V. (2023). Smart-логістика в умовах цифровізації. НАУ. Port of Rotterdam. (2023). Smart corridor programme. <https://www.portofrotterdam.com>
5. Статистичні та Монте-Карло алгоритми моделювання випадкових процесів у макро- і мікросистемах у MathCAD: монографія / П. С. Кособуцький ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. — 412 с. : іл. — Тит. арк. парал. англ. — Бібліогр. в кінці розділів. — ISBN 978-617-607-611-7
6. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень [Текст]. Частина I : навчальний посібник / [Р. Н. Кветний, І. В. Богач, О. Р. Бойко [та ін.]]; за заг. ред. Р. Н. Кветного. - Вінниця : ВНТУ, 2013. 191 с. ISBN 978-966-641-520-5.
7. Русанова, С., & Перепічко, М. (2024). МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ МОРСЬКИМИ ПОРТАМИ: СВІТОВІ ПРАКТИКИ. Економіка та суспільство, (61). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-102>
8. Using mixed methods to design service quality evaluation indicator system of railway container multimodal transport / X. Fang, C. Cao, Z. Chen, W. Chen, L. Ni, Z. Ji, J. Gan. Science Progress. 2020. Vol. 103 (1). <https://doi.org/10.1177/0036850419890491>
9. Synergy Degree Evaluation of Container Multimodal Transport System / X. Fang, Z. Ji, Z. Chen, W. Chen, C. Cao, J. Gan. Sustainability. 2020. Vol. 12, iss. 4. 1487. <https://doi.org/10.3390/su12041487>.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИБОРУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МОРСЬКИХ ПОРТІВ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В УКРАЇНІ

Ібрагім А.М., Стулій І.О., Клевцов К.М.

Херсонська державна морська академія

(Україна)

Вступ. Економічне зростання будь-якої країни значно залежить від можливості торгувати із світовим співтовариством. Саме торгівля є головним фактором для забезпечення обміну товарами, задоволення потреб країни в окремих ресурсах, отримання валютної виручки. Як наслідок — поліпшення соціально-економічних показників добробуту громадян. Успішне здійснення комерційної діяльності безпосередньо залежить від рівня розвитку транспортної інфраструктури. Значна роль тут належить морській логістиці, адже вона є найдешевшою та найефективнішою. Функціонування глобальної економіки нерозривно пов'язане з ефективністю ланцюгів постачання. Мультимодальні морські перевезення набувають все більшого економічного значення для організації бізнесу за принципом «Від дверей до дверей». Однак останні роки продемонстрували нестійкість традиційних логістичних моделей. Цьому сприяла пандемія COVID-19, торговельні війни, геополітична напруженість. Перевезення що базувалися на принципах «точно в строк» (Just-in-Time) та мінімізації витрат, виявилися вразливими в умовах частих та непередбачуваних збоїв [1, 2].

До початку 2022 року логістична система водного транспорту України була найпотужнішою в Чорноморському регіоні. Вона налічувала 13 морських портів із загальною потужністю 313,3 млн тонн. Дана інфраструктура була оснащена сотнями кранів та мільйонами квадратних метрів складських приміщень. Ключову роль відігравали глибоководні порти великої Одеси — «Одеський», «Чорноморський» та «Південний», на які припадало близько 60% усього вантажообігу країни. Інші важливі групи портів, як-от дунайські, дніпро-бузькі та азовські, спеціалізувалися на обслуговуванні конкретних вантажопотоків та промислових регіонів [3]. Дана портова мережа була тісно інтегрована із залізницею, яка посідає четверте місце за обсягами вантажоперевезень на Євразійському континенті. Стратегічну важливість системи підкреслювало те, що через територію України проходить 4 з 10 міжнародних транспортних коридорів, що перетворювало країну на ключовий транзитний вузол [4].

Надзвичайні ситуації, котрі паралізують роботу вітчизняних морських портів вимагають швидкої переорієнтації експортно-імпортних потоків через закордонні. Цей факт створює серйозні виклики для національної логістики та вимагає наукового обґрунтування вибору оптимальних маршрутів. Проте вибір європейського альтернативного порту є складною і багатофакторною задачею. Логістичний ланцюг, що пролягає через декілька країн є вразливим до багатьох ризиків. Їх неможливо оцінити лише за допомогою тарифів та відстаней. Ризик блокування кордонів фермерськими протестами, ризик зміни митної політики, ризик перевантаження залізничної інфраструктури — ці фактори стали не менш важливими, ніж вартість перевалки в порту [5].

Актуальність досліджень. Геополітичні зміни зумовили нагальну потребу в диверсифікації логістичних маршрутів для експортно-імпортних операцій. Це, своєю чергою, призвело до суттєвого перевантаження європейських портів та наземних прикордонних пунктів пропуску. Під впливом цих чинників, коли висока конкуренція на ринку міжнародних перевезень вимагає мінімізації фінансових та часових витрат, виникає нагальна потреба у науково обґрунтованому підході до вибору найбільш економічно доцільних і найменш перевантажених портових хабів. Водночас, наявні методи аналізу

свідчать про те, що вони часто є або виключно експертними, або враховують обмежену кількість критеріїв, що знижує об'єктивність вибору в умовах динамічної невизначеності. Отже, ключова дослідницька прогалина полягає у відсутності комплексних моделей, котрі б не просто враховували стандартні логістичні показники, а й інтегрували специфічні ризики, пов'язані з виникненням надзвичайних ситуацій та перевантаженістю сухопутних кордонів. Саме це і визначає високу актуальність даної роботи, спрямованої на створення такого інструменту прийняття рішень.

Постановка задачі. Метою даної роботи є підвищення ефективності міжнародних вантажних перевезень шляхом розробки математичної моделі для багатофакторного вибору оптимального альтернативного закордонного порту. Досягнення поставленої мети передбачає вирішення комплексу завдань, що включають: аналіз існуючих методів та моделей вибору логістичних вузлів; систематизацію ключових факторів та критеріїв, що впливають на вибір порту в сучасних умовах; розробку математичної моделі для комплексної оцінки альтернатив на основі системи кількісних та якісних показників.

Результати досліджень. Для вирішення поставленої задачі пропонується комплексний підхід, що базується на методах багатокритеріального аналізу. В основі лежить математична модель, що розраховує інтегральний показник привабливості (I_j) для кожного порту-альтернативи, дозволяючи їх об'єктивно ранжувати [6].

Модель враховує чотири ключові групи критеріїв: економічні, логістичні, техніко-інфраструктурні та операційно-ризикові. На відміну від класичних адитивних моделей, запропонований підхід враховує нелінійний характер деяких ризиків та вводить поняття стійкості логістичного коридору.

Інтегральний показник (I_j) для j -го порту формується на основі згортки нормалізованих значень критеріїв (k_{ij}) з урахуванням їх пріоритетності, визначеної за допомогою вагових коефіцієнтів (w_i), як зображено у Формулі 1:

$$I_j = f(w_1 k_{1j}, w_2 k_{2j}, \dots, w_n k_{nj}) \quad (1)$$

Детальна структура функції f враховує не лише суму зважених показників, але й відповідність альтернатив критичним обмежувальним умовам, що робить вибір більш реалістичним. Для уникнення суб'єктивності при визначенні вагових коефіцієнтів (w_i) пропонується використовувати метод аналізу ієрархій (MAI), що дозволяє систематизувати пріоритети на основі попарних порівнянь.

Наукова новизна:

1. вперше розроблено науково-методичний підхід до стратегічного вибору закордонного порту-хабу, який, на відміну від існуючих моделей операційного корегування маршрутів, призначений для прийняття рішень на національному рівні в умовах довгострокової непрацездатності власної портової інфраструктури.
2. Удосконалено критеріальну базу для оцінки альтернативних логістичних коридорів шляхом введення до неї інтегральних показників, що характеризують макроекономічні ризики та рівень стійкості «сухопутних» ділянок ланцюга постачання.
3. Дістав подальшого розвитку апарат багатокритеріальної оптимізації в логістиці за рахунок адаптації методу аналізу ієрархій для об'єктивного визначення пріоритетів з урахуванням інтересів різних стейкхолдерів (держави, експортерів, перевізників) при виборі стратегічного напрямку.

Практичне значення отриманих результатів

1. Розроблена модель може бути використана як інструмент підтримки прийняття рішень для логістичних компаній, експортерів та імпортерів при плануванні нових ланцюгів постачання.
2. Результати дослідження можуть бути застосовані державними органами (напр., Міністерством інфраструктури) для розробки стратегічних напрямів переорієнтації

українських вантажопотоків.

3. Впровадження моделі дозволить знизити логістичні витрати на 10–15% та скоротити загальний час доставки вантажів, підвищивши конкурентоспроможність українських товарів на світових ринках.

Висновки. У ході дослідження було розроблено та теоретично обґрунтовано концептуальні засади математичної моделі, що дозволяє на основі об'єктивних критеріїв здійснювати вибір оптимального закордонного порту. Представлений підхід створює основу для розробки більш складних динамічних моделей. Подальші дослідження будуть спрямовані на формалізацію стохастичного характеру ризикових критеріїв та розробку програмного інструментарію для апробації моделі на реальних даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Munim Z. H., Schramm H.-J. The impacts of port infrastructure and logistics performance on economic growth: the mediating role of seaborne trade. *Journal of shipping and trade*. 2018. No. 3 (1). URL: <https://doi.org/10.1186/s41072-018-0027-0> (дата звернення: 05.10.2025).

2. Review of maritime transport 2024 | navigating maritime chokepoints. *UN Trade and Development (UNCTAD)*. URL: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2024> (дата звернення 05.10.2025).

3. Клевцов К.М., Букетов А.В., Шарко О.В. Логістична система водного транспорту України: Навчальний посібник. Херсон: ХДМА, 2022. — 272 с.

4. Дорожнє господарство. *Міністерство інфраструктури України*. URL: <https://mtu.gov.ua/timeline/Dorozhne-gospodarstvo.html> (дата звернення: 05.10.2025).

5. Линник П., Гузь В. Контейнерна логістика: чи є майбутнє у портів Великої Одеси?. *Ukrainian shipping magazine*. 2025. URL: <https://en.usm.media/container-logistics-is-there-a-future-for-the-ports-of-great-odesa/> (дата звернення: 05.10.2025).

6. Кічка О., Кічкін О. Автоматизація побудови, порівняння та вибору маршрутів та схем доставки в системі мультимодальних перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2023. № 2 (18). С. 73–79. URL: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-73-79> (дата звернення: 05.10.2025).

МОРСЬКЕ СТРАХУВАННЯ

Кучерявий А.Р., Панченко І.М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Морське страхування є невід’ємною частиною інфраструктури світової торгівлі та ключовим елементом фінансового захисту суб’єктів морського права. Його сутність полягає в укладенні договору, за яким страховик бере на себе зобов’язання відшкодувати страхувальнику морські збитки в обсязі погодженого страхового покриття у разі настання інциденту. Цей інститут було створено для забезпечення дієвості принципу відшкодування у складних обставинах фактичного та правового характеру, типових для морської експлуатації. Страхування функціонує як механізм уникнення або мінімізації фінансової невизначеності, надаючи особам та організаціям фінансовий захист від непередбачених грошових втрат чи зобов’язань, над якими вони не мають ефективного контролю. Юридичні відносини між сторонами оформлюються страховим полісом або договором страхування. Враховуючи багатогранність ризиків та можливість залучення кількох страховиків (H&M, P&I, FD&D) у разі одного інциденту, всебічний аналіз правового та комерційного аспекту морського страхування є імперативом для забезпечення стабільності міжнародного судноплавства.

Актуальність дослідження. Актуальність обраної проблематики визначається залежністю економічних результатів морської діяльності від якості страхового менеджменту та правової обізнаності екіпажу. Це дослідження є також актуальним через надзвичайно високу частку страхових платежів у загальних операційних витратах судна, яка для деяких його типів (наприклад, VLCC) може сягати 45% [1, с. 6], що робить ефективне управління історією претензій (claims record) ключовим фактором конкурентоспроможності. В умовах інцидентів виникає складний конфлікт інтересів між судновласником, вантажоодержувачем та численними страховиками (P&I, H&M), тому роль капітана судна та його юридично правильні дії є вирішальними для захисту інтересів судновласника. Крім того, актуальність підтверджується складністю багаторівневого страхового покриття, яке включає спеціалізовані ризики (FD&D, страхування від воєнних ризиків). Аналіз цих додаткових полісів необхідний для забезпечення повної фінансової безпеки всіх суб’єктів морської діяльності відповідно до їхніх конкретних зобов’язань за умовами чартер-партії.

Постановка задачі. Основна задача дослідження полягає у проведенні комплексного аналізу правових засад та комерційної структури морського страхування з метою визначення ключових чинників, що впливають на вартість страхових платежів, та обґрунтування шляхів для судновласників та екіпажів щодо оптимізації страхового покриття та мінімізації ризиків.

Результати досліджень. Морське страхування – це договір, за яким страховик бере на себе зобов’язання відшкодувати страхувальнику в обсязі, погодженому сторонами, морські збитки у разі інциденту в межах визначеного страхового покриття. Метою його створення є забезпечення дієвості принципу відшкодування, який є основоположним принципом страхування, та застосування його до численних складних обставин фактичного й правового характеру.

Страхування функціонує для того, щоб уникати або мінімізувати фінансову невизначеність. Воно забезпечує фізичних осіб та організації фінансовим захистом від наслідків подій, які спричиняють грошові втрати чи зобов’язання, що не були передбачені або спрогнозовані, і над якими вони не мали ефективного контролю. В обмін на цей фінансовий захист застрахована особа чи організація сплачує кошти, зазвичай у вигляді страхової премії, іншій особі або компанії – страховику. Для оформлення юридичних відносин між сторонами складається страховий поліс або договір страхування.

Якщо під час рейсу стаються аварії чи інші інциденти, пов'язані з будь-якою зі сторін за будь-яким їхнім страховим полісом або контрактом, капітан судна, найімовірніше, буде залучений до врегулювання цієї ситуації. Від того, чи вживе капітан правильні дії у потрібний момент, часто залежить, чи залишиться проблема незначним інцидентом, який вдалося контролювати, чи вона швидко переросте у морську подію з катастрофічними фінансовими наслідками для судновласника.

У деяких інцидентах може бути залучено кількох страховиків. Наприклад, якщо пошкоджено вантаж, це може стосуватися не лише страховика вантажу, а й Клубу взаємного страхування відповідальності судновласників (P&I Club), а можливо, і клубу страхування відповідальності тайм-чартерного фрахтувальника. У випадку зіткнення можуть бути задіяні всі ці страховики, а також страхувальники корпусу та механізмів (H&M), особисті страховики фізичних осіб тощо.

Капітан несе зобов'язання перед багатьма застрахованими сторонами і, відповідно, перед їхніми страховиками, зокрема у випадках, коли він діє як «агент із необхідності» (Agent of Necessity). Проте його основний роботодавець – судновласник – може опинитися у конфлікті інтересів із цими сторонами. Якщо треті особи зможуть довести порушення контракту чи недбалість з боку судновласника, вони мають право подати позов про відшкодування проти нього.

Капітан та екіпаж судна мають вирішальний вплив на запобігання інцидентам, а також на захист інтересів судновласника завдяки швидким і правильним діям у разі їхнього настання. Тому надзвичайно важливо, щоб капітан добре розумів різні види страхування, пов'язані з комерційною експлуатацією судна, знав, як мінімізувати ризик виникнення аварій, і які оперативні заходи потрібно вжити у випадку, якщо проблеми все ж таки виникли.

Питання суми страхових платежів не є однозначним, адже сума залежить від типу, розміру та віку судна, від району його плавання, а також від низки інших факторів. Однак найбільш вагомим чинником, що впливає на суму страхових платежів судновласника, є його попередня історія претензій. Судновласник із поганим «claims record» сплачуватиме набагато більше за страхування, ніж той, чия історія є сприятливою.

Для прикладу розглянемо бюджети для трьох різних типів суден, що працюють на тайм-чартері. Звичайні витрати на страхування за один день для судна (від загальної суми витрат, до якої також входять управлінські збори, мастильні засоби, ремонти обладнання, забезпечення судна провізією, заробітна плата екіпажу) становлять: для рефрижераторного судна — 20% від загальних витрат на день обслуговування судна; для контейнеровоза — 23% від загальних витрат на день обслуговування судна; для VLCC (надвеликий танкер для сирої нафти) – 45% від загальних витрат на день обслуговування судна [1, с. 6].

Щоб зменшити розмір страхової премії, судновласники зазвичай погоджуються на підвищення франшизи за певні інциденти. Франшиза — це частина будь-якої претензії, яку страхувальник (судновласник) оплачує за рахунок власних коштів, і вона може становити десятки або навіть сотні тисяч доларів.

Серед основних страхових потреб судновласника найпоширенішими є H&M та P&I.

Страхування корпусу та механізмів (Hull & Machinery, H&M) — забезпечує страхове покриття ризиків пошкодження або повної втрати самого судна та обладнання на борту, включно з рушійними і допоміжними механізмами, обладнанням для вантажних операцій та навігаційним обладнанням тощо.

Страхування відповідальності та відшкодування збитків (Protection and Indemnity, P&I) — забезпечує покриття відповідальності судновласника перед різними третіми особами (наприклад, за зіткнення, забруднення, травми екіпажу). Придатність судна до плавання (seaworthiness) відіграє важливу роль у покритті, яке пропонує P&I. Член клубу

може втратити своє P&I покриття, якщо відправить судно в море у непридатному до плавання стані, знаючи про це [2, с. 116].

Додатково судновласники часто можуть мати інші страхові потреби, які значною мірою залежать від типу суден та регіону плавання. До них належать: Freight, Demurrage and Defence (FD&D) — цей вид страхування забезпечує покриття витрат на юридичну підтримку та технічну допомогу для захисту, але безпосередньо не покриває самі ризики. Багато Клубів P&I пропонують FD&D як додатковий клас страхування.

Інші види включають страйкове страхування, яке дозволяє пом'якшити серйозні фінансові збитки від страйків, та страхування від ризиків війни (War Risks). Якщо судно опиняється у зоні військових або інших бойових дій, звичайні H&M та P&I страхування, як правило, призупиняються, і War Risks забезпечує безперервне покриття. Ризики, передбачені клаузулами 1.1, 1.2 та 1.3 Institute War and Strikes Clauses Hulls (IWSC(H)), сформульовані ідентично до ризиків, виключених клаузулою виключення військових ризиків (war exclusion clause) полісів ITCH-95 (Institute Time Clauses) (cl. 24) та VCH-95 (Voyage Clauses) [3, с. 335].

Фрахтувальники також мають свої страхові потреби. Залежно від умов чартер-партії, вони можуть підпадати під вплив багатьох ризиків та зобов'язань, схожих на ті, що має судновласник, особливо це стосується тайм-чартерних фрахтувальників. Фрахтувальник за тайм-чартером може укласти повне P&I страхування та включати пошкодження судна у своє P&I страхування, оскільки для нього судно вважається майном третіх осіб. Якщо судно буде пошкоджене, судновласник може мати законне право вимагати компенсацію від фрахтувальника. Аналогічним чином, хоча це трапляється рідше, фрахтувальник може також мати потребу у FD&D страхуванні, страхуванні від ризиків війни та страйковому страхуванні, але зазвичай не H&M.

Висновки. Морське страхування є фундаментальним інститутом світової торгівлі, що забезпечує фінансову безпеку та стабільність у складних умовах судноплавства на основі принципу відшкодування. Його економічна значущість підтверджується тим, що страхові платежі становлять значну частку операційних витрат (до 45% для деяких суден), а їхній розмір критично залежить від попередньої історії претензій. Система страхового покриття є багаторівневою: вона включає базові поліси H&M і P&I, а також спеціалізовані види, такі як FD&D та страхування від ризиків війни, які забезпечують оптимальну адаптацію захисту інтересів як судновласників, так і фрахтувальників. Вирішальний вплив на запобігання катастрофічним фінансовим наслідкам мають капітан та екіпаж судна, чії оперативні та юридично коректні дії є запорукою успішного врегулювання страхових випадків і, відповідно, до збереження економічної стабільності комерційної діяльності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Philip Anderson. The Mariners Guige to Marine Insurance. The Nautical Institute. 1991. p.94. URL: <https://www.scribd.com/document/617162363/The-Mariner-s-Guide-to-Marine-Insurance-by-Capt-P-Anderso-01-95>
2. Baris, Soyer. Warranties in Marine Insurance. London. 2001. p.438. URL: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781134091355_A28524241/preview-9781134091355_A28524241.pdf
3. Susan Hodges. Law of Marine Insurance. London. 1996. p.647. URL: <https://seatracker.ru/viewtopic.php?t=4108>

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Лебідь Є.М.¹, Лебідь І.Г.¹, Мазуренко О.О.²

¹Національний транспортний університет

(Україна)

²Український державний університет науки і технологій

(Україна)

Вступ. Високий рівень конкуренції на ринку транспортно-експедиторських послуг зумовлює необхідність впровадження сучасних підходів до організації та управління процесами взаємодії із замовниками. Ефективне формування стратегії розвитку підприємства потребує врахування поточних ринкових тенденцій, а також аналізу попиту на відповідний спектр послуг. Особливої уваги потребує організація мультимодальних перевезень, адже експедитору необхідно здійснювати комплексне планування взаємодії між кількома видами транспорту. Це, в свою чергу, передбачає залучення більшої кількості посередницьких організацій, що впливає на тривалість процесів налагодження співпраці, безпосереднього надання послуг та усунення можливих помилок у процесі обслуговування.

Актуальність дослідження. Результативність транспортного процесу визначається рівнем погодженості дій його учасників при взаємодії, а економічна ефективність – оптимальністю обраного маршруту перевезення. Завдяки наявності єдиного координуючого підрозділу в особі фахівця транспортно-експедиторського підприємства, процес перевезення набуває більшої узгодженості, що сприяє скороченню непродуктивних простоїв вантажу та транспортних засобів і, відповідно, зменшенню витрат. Показники ефективності транспортно-експедиторського обслуговування при організації мультимодальних перевезень за участю морського та автомобільного транспорту мають ключове значення для всіх учасників зовнішньоторговельної діяльності. В умовах високої конкуренції особливої актуальності набуває застосування сучасних інформаційних технологій, що дає змогу моделювати виробничі процеси та визначати напрями їх оптимізації.

Постановка задачі. Метою дослідження є підвищення ефективності управління процесом організації мультимодальних перевезень шляхом удосконалення підходів до вибору оптимального маршруту доставки вантажів і визначення необхідної чисельності експедиторів для якісного обслуговування замовників. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати чинники, що впливають на тривалість виконання транспортно-експедиторських послуг; визначити взаємозв'язок між характеристиками маршрутів та показниками ефективності доставки; застосувати для аналізу діяльності транспортно-експедиторського підприємства імітаційне моделювання, що враховує часові параметри надання послуг; оцінити можливість оптимізації управлінських рішень на основі імітаційного моделювання.

Результати дослідження. Під час організації експортно-імпортних операцій застосовуються різні технології доставки, які впливають як на часові параметри зовнішньоторговельної діяльності загалом, так і на ефективність роботи експедитора. Тривалість окремих етапів перевезення залежить від складності виконуваних робіт, ефективності комунікації із залученими контрагентами та наявності економічних бар'єрів. На основі попереднього досвіду організації мультимодальних перевезень експедитор може прогнозувати орієнтовну тривалість виконання робіт, враховуючи можливі затримки, помилки або відмови в обслуговуванні, а також аналізувати ефективність різних маршрутів відповідно до потреб замовника [1].

Застосування імітаційного моделювання дозволяє обґрунтовано визначати оптимальний маршрут мультимодального перевезення з урахуванням тривалості кожного етапу обслуговування, а також розраховувати необхідну кількість експедиторів для забезпечення ефективної роботи відділу. Запропонований підхід ґрунтується на використанні показників ефективності доставки за різними маршрутами з урахуванням специфіки морських портів різних країн та особливостей технології перевезення. Відповідно, результати моделювання дають змогу оцінити ефективність виконання експортно-імпортних операцій, що є важливим як для теоретичних досліджень, так і для практичного удосконалення транспортно-експедиторської діяльності.

Показники ефективності транспортно-експедиторського обслуговування при організації мультимодальних перевезень за участю морського та автомобільного транспорту мають ключове значення для всіх учасників зовнішньоторговельної діяльності. В умовах високої конкуренції особливої актуальності набуває застосування сучасних інформаційних технологій, що дає змогу моделювати виробничі процеси та визначати напрями їх оптимізації.

Одним із перспективних інструментів є розроблення імітаційних моделей функціонування підприємства при взаємодії з клієнтами. Застосування таких моделей у діяльності транспортно-експедиторських підприємств, до структури яких входять відділи мультимодальних перевезень, дозволяє удосконалити процес прийняття управлінських рішень щодо вибору оптимального маршруту транспортування з урахуванням тривалості кожного етапу обслуговування. Водночас існують об'єктивні труднощі, пов'язані з обмеженою доступністю інформації про тривалість окремих операцій у специфічних умовах та при взаємодії з посередницькими структурами, оскільки особливості бізнес-процесів залежать від компетентності фахівців і ресурсних можливостей кожного підприємства.

На основі попереднього досвіду організації мультимодальних перевезень експедитор може прогнозувати орієнтовну тривалість виконання робіт, враховуючи можливі затримки, помилки або відмови в обслуговуванні, а також аналізувати ефективність різних маршрутів відповідно до потреб замовника. Такий підхід дозволяє обґрунтувати вибір оптимального маршруту мультимодального перевезення, враховуючи індивідуальні вимоги клієнта, і забезпечити скорочення тривалості транспортно-експедиторського обслуговування залежно від особливостей маршруту, технології доставки та показників ефективності.

Визначення оптимального маршруту мультимодального перевезення з урахуванням часових параметрів надання послуг впливає також на формування чисельності фахівців відділу мультимодальних перевезень. На практиці ж вибір маршруту часто здійснюється без належного обґрунтування, що знижує ефективність управлінських рішень. Раціональне використання ресурсів можливе лише за умов стабільного попиту на мультимодальні перевезення та при порівнянні альтернативних технологій доставки. Основними перешкодами залишаються дефіцит актуальної інформації про тривалість робіт усіх учасників зовнішньоторговельного процесу та об'єктів інфраструктури [2].

Запропонований підхід до подолання цих труднощів ґрунтується на врахуванні показників ефективності під час організації перевезень із залученням морських портів різних країн і різних технологій доставки. Це дає змогу отримати об'єктивні показники ефективності виконання експортно-імпортних операцій за окремими маршрутами. З наукової точки зору, результати дослідження мають теоретичну цінність для удосконалення системи управління транспортно-експедиторською діяльністю. З практичної – застосування імітаційного моделювання забезпечує можливість вибору оптимального маршруту мультимодального перевезення та визначення необхідної кількості експедиторів для ефективного обслуговування клієнтів. Таким чином, прикладний аспект отриманих результатів полягає в оптимізації управлінських рішень у

процесі надання транспортно-експедиторських послуг та створює передумови для розроблення аналогічних підходів до організації перевезень із використанням різних видів транспорту.

Висновки. Ефективне формування стратегії розвитку транспортно-експедиторських підприємств потребує врахування поточних ринкових тенденцій, а також аналізу попиту на відповідний спектр послуг. Оптимізація маршрутів перевезень дозволяє скоротити тривалість транспортно-експедиторського обслуговування та зменшити витрати підприємства. Імітаційне моделювання є ефективним інструментом для вибору оптимального маршруту і планування чисельності працівників відділу мультимодальних перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Popa, C. (2022). The analysis of freight forwarding services using the business process modelling tools. *Scientific Bulletin of Naval Academy*. <https://doi.org/10.21279/1454-864x-22-i2-011>.
2. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Roi, M., Mykhailenko, I., Yelnikova, L., & Tihov, O. (2024). Construction of a simulation model of the work of a transport and forwarding enterprise in organizing multimodal cargo transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3 (132), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.316568>.

СЕКЦІЯ:
ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ
НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ
SECTION
ISSUES OF ENERGY EFFICIENCY AND RESOURCE CONSERVATION IN
MARITIME TRANSPORT

FLAME SPRAYING PARAMETERS AS A FACTOR IN THE RELIABILITY OF RESTORED SURFACES OF SHIP MACHINERY PARTS

M. Ahieiev¹, H. Prokofiev¹, V. Tinkova²

¹*Kherson State Maritime Academy*

(Ukraine)

²*University of Žilina*

(Slovakia)

Introduction. The increase in the number, size, and speed of ships raises traffic intensity and requires the reliability of all shipboard technical systems. Insufficient reliability leads to accidents, downtime, reduced speed, and additional costs for maintenance and repairs.

Modern surface engineering aims to ensure the strength and durability of working layers of ship components, and in case of wear - to restore geometry while forming coatings with specified operational properties.

The development of thermal spray methods complicates the physicochemical processes of coating formation, creating the need to establish a functional relationship between process parameters and the quality of restored surfaces.

Relevance of research. The formation of GFS (gas — flame spraying) coatings is determined by the non-additive influence of the design features of the equipment, the parameters of the spraying process, and the properties of the coating material [1]. Ensuring the specified characteristics of the restored surface layers of components and the reliability of shipboard technical systems requires precise determination of the technological parameters of the GFS process.

Enhancing the functional properties and service life of restored surface layers of ship components necessitates addressing the scientific challenge of managing the physico-mechanical processes within the sprayed coating layer.

The study of the relationships between GFS process parameters and their effects on porosity, density, and adhesion strength of coatings allows for achieving the required microhardness and wear resistance of the restored surfaces. Establishing general patterns between the parameters of the surface restoration process of transport components enables effective control of the technological process regimes [2].

Therefore, the study of the functional relationships of the GFS process and their influence on the mechanical properties of the “restored surface - coating” system is one of the most important stages in the restoration of ship component parts [3]. It allows for an objective assessment of their mechanical behavior during operation and enables the control of their strength through the adjustment of the composition, structure, properties, and manufacturing technology of the coatings [4].

Problem statement. To determine the influence of functional relationships of physical and mechanical processes of GFS in order to ensure the reliability of ship technical equipment during the repair process.

Research results. As previously noted, the powder materials used in GFS processes can be divided into two main categories: non-fusible powders and self-fluxing (fusible) powders.

An analysis of the operating conditions of rapidly wearing surfaces of marine technical equipment indicates that both classes of powder materials — self-fluxing alloys and those intended for cold spraying — are necessary for their restoration and strengthening.

For the restoration of shaft-type components that operate under alternating and impact loads, abrasive wear, and elevated temperatures, self-fluxing powders such as PG-19M-01 and PG-12N-02 are used, followed by a fusing process. In contrast, for the repair and reinforcement of seating surfaces of marine equipment components that do not experience impact or alternating

loads during operation, non-fused powder materials — PG-19M-01, PG-12N-01, and PN85Yu15 — are applied.

The chemical composition of these metallic powder materials is provided in Table 1 [5].

Table 1 — Chemical composition of metal powder materials

Powder brand	Content of chemical elements, %							
	Cu	Fe	Al	Ni	B	C	Si	Cr
PG-19M-01	basis	4.0	8.5 – 10.5	-	-	-	-	-
PG-12N-01	-	3.0–5.0	-	basis	2.0–4.0	0.4–0.8	3.0–5.0	10–16
PN85Yu15	-	-	13,5	basis	-	-	-	-

The choice of these grades of metal powders is due to the fact that they are the most common and characteristic representatives of materials of each class, namely: self-fluxing materials, intermetallics, copper-based alloys. In addition, these powders have different fluidity values due to the different shape of the particles. The mechanical characteristics and properties of powder materials are given in Table 2 [5].

Table 2 — Mechanical characteristics and properties of selected powder materials

Powder brand	Granulation, μm	Hardness,	Properties of sprayed coatings
PG-19M-01	40–80	65–72	Anti-friction, corrosion-resistant
PG-12N-01	20–40	45–50	The fused layer has high wear resistance and corrosion resistance. Resistant to thermal shock
PN85Yu15	30–60	30–35	Heat-resistant, wear-resistant, anti-friction coating, resistant to thermal cycling, alkali

During the layer-by-layer deposition of coatings, voids inevitably form, particularly at the interfaces between particles. These voids, or pores, have a significant impact on the physical and mechanical properties of the coating; therefore, assessing their amount is essential when selecting optimal application parameters for protective coatings in each specific case.

In addition to porosity, a key characteristic of the coating is its adhesion strength to the substrate metal, which often serves as the primary criterion for evaluating the suitability of spraying methods and materials for the restoration and strengthening of components operating under complex loading conditions. Both porosity and adhesion are influenced by technological parameters of the spraying process - the flow rate and pressure of the working gases, the composition of the gas mixture, the amount of powder fed into the combustion zone per unit time, the spraying distance, and the rotational speed of the component.

The most significant factors affecting coating porosity are the spraying distance, particle size distribution, and the material of the powder used. Fig. 1a shows the dependence of the total porosity of coatings produced using PN85Yu15, PG-19M-01, and PG-12N-02 powders with particle sizes of 50–63 μm .

The maximum density of the coatings is achieved at a distance corresponding to the maximum temperature of the particles and their flight speed.

The higher porosity of coatings made of PN85Yu15 powder is due to the higher melting temperature compared to bronze and self-fluxing alloys.

With increasing coating thickness, the total porosity practically does not change, and a nonlinear decrease in open porosity is observed (Fig. 1b).

Comparison of the type of transition zone near coatings of the Ni-Al, Ni-Cr-B-Si and bronze systems also indicates a higher bond strength in nickel aluminides. Small areas in which

there is no line of division between the coating and the base indicate the course of diffusion processes, the absence of a large number of secondary oxides on the substrate surface.

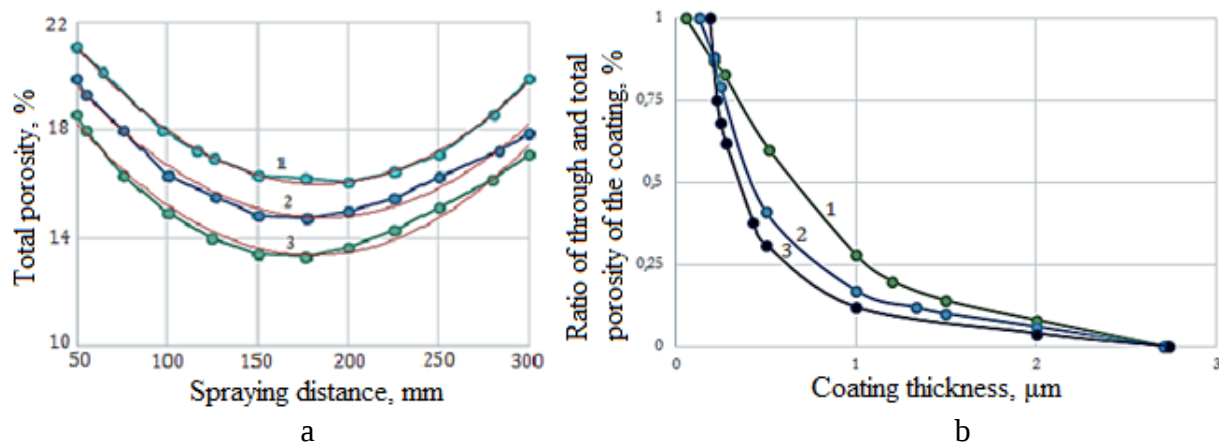


Figure 1 — a — Influence of spraying distance on the total porosity of coatings sprayed with powders: 1 — PN85Yu15; 2 — PG-12N-02; 3 — PG-19M-01 ($\delta = 0.7 \dots 1.0$ mm, $d_0 = 50 \dots 63$ μm); b — Influence of coating thickness on the ratio of through and total porosity of coatings sprayed from a distance of $L = 180$ mm: 1 — PN85YU15; 2 — PG-12N-02; 3 — PG-19M-01 ($\delta = 0.7 \dots 1.0$ mm, $d_0 = 50 \dots 63$ μm)

The results of determining the composition of the powder before and after spraying showed that the loss of aluminum is 10-15 wt.% of the initial one. Most of it (4-7%) is in the form of Al_2O_3 in the coating composition, some part (up to 5%) forms highly dispersed oxides, having a microhardness of 9×10^3 MPa.

The coatings have maximum bond strengths at the spraying distance that provides maximum density (Fig. 2a). It should be noted that a coating made of an exothermic powder, with greater porosity than coatings made of other materials, has a higher bond strength to the substrate.

Tribotechnical tests conducted under conditions of limited lubricant supply showed that after the end of the running-in process, an increase in the specific load from 0.5 to 8 MPa leads to a decrease in the friction coefficient for all tested coatings (Fig. 2b).

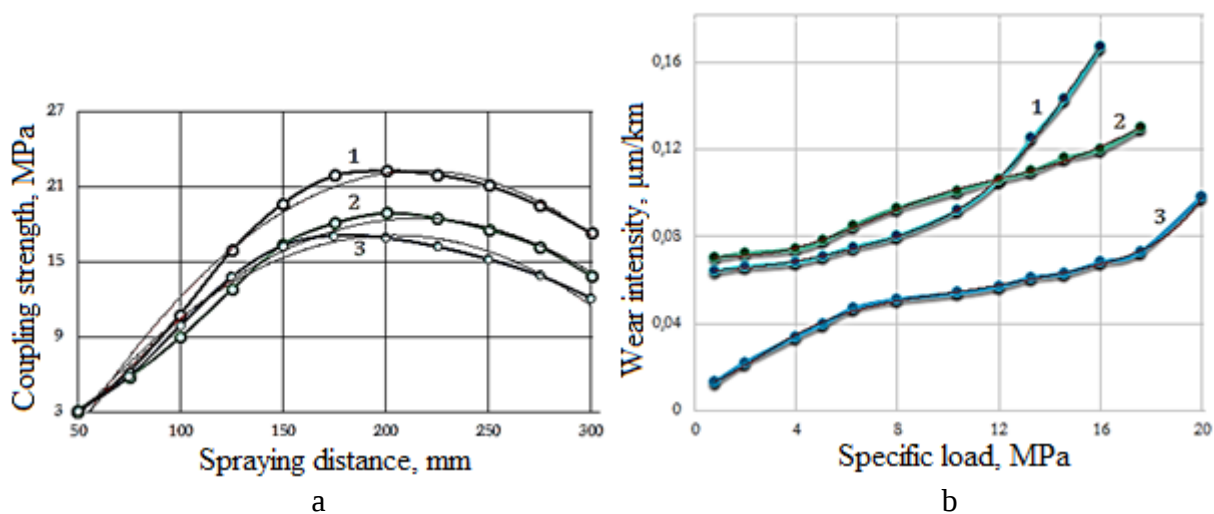


Figure 2 — a — Dependence of adhesion strength to the base on the spraying distance: 1 — PN85YU15; 2 — PG-19M-01; 3 — PG-12N-02 ($\delta = 0.7 \dots 1.0$ mm; $d_0 = 50 \dots 63$ μm); b — Dependence of wear intensity on specific load during friction of coatings sprayed with powders: 1 — PN85Yu15; 2 — PG19M-01; 3 — PG12N-02

Within the range of values $P = 7\text{--}15$ MPa, the process of normal mechanochemical wear occurs, when an increase in pressure does not lead to a significant change in the friction coefficient.

With increasing specific load values above 16 MPa, the friction coefficient and wear intensity (Fig. 2b) increase sharply.

Based on these data and the results of the study of the dependence of the limiting pressure before setting on the sliding speed, we can recommend the use of powder materials for the restoration of parts of sliding friction units.

Conclusions. A study of the influence of the spraying distance on the porosity and adhesion strength of coatings to the base showed that the optimal spraying distance is a distance of 150 - 180 mm, and the high porosity of coatings from PN85Yu15 powder is due to a higher melting point compared to bronze and self-fluxing alloys. With an increase in the thickness of the coating, the total porosity practically does not change, and a nonlinear decrease in open porosity is observed. A comparison of the type of transition zone near the coatings of the Ni-Al, Ni-Cr-B-Si and bronze systems also indicates a higher adhesion strength of nickel aluminides. Tribotechnical tests conducted under conditions of limited lubricant supply showed that after the end of the running-in process, an increase in the specific load from 0.5 to 8 MPa leads to a decrease in the friction coefficient for all coatings. Within the range of values $P = 7\text{--}15$ MPa, the process of normal mechanical and chemical wear occurs, when an increase in pressure does not lead to a significant change in the friction coefficient.

REFERENCES

1. Ahieiev M.S., Manzheley V.S., Dzygar A.K. Application of protective coatings to increase wear resistance and resource during repair of ship marine internal combustion engines shafts. Modern power plants on transport and technologies and equipment for their maintenance. 11- th International Scientific and Practical Conference, September 8–10, 2020 - Kherson: Kherson State Maritime Academy. pp.236 – 239.
2. Crawmer D.E. Coating structures, properties, and materials. In: Davis J.R., Thermal Spray Technologies Inc (eds) Handbook of thermal spray technology. ASM International, Materials Park. 2013. pp. 60 – 64. DOI: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v05a.a0005755>
3. Ahieiev M.S., Ustintsev S.M. Peculiarities of the formation of gas-thermal coatings in the case of restoration of the working surfaces of parts of ship's technical equipment Scientific journal «Transport Development» 2023, No. 3(18), P.76-84. DOI <https://doi.org/10.33082/td.2023.3-18.06>.
4. Mateichyk, V. Ahieiev, M., Mościszewski, J., Ustincev, S., Volodarets, M., Kovbasenko, S. The use of additive technologies for the restoration and strengthening of parts of transport means. TRANSCOM 2023: 15th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport. Transportation Research Procedia 74, 2023 P. 592–599.
5. <https://metallspav.com.ua/ua/g9432901-kompozitsionnye-naplavochnye-materialy>

НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ CARBON INTENSITY INDICATOR (CII): ПЕРЕВІРКА ВІДПОВІДНОСТІ SEEMP PART III

Акімов О.В., Нагрибельний Я.А.

Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Реалізація глобальних заходів декарбонізації морського транспорту змушує судноплавні компанії і операторів флоту впроваджувати нові інструменти оцінки та управління викидами. Одним із таких інструментів є CII — показник викидів CO₂ судном на тонну вантажу морську миллю, введений ІМО як частина стратегії скорочення парникових газів з 1 січня 2023 року [1]. SEEMP Part III — є процедурною складовою, яка інтегрує вимоги CII в роботу судна: збір даних, планування заходів, перевірка результатів [2].

На сьогодні є важливим науковий підхід до визначення CII/SEEMP Part III, який має охоплювати: методику розрахунку, моделювання даних, прогнозування, верифікацію, аналіз впливу операційних чи технічних факторів, надання практичних рекомендацій для операторів флоту.

Методика та моделювання. Формула CII базується на фактичних викидах CO₂ судна, вантажній роботі та відстані. Судно має звітувати про «attained annual operational CII» і порівнювати її з «required annual operational CII». CII-attained розраховується як [1; 16]:

$$CII_{attained} = \left(\sum_j FC_j \times CF_j \right) / (C \times D_t),$$

де FC_j — маса спаленого палива типу j за рік (г); CF_j — коефіцієнт викиду CO₂, C — вантажопідйомність (наприклад DWT), D_t — пройдена морська відстань (мор.миль).

Ця формула є базовою, але наукові дослідження додають: коригування на умови навігації, метеорологічні умови, стан судна, режими роботи, що дозволяє моделювати CII з більшою точністю. Наукові дослідження застосовують моделі машинного навчання для прогнозування CII, наприклад, робота з AIS-даними, даними від сенсорів, метео/морськими параметрами [12]; використання ANN, SVR, XGBoost для побудови моделей, які враховують такі ознаки як період хвиль, температура води, пройдену відстань [12]; підходи до верифікації даних: аудит журналів, автоматичний збір, звіти [3].

Прогнозування та аналіз. Наукові публікації показують, що точне прогнозування CII дозволяє судновласникам планувати операційні заходи та уникати невігідного рейтингу [12]. Підхід: збір багатовимірних даних + моделі машинного навчання = підвищення точності прогнозу CII. Наприклад, залежність між температурою води та CII показує кореляцію [12].

Верифікація та контроль. Верифікація CII є обов'язковою: звіти мають бути перевірені під прапором чи уповноваженою організацією [3]. Науковий підхід передбачає: незалежний аудит, застосування цифрових платформ, перевірка коректності вхідних даних (наприклад, дані про паливо, рух, вантажі). В дослідженнях підкреслюється важливість правильності сенсорних даних і наявності систем збору даних як бази для верифікації [14].

Операційні та технічні фактори впливу. Наукові роботи вказують, що такі фактори як простой в портах, очікування, погодні/морські умови суттєво впливають на показник CII [5]. Технічні фактори: стан корпусу, ефективність двигуна, використання альтернативних палив – всі вони мають прямий вплив на CII. Операційні: оптимізація маршрутів, контроль швидкості, мінімізація порожніх рейсів – науково доведено, що вони знижують викиди [14].

Операційні фактори. Дослідження показує, що оптимізація маршруту (weather routing, current routing) може зменшити викиди до $\sim 7,3\%$ і покращити рейтинг СІІ на $5\ldots 6\%$ (наприклад В $\rightarrow$ А) для групи балкерів [6]. Використання режиму «slow steaming» (зниження швидкості) у короткострокових перевезеннях дозволило зменшити викиди CO_2 на $31,5\ldots 50,1\%$ залежно від навантаження двигуна [7]. Частота портових зупинок, простої, маневрування — також мають значний вплив (дослідження Yeosu Gwangyang Port Authority) — мультифакторний аналіз показав, що ключовими впливами є: викиди CO_2 , норматив EEXI, вік судна, кількість заходів у порти [4].

Технічні фактори. Стан корпусу: дослідження із застосуванням «smart marine coatings» показують, що покращене покриття корпусу дає до $5,0\%$ приросту швидкості або аналогічне зниження витрат палива $\rightarrow$ впливає на СІІ [8]. Альтернативні палива/технології уловлювання CO_2 (carbon capture on-board) вже впроваджуються як засіб впливу на СІІ [9].

Регуляторні / ринкові фактори. Перші дані рейтингу СІІ: 78% суден повідомили рейтинг С або краще, проте значна частка суден має рейтинг D/E [10]. Дослідження сертифікації: оцінка взаємозв'язку між рейтингом СІІ і цінами вторинного ринку показала, що судна з рейтингом D/E оцінюються нижче [11].

Наукові підходи, рекомендовані для інтеграції. Data-driven моделювання: У дослідженні Zhang et al. (2023) використано 21 ознаку (AIS, сенсорні дані, метео/морські дані) для побудови моделей прогнозування СІІ з використанням ANN, SVR, XGBoost, Random Forest. Найкращою виявилась модель ANN з середньою абсолютною помилкою $\sim 0,0336$ [12]. Інше дослідження DLR/University of Duisburg-Essen (2024) показали, що DNN дозволяє прогнозувати СІІ з відхиленням менше 6% за умови обмеженого набору параметрів (швидкість, осадка, вітер) — що є корисним для попередньої оцінки рейтингу судна [13]. Ці підходи демонструють, що наукова методика виходить за межі простої формули: *використовуються великі обсяги даних + машинне навчання $\rightarrow$ оперативне прогнозування СІІ*. **Прогнозування з ML/AI:** використання ANN, RF, XGBoost надає більшу точність. **Підхід життєвого циклу палива (LCA):** врахування upstream + downstream викидів, для точнішої оцінки ефективності судна [15]. **Верифікаційна аналітика:** аналіз відхилень, навчання алгоритмів виявлення фальсифікацій, забезпечення якості даних.

Роль SEEMP Part III у підтвердженні та управлінні. SEEMP Part III стає живим документом: він містить план заходів, моніторинг, самоперевірку, оновлення. Наукові підходи підкреслюють важливість інтеграції прогнозування СІІ, аналізу факторів, оптимізації заходів $\rightarrow$ у SEEMP Part III має бути чіткий ланцюжок: *збір даних $\rightarrow$ прогноз $\rightarrow$ заходи $\rightarrow$ контроль*. Додатково: верифікація даних (audit logs, сенсори, AI-аналіз) забезпечує надійність звітності.

Виклики та наукові пробіли. Недостатня кількість відкритих даних з декарбонізації суден і моделювання СІІ для різних типів суден (наприклад, пасажирські, Ro-Ro) — викликають потребу у подальших дослідженнях. Старі судна та legacy-системи: багато суден не мають належного моніторингу палива чи сенсорів, що значно впливає на якість розрахунку СІІ. Лімітованість чинної формули: СІІ наразі враховує tank-to-wake, але не always full well-to-wake або життєвий цикл палива [15, 16]. Верифікація: алгоритми машинного навчання потребують великих масивів даних для тренування, що може бути бар'єром для операторів з обмеженими ресурсами.

Практичне значення для судноплавних компаній. Інтеграція моделі прогнозування СІІ дозволяє планувати ремонт/модернізацію, оптимізацію операцій. Використання наукових методів знижує ризик отримання рейтингу D/E, допомагає формувати план коригувальних дій у SEEMP Part III. Верифікація та аналітика даних підвищують довіру до звітів, що може бути конкурентною перевагою.

Висновки. Проведений науковий аналіз демонструє, що успішна реалізація CII та SEEMP Part III потребує комплексного підходу: поєднання цифрових рішень, операційної оптимізації й технічної модернізації. Судноплавні компанії, які інтегрують ці підходи, можуть не лише досягти нормативної відповідності, але й отримати стратегічну перевагу: зниження витрат, підвищення екологічного іміджу, продовження строку служби суден. Наукові дослідження підтверджують — керованість і прогнозованість CII рейтингу стає можливим завдяки аналітиці та моделюванню.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Maritime Organization. EEXI and CII — FAQs. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/eexi-cii-faq.aspx>
2. ClassNK. CII and SEEMP Part III Guidelines. URL: https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/seemp/CII_en.pdf
3. Lloyd's Register. Carbon Intensity Indicator (CII) — MARPOL Compliance. URL: <https://www.lr.org/en/services/statutory-compliance/marpol-international-convention-for-the-prevention-of-pollution/carbon-intensity-indicator/>
4. Yeosu Gwangyang Port Authority. Investigation of Factors Influencing Carbon Intensity Indicator (CII) Rating. 2024. URL: <https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/Investigation-of-Factors-Influencing-Carbon-Intensity-Indicator-CII-RatingYeosuGwangyang-Port-Authority.pdf>
5. Intercargo. Media Release – Intercargo proposals call on Carbon Intensity Indicator (CII). 2024. URL: <https://www.intercargo.org/media-release-intercargo-proposals-call-on-carbon-intensity-indicator-mepc-82/>
6. Maritime Cyprus. Research finds that voyage optimization can reduce emissions by 7.3 %. 2023. URL: <https://maritimecyprus.com/2023/02/15/research-finds-that-voyage-optimization-can-reduce-emissions-by-7-3-and-extend-cii-compliance-by-up-to-3-years/>
7. Hrcak. The impact of slow steaming on CO₂ emissions. 2023. URL: <https://hrcak.srce.hr/en/293990>
8. PCI Magazine. The role of smart marine coatings in meeting CII requirements. 2024. URL: <https://www.pcimag.com/articles/110944-the-role-of-smart-marine-coatings-in-meeting-cii-requirements>
9. Maritime Executive. Carbon Capture Validated for In-Service Ships to Meet CII Regulations. 2024. URL: <https://maritime-executive.com/article/carbon-capture-validated-for-in-service-ships-to-meet-cii-regulations>
10. Infineum Insight. CII ratings announced. 2024. URL: <https://www.infineuminsight.com/en-gb/articles/cii-ratings-announced/>
11. SpringerLink. Impact of CII Rating on Second-Hand Ship Prices. *Journal of Shipping and Trade*, 2025. URL: <https://link.springer.com/article/10.1057/s41278-025-00316-5>
12. Zhang, X. et al. Prediction of CII Using Machine Learning Models. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, 11(12), 2249. DOI: <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/12/2249>
13. DLR / University of Duisburg-Essen. Deep Neural Network Modelling of CII Prediction. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2024, 12(11), 2048. DOI: <https://www.mdpi.com/2077-1312/12/11/2048>
14. Sustainability. Verification of CII Data Integrity for Marine Operations. *Sustainability*, 2023, 15(14), 11387. DOI: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/11387>
15. arXiv. Life Cycle Assessment (LCA) of Marine Fuels for CII Analysis. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2502.07201>
16. Journal of Risk and Financial Management. Integrating CII and Financial Valuation Models. 2025, 18(7), 391. DOI: <https://www.mdpi.com/1911-8074/18/7/391>

ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Алексенко В.Л., Сапронов О.О., Фостик П.П., Гордієнко Ю.В., Шульга В.В.

Херсонська державна морська академія

(Україна)

Вступ. Судноплавство генерує 3,3 % глобальних викидів CO₂; стратегія ІМО передбачає їх скорочення на 50 % до 2050 р. Відновлювані джерела енергії, далі ВДЕ (сонячна, вітрова, водень) забезпечують лише 5–10 % потужності допоміжних систем суден через інтермітентність. Біомаса у формі синтез-газу дозволяє досягти стабільної роботи енергетичних установок. Історичний досвід газогенераторних автотранспортних засобів [1] та суден (1940-і рр.), а також сучасні проекти на пелетах [2, 3] демонструють скорочення викидів CO₂ до 22 %.

Мета роботи — оцінка біоенергетичного потенціалу України та розробка суднової газоелектричної установки для річкового та прибережного судноплавства.

1. Біоенергетичні ресурси України

1.1. Національний потенціал [4–7]. Загальний обсяг — 23 млн т н.е./рік (2023–2025 рр.) з ростом до 25,4 млн т н.е. до 2050 р. (табл. 1). Домінуючі фракції: тверда біомаса — 44 %; енергетичні культури — 32 %; біогаз — 8,16 млн т н.е./рік (25 % – транспорт).

Таблиця 1 — Потенціал біоенергетичних ресурсів України

Тип біопалива	2023 р., млн т н.е./рік	2050 р., млн т н.е./рік	Основні джерела
Біоетанол	0,59	0,278 (попит)	зерно, відходи
Біодизель	0,31	0,431 (попит)	ріпак, соняшник
Біогаз/біометан	8,16	4,7	відходи тваринництва, солома
Тверда біомаса	10	7,5	солома, деревні відходи

З 2025 р. вводиться обов'язкове 5 %-ве змішування біопалива в бензині; попит на рідкі види до 2031 р. становитиме 125–278 тис. т (біоетанол) та 196–431 тис. т (біодизель).

1.2. Херсонська область та дельта Дніпра [8–10]. Регіон займає 6 % сільськогосподарських угідь України. Ключові ресурси: солома зернових — до 270 тис. т/рік; очерет — 20 т/га; біогаз — 0,5–1 млн м³/рік. Руйнування Каховської ГЕС (2023 р.) призвело до зниження врожайності на 20–30 % та порушення логістики. Перспективи: виробництво пелет і синтез-газу з місцевих відходів, пілотні біогазові установки, експорт до ЄС.

2. Газогенераторні енергетичні установки

2.1. Традиційні рішення [1, 2]. Схема: біомаса → газифікатор → синтез-газ → поршневий ДВЗ → генератор. Переваги: використання локальної сировини, утилізація золи як добрива, комбіноване виробництво тепла та електроенергії. Недоліки: ККД 20–25 %, низька маневреність, питома потужність 0,2–2 кВт/кг, необхідність глибокого очищення газу.

2.2. Проєкт BIOSHIP [3] (Японія). Onboard-газифікатор → газовий ДВЗ (5–20 МВт) → електрогенератор → електродвигун гребного гвинта. Досягнення: повна робота на біомасі, двопаливний режим, ресурс 50–100 тис. год. Обмеження: очищення газу >99 %, збільшення об'єму машинного відділення на 10–15 %.

3. Запропонована суднова газоелектрична установка

3.1. Структура та режим роботи

1. Газогенератори – режим середнього навантаження.

2. Система очищення та охолодження газу.

3. Газові ДВЗ з електрогенераторами.

4. Маховичні накопичувачі енергії: надлишок електроенергії → розкрутка маховиків; пікові навантаження → повернення енергії через генераторний режим.

3.2. Техніко-економічні переваги: зниження встановленої потужності агрегатів до середньодобового рівня; зростання загального ККД; миттєва реакція на пікові навантаження; збільшення моторесурсу, зниження вібрації та шуму; гіроскопічний ефект для демпфування хитами; можливість використання судна як плавучої електростанції в міжнавігаційний період.

Висновки. Запропонована установка забезпечує стабільну роботу на біомасі при змінних навантаженнях завдяки інтеграції маховичних накопичувачів. Біоресурси Херсонської області (солома, очерет та ін.) формують сировинну базу для річкових газоелектроходів. **Подальші дії:**

1. Пілотний проєкт маломірного газогенераторного судна для дельти Дніпра.

2. Включення технології до національної стратегії декарбонізації до 2050 р.

3. Розвиток зеленого річкового судноплавства та локального туризму на базі ВДЕ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cars That Run on Firewood (автомобілі, що працюють на дровах.). URL: <https://www.amusingplanet.com/2022/02/wood-gas-vehicles-cars-that-run-on.html>

(дата звернення: 08.10.2025).

2. Газогенераторна електростанція на біомасі 5 кВт. URL: <https://windkraft.com.ua/product/gazogeneratornaja-elektrostancija-na-biomasse-5-kvt/>

(дата звернення: 08.10.2025).

3. BIOSHIP (biomass-fueled ship — судно на біомасі) URL: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=BIOSHIP+%28biomass-fueled+ship%29>

4. Біоенергетика — Відновлювані джерела енергії України. URL: <https://www.renewables4ukraine.org/bio/> (дата звернення: 08.10.2025).

5. Перетворення сільського господарства на енергетику: розкриття біоенергетичного потенціалу України для стійкого відновлення після конфлікту. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/5/1212> (дата звернення: 08.10.2025).

6. Розкриття потенціалу: ключові фактори, що формують ринок рідкого біопалива в Україні. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11617215/>

(дата звернення: 08.10.2025).

7. Ринок біопалива: потенціал. URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-06/UNECE_RES_Bio_Report_UA_Final.pdf (дата звернення: 08.10.2025).

8. Екологічні наслідки вибуху Каховської гідроелектростанції для біорізноманіття Дніпра. URL:

https://www.researchgate.net/publication/377060148_Environmental_Consequences_of_the_Explosion_of_the_Kahovsky_Hydroelectric_Plant_on_Biodiversity (дата звернення: 08.10.2025).

9. Токсична спадщина Каховського водосховища. URL: <https://uwecworkgroup.info/the-toxic-legacy-of-the-kakhovka-reservoir/> (дата звернення: 08.10.2025).

10. Поки що рано говорити про те, якими будуть довгострокові наслідки катастрофи на Каховській ГЕС для природи та економіки. URL: <https://meduza.io/feature/2023/06/08/da-poka-rano-govorit-o-tom-kakimi-budut-dolgosrochnye-posledstviya-katastrofy-na-kahovskoy-ges-dlya-prirody-i-ekonomiki-no-pervye-otsenki-uzhe-est> (дата звернення: 08.10.2025).

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ СУДНА

Бенедюк В.В.

*Інститут Військово-Морських Сил національного університету
«Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Ефективність експлуатації морського судна безпосередньо визначається його технічною готовністю, яка відображає спроможність енергетичної установки, допоміжних механізмів та систем забезпечення виконувати призначені функції в заданих умовах. В умовах інтенсифікації судноплавства, зростання навантажень на енергетичні комплекси та переходу до цифрового моніторингу стану обладнання, питання збереження високого рівня технічної готовності набуває особливої актуальності.

Сучасні методи оцінювання технічного стану базуються переважно на регламентних перевірках і статистиці відмов, що не завжди дозволяє своєчасно виявляти приховані дефекти та прогнозувати деградаційні процеси. Відсутність єдиної уніфікованої методики, яка б поєднувала результати натурних вимірювань, експертні оцінки та аналітичні моделі надійності (типу *Вейбулла*, *Маркова*, *FMEA*), ускладнює формування об'єктивного показника готовності судна в реальному часі.

Додатковим чинником проблеми є підвищення вимог до екологічної безпеки та енергоефективності, що вимагає модернізації обладнання без зниження експлуатаційної надійності. Це зумовлює необхідність створення комплексної системи технічного моніторингу, здатної оцінювати технічну готовність судна не лише за наявністю відмов, а й за тенденціями зміни технічних параметрів, ресурсних характеристик і ефективності роботи механізмів. Таким чином, актуальною науково-технічною задачею є розроблення методології кількісного оцінювання технічної готовності судна, що ґрунтується на поєднанні діагностичних даних, методів теорії надійності та сучасних інформаційно-аналітичних технологій для забезпечення безперервного контролю стану основних і допоміжних систем у процесі експлуатації.

Актуальність дослідження: Актуальністю дослідження є розроблення комплексного підходу до кількісного оцінювання технічної готовності судна та його механізмів на основі поєднання аналітичних методів теорії надійності, експертних оцінок і результатів технічної діагностики, що забезпечить підвищення ефективності експлуатації та зниження ймовірності відмов у реальних умовах мореплавства.

Постановка задачі: Оцінювання технічної готовності судна базується на системному підході, який враховує взаємодію всіх елементів енергетичної установки, допоміжних механізмів і систем життє забезпечення.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання наступних основних завдань:

1. Проаналізувати сучасні методи оцінювання технічної готовності суден та визначити їхні переваги й обмеження.
2. Визначити перелік критичних елементів головного та допоміжного обладнання, що найбільше впливають на загальний рівень готовності.
3. Удосконалити математичні моделі надійності ключових систем суднового двигуна на основі статистичних даних і результатів експлуатаційних спостережень.
4. Розробити адаптовану FMEA-матрицю для аналізу наслідків імовірних відмов основних механізмів.
5. Застосувати методи експертних оцінок (Кендалла W, Кохрена) для перевірки узгодженості думок фахівців щодо впливу окремих факторів на технічну готовність.
6. Обґрунтувати інтегральний показник технічної готовності, який поєднує результати математичного моделювання, експертних оцінок і даних технічного моніторингу.
7. Провести апробацію запропонованої методики на прикладі суднового дизельного

двигуна типу *Wärtsilä 8R22* та допоміжних систем, оцінити ефективність запропонованого підходу.



Рисунок 1 — Загальна логіка дослідження передбачає наступну послідовність кроків

Базовим інформативним параметром для оцінки безвідмовної роботи є показник *Failure Running Hours (FRH)* — тривалість роботи механізму або системи від моменту введення в експлуатацію чи останнього ремонту до появи відмови.

$$FRH_i = t_{i, \text{відм}} - t_{i, \text{пуск}} \quad (1)$$

де $t_{i, \text{відм}}$ — час настання i -ї відмови, $t_{i, \text{пуск}}$ — час останнього пуску або завершення попереднього ремонту. Зібрані значення FRH використовуються для побудови розподілу часу безвідмовної роботи $R(t)$ та визначення середнього часу до відмови ($MTBF$):

$$MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n FRH_i \quad (2)$$

Отримані параметри дозволяють оцінити інтенсивність відмов:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (3)$$

та розрахувати коефіцієнт технічної готовності:

$$K_{\text{тг}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4)$$

де $MTTR$ — середній час відновлення.

Показник FRH дає змогу кількісно визначати реальний стан судових систем, порівнювати їхню експлуатаційну стабільність і прогнозувати періоди зниження надійності.

Для аналізу закономірностей деградації застосовано розподіл Вейбулла, який добре описує зміну інтенсивності відмов у процесі старіння механізмів:

$$R(t) = e^{-(t/\lambda)^\beta} \quad (5)$$

де λ — параметр масштабу (характерний ресурс), β — параметр форми, який характеризує тип відмов: $\beta < 1$ — випадкові відмови; $\beta = 1$ — стаціонарна інтенсивність; $\beta > 1$ — знос або старіння.

На другому етапі виконано аналіз *FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)* для основних підсистем головного двигуна та допоміжних механізмів. Для кожного елемента

визначено: *Severity (S)* — серйозність наслідків, *Occurrence (O)* — імовірність появи відмови (визначається за *FRH*), *Detection (D)* — ймовірність своєчасного виявлення. Індекс ризику:

$$RPN = S \times O \times D. \quad (6)$$

Використання *FRH* як критерію для показника *O* дозволяє пов'язати статистичну інформацію з експертною оцінкою ризику. Для прикладу, елементи з *FRH* < 2 000 год отримують найвищий рівень *O*, що сигналізує про підвищений ризик.

Критичні підсистеми (паливна апаратура, турбокомпресори, теплообмінники, підшипники вала) мали максимальні значення *RPN*, тому саме вони визначаються як першочергові об'єкти контролю й модернізації.

Для забезпечення об'єктивності результатів використано метод Кендалла (*W*) для перевірки узгодженості думок експертів:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)} \quad (7)$$

де *S* — сума квадратів відхилень середніх рангів, *m* — кількість експертів, *n* — кількість оцінюваних критеріїв. Рівень узгодженості вважається достатнім при *W* > 0,7. Для контролю варіативності використано критерій Кохрена, який перевіряє дисперсію думок експертів щодо факторів впливу (вібрація, тиск, температура, якість мастила, чистота палива тощо). Результати показали, що узгодженість оцінок перевищує 0,8, що свідчить про високу достовірність визначених вагових коефіцієнтів для подальших розрахунків.

Інтегральний коефіцієнт технічної готовності визначено як зважену суму надійностей окремих систем:

$$K_{\text{інт}} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot R_i(t) \quad (8)$$

де *w_i* — вагомість *i*-тої підсистеми, *R_i(t)* — функція безвідмовності, побудована на основі *FRH*.

Отримана модель дозволяє враховувати взаємний вплив систем — головного двигуна, дизель-генераторів, кермового пристрою, систем охолодження та змащування. Динаміка *K_{інт}(t)* вказує на періоди стабільної роботи, початок деградації та критичні інтервали, коли необхідне втручання персоналу.

Результати дослідження. Методика була перевірена на прикладі експлуатації головного двигуна *Wärtsilä 8R22*.

Після аналізу понад 25 000 годин напрацювання встановлено такі закономірності:

- середнє значення *FRH* = 4,600 год;
- параметри розподілу Вейбулла: $\lambda = 18,400$, $\beta = 1,82$;
- імовірність безвідмовної роботи після 15 000 год — близько 0,73;
- інтегральний коефіцієнт готовності $K_{\text{гт}} \approx 0,94$.

Ці результати підтверджують адекватність моделі та її практичну цінність для оцінки реального технічного стану суднових енергетичних установок. Розроблена методика забезпечує:

- можливість безперервного контролю технічної готовності в режимі експлуатації;
- виявлення критичних елементів суднових систем із найменшими *FRH*;
- обґрунтований розподіл ресурсів і ремонтних пріоритетів;
- зменшення ймовірності аварійних простоїв за рахунок прогнозування деградаційних процесів;
- підвищення коефіцієнта готовності судна до рівня, що відповідає вимогам класифікаційних товариств (*DNV, BV, LR, PMPC*).

Висновки. Проведений аналіз підтвердив, що технічна готовність судна є інтегральним показником ефективності його енергетичної установки, допоміжних систем і механізмів, а її підтримання на високому рівні потребує поєднання методів теорії

надійності, експертного аналізу та сучасних засобів технічної діагностики. Запропонована методика оцінювання готовності базується на поєднанні статистичних моделей відмов (Вейбулла, експоненційного розподілу), аналізу ризиків за FMEA-підходом і перевірки узгодженості експертних суджень за коефіцієнтами Кендалла та Кохрена. Така комбінація дозволяє врахувати як об'єктивні дані експлуатації, так і професійний досвід фахівців. Побудована інтегральна модель технічної готовності, що враховує вагомість окремих систем суднової енергетичної установки, дає можливість відстежувати зміну рівня готовності в реальному часі та своєчасно виявляти періоди деградації. Апробація методики на прикладі двигуна *Wärtsilä 8R22* підтвердила її практичну ефективність: розрахований коефіцієнт готовності $K_{\text{гг}} \approx 0,94$ свідчить про високий рівень експлуатаційної надійності за умови своєчасного обслуговування. Результати дослідження можуть бути використані під час розроблення систем прогностичного технічного обслуговування, формування графіків ТО, а також при сертифікації технічного стану суден за вимогами класифікаційних товариств. Отримана модель створює підґрунтя для цифровізації процесу контролю технічної готовності суден, зокрема для побудови бортових інформаційно-аналітичних систем підтримки рішень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Islam R., Karatuğ Ç., Arslanoğlu Y. A Reliability Assessment of a Vessel's Main Propulsion Engine. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2025, 13(7): 1278. DOI: 10.3390/jmse13071278.
2. Budimir D., Castresana J., Kepić J. Weibull Analysis, Markov Chains, and DEA Model for Optimization of Marine Engine Maintenance. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2025, 13(2): 240. DOI: 10.3390/jmse13020240.
3. Daya A. A., Alharbi S., Alqahtani A. Developing an Advanced Reliability Analysis Framework for Marine Systems Operations. *Ocean Engineering*, 2023, 280: 115017. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.115017.
4. Gharib H., Kovács G. Reliability Analysis of Marine Diesel Engines vs. Industrial Diesel Engines: A Comparative Approach. *Acta Logistica*, 2024, 11(2): 325–337. DOI: 10.22306/al.v11i2.467.
5. Marine Auxiliary Engine System Reliability Assessment by FTA. *International Journal of Engineering and Modern Technology*, 2024, 10(7): 160–174. URL: <https://iiardjournals.org/get/IJEMT/VOL.%2010%20NO.%207%202024/Marine%20Auxiliary%20Engine%20160-174.pdf>.
6. Youssef A., Noura H., Karim M. A Survey on Data-Driven Fault Diagnostic Techniques for Marine Diesel Engines. *arXiv preprint*, 2024, arXiv: 2404.10363. URL: <https://arxiv.org/abs/2404.10363>
7. Tripathi A., Patel R., Singh R. RCM-Based Optimization of Maintenance Strategies for Marine Diesel Engines. *Marine Engineering and Technology Journal*, 2024, 18(3): 145–158.
8. Tavakoli S., Woo H., Park M. H. Exploring the Technical Feasibility of Carbon Capture on Ships. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 425: 140678. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.140678.
9. Pehlivan E. F., Ergen G. Exergy Analysis and Performance Assessment of a Two-Stroke Marine Diesel Engine. *Fuel*, 2024, 354: 129762. DOI: 10.1016/j.fuel.2024.129762.
10. Zub I. V. Coefficient of Technical Readiness as an Indicator of Operational Reliability of Lifting Equipment. *E3S Web of Conferences*, 2021, 280: 07013. DOI: 10.1051/e3sconf/202128007013.
11. Lloyd's Register. *Ship Right Procedures for Machinery Reliability and Maintenance*. London: LR Group, 2024. 136 p.
12. Мороз О. В., Гринь В. П. Математичне моделювання надійності енергетичних установок суден. *Суднові енергетичні установки*, 2022, вип. 41: 34–42.

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТИФІКОВАНОЇ ЕПОКСИДНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Букетов А.В.¹, Стрельченко В.Ю.¹, Юренін К.Ю.¹, Голотенко С.М.²

¹Херсонська державна морська академія
(Україна)

²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(Україна)

Полімерні покриття, особливо на епоксидній основі, застосовують у різних галузях промисловості, у тому числі і у транспорті, для захисту металевих деталей від корозії, що суттєво збільшує їх довговічність [1]. При цьому захисні покриття повинні у комплексі відзначатися підвищеними показниками фізико-механічних властивостей.

Як основний компонент для матриці при формуванні епоксидних КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20. Як пластифікатор використано 4.4'-метиленбіс(2-метоксианілін) (МБМА). Пластифікатор вводили у зв'язувач за вмісту від 0,1 до 2,0 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА, що дозволяє затверджувати матеріали при звичайних і підвищених температурах

Експериментально доведено, що для формування матеріалів з поліпшеними когезійними властивостями необхідно використовувати композицію наступного складу: епоксидний олігомер марки ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.), твердник поліетиленполіамін ПЕПА ($q = 10$ мас.ч.), пластифікатор 4.4'-метиленбіс(2-метоксианілін) ($q = 0,25$ мас.ч.). Формування такого матеріалу забезпечує порівняно з вихідною модифікованою ультразвуком епоксидною матрицею підвищення наступних показників фізико-механічних властивостей: модуля пружності при згинанні – від 2,8 ГПа до 3,2 ГПа; руйнівних напружень при згинанні – від 48 МПа до 54,4 МПа; ударної в'язкості – від 7,4 кДж/м² до 9 кДж/м².

Методом оптичної мікроскопії доведено, що поверхня зламу вихідної матриці має неоднорідний характер. Фронт поширення тріщин зміщується під час ударних навантажень, що свідчить про існування напруженого стану у матеріалі. Аналіз світлини зламу КМ з пластифікатором у кількості 0,25 мас.ч., свідчить про те, що траєкторія поширення тріщини під час удару має зигзагоподібний характер. Можна стверджувати про формування матеріалу з високими залишковими напруженнями з одного боку, а також про підвищені когезійні властивості з іншого боку. Стосовно зразків з композитів, наповнених модифікатором у кількості 0,5 мас.ч. і 1 мас.ч. слід зазначити, що траєкторія поширення тріщин є прямою, однак область руйнування матеріалів на кінцевому етапі є дещо зміщеною від точки удару. Це є свідченням наявності у композитах сітки з достатньо високим ступенем зшивання, хоча не у такій кількості як у КМ, що містить добавку у кількості 0,25 мас.ч.

Висновки. У роботі встановлено, що для формування матеріалів з поліпшеними когезійними властивостями необхідно використовувати зв'язувач наступного складу: епоксидний олігомер марки ЕД-20 (100 мас.ч.), твердник ПЕПА (10 мас.ч.), пластифікатор 4.4'-метиленбіс(2-метоксианілін) (0,25 мас.ч.). Формування такого матеріалу забезпечує порівняно з вихідною модифікованою ультразвуком епоксидною матрицею суттєве поліпшення фізико-механічних властивостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tseluikin V. Electrodeposition of graphene oxide modified composite coatings based on nickel-chromium alloy / V.Tseluikin, A.Dzhumieva, A.Yakovlev, A.Mostovoy, M.Lopukhova // Crystals, 2021, 11(4), 415

СТРУКТУРА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ОЧИЩЕННЯ ПАЛИВА НА МОРСЬКИХ СУДНАХ

Врублевський Р.Є.

Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. В останні роки в світі спостерігається зростання пошкоджень суднових двигунів через алюмосилікати, навіть незважаючи на те, що бункерне паливо відповідає специфікації суднового палива ISO 8217, а обробка палива є стандартною процедурою і застосовується для всіх суден. Міжнародна організація по стандартизації (ISO) опублікувала переглянуте видання своїх специфікацій ISO 8217 для суднового палива, в яких як і раніше зберігається обмеження в 60 мг/кг для каталітичних штрафів. Важливо, щоб очищення виконувались відповідно до кращих практик, як це описано в рекомендації СІМАСЗ, та в рекомендаціях ІАКС. Крім того, щоденні експлуатації та регулярні перевірки повинні здійснюватися на високому рівні. Ці дві частини: найкраща система контролю очищення палива та високий стандарт щоденної експлуатації підтримуватимуть тривалий термін експлуатації компонентів, та зменшують ризик зазнати пошкодження системи [1].

Основна частина. Виходячи із сутності процесу очищення палива на морських судах, можна зробити висновок, що інформаційна система контролю очищення палива (ІСКОП) повинна складатися з наступних компонентів (рисунок 1) [2, 3]:

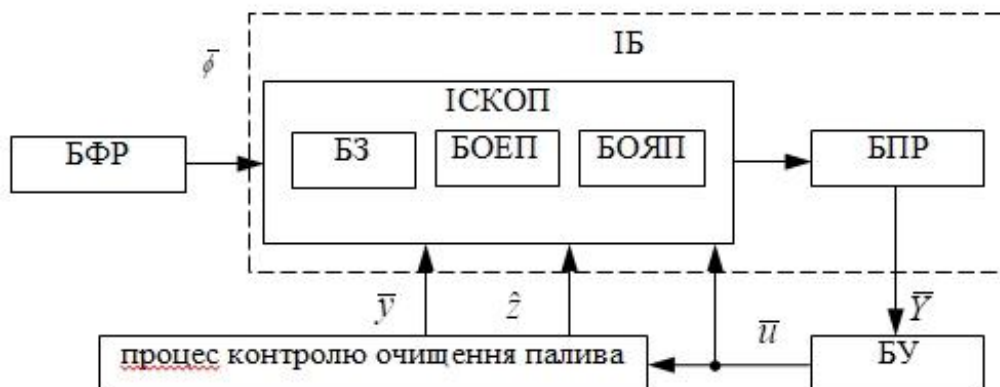


Рисунок 1 — Узагальнена структура інформаційної системи контролю очищення палива

- інформаційна система контролю очищення палива (ІСКОП);
- блок прийняття рішення (БПР);
- база знань (БЗ),
- блок оцінки ефективності процесу (БОЕП);
- інтелектуальний блок (ІБ);
- блок оцінки якості процесу (БОЯП);
- блок управління (БУ);
- блок формування результату (БФР).

Вхідні дані $\bar{Y}$ формуються інтелектуальним блоком, використовуючи при цьому інформацію про вхідні дані $\bar{\phi}, \bar{y}, \bar{z}, \bar{u}$. Вхідні сигнали $\bar{Y}$ відображають вид закону управління процесом контролю очищення палива, який формується блоком управління. Також набір даних $\bar{Y}$ містять інформацію, яка формує закон управління контролем очищення палива.

$\bar{W}$ — $r \times 1$, вектор збурення;

$\hat{z}$ — вхідні дані моделі очищення палива (ОП);

$\bar{\varphi}$ — вхідні дані;

$\bar{Y}$ — вектор вхідних даних інформаційного блока.

Виходячи з концепції побудови інформаційна система контролю очищення палива, структура цієї системи управління повинна містити модулі:

- модуль попередньої обробки даних;
- база знань, що складається з бази режимів роботи сепаратору, погодних умов, кількості спрацювань автофільтра і бази нечітких правил;
- модуль прогнозування результатів ОП;
- модуль прийняття рішення з вибору режимів ОП;
- модуль ОП;
- модуль оцінки якості обробки;
- модуль оцінки ефективності обробки;
- модуль управління базою знань;

Усі модулі функціонально взаємозв'язані, як представлено на рисунку 2.

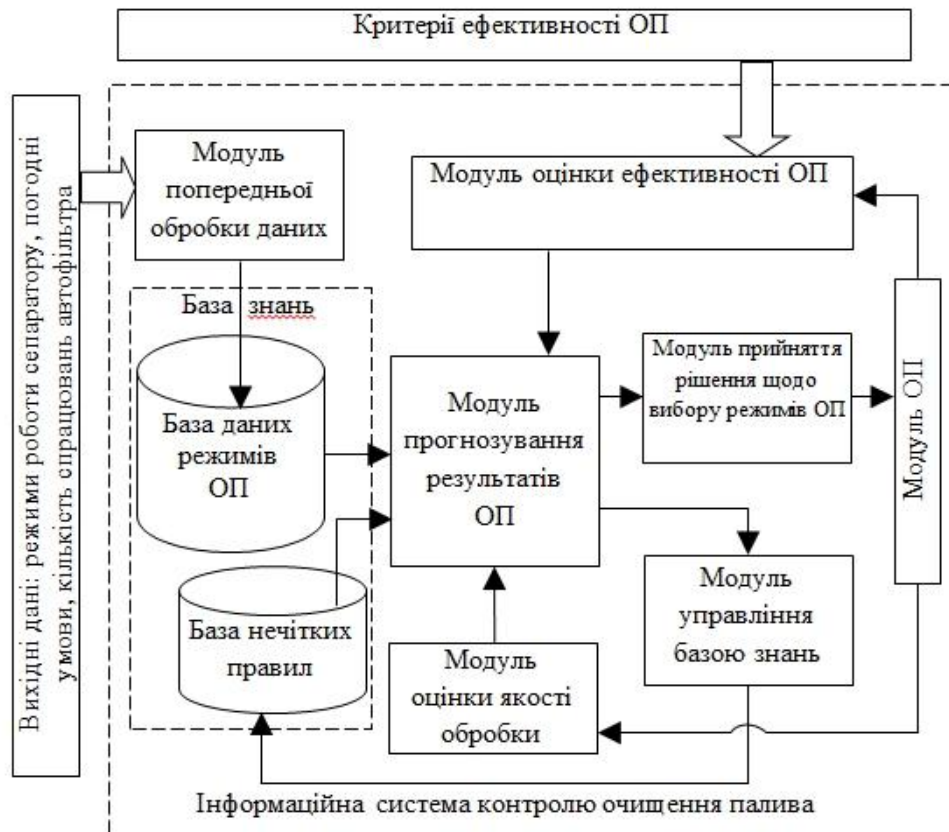


Рисунок 2 — Структура інформаційної системи контролю очищення палива

Взаємодія цих модулів здійснюється таким чином. Початковими даними, що вводяться в систему управління, є: режими роботи сепаратору, погодні умови, кількість спрацювань автофільтра. У модулі «базі знань» зіставляються початкові дані з тими даними, що містяться про режими ПО отримані в ході експерименту в реальних умовах. У результаті зіставлення система відбирає діапазон параметрів режимів ПО.

Залежно від отриманого результату порівняння початкових даних, система може працювати по одному з двох контурів:

1) Якщо система за вихідними даними у базі даних знаходить ідентичні початкові дані, як і в результатах отриманих в ході експерименту, то отримані параметри режимів ОП подаються через модулі «прогнозування результатів ОП» і «модуль прийняття

рішення щодо вибору режимів ОП» на «модуль ОП». У «модулі ОП» відбувається ОП.

2) Якщо у базі даних ідентичні початкові дані не знаходяться, система вибирає параметри режиму ОП, схожі за тими що оброблювалися раніше. Відібраний діапазон параметрів режимів подається на модуль «оптимізації параметрів режимів ОП». У модулі «прогнозування результатів ОП» визначаються оптимальні режими за допомогою генетичного алгоритму, який вирішує цю задачу шляхом випадкового підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів режимів з використанням механізмів природної еволюції, таких, як спадкоємність, мутація, відбір, кросинговер. Згенеровані в модулі «прогнозування результатів ОП» оптимальні параметри режимів подаються через «модуль ухвалення рішення по вибору режимів ОП» на «модуль ОП». У «модулі ОП» відбувається ОП.

Після ОП за режимами, отриманими по одному з двох контурів роботи системи, результат обробки (концентрація алюмосилікатів) оцінюється у двох основних модулях оцінки:

- У «модулі оцінки якості обробки», згідно з критеріями якості обробки.
- У «модулі оцінки ефективності обробки» за критеріями ефективності обробки.

Після оцінювання системою результату обробки вносяться корективи в параметри режимів ОП, в модулі «прогнозування результатів ОП» за допомогою алгоритму зворотного поширення помилки, який налаштовує параметри антецедентів правил, тобто функцій приналежності [4]. Кожна ітерація процедури налаштування виконується у два етапи. На першому етапі на входи подається навчальна вибірка, і по нев'язці між бажаною і дійсною поведінкою мережі ітераційним методом найменших квадратів знаходяться оптимальні параметри вузлів четвертого шару. На другому етапі залишкова нев'язка передається з виходу мережі на входи, і методом зворотного поширення помилки модифікуються параметри вузлів першого шару. При цьому знайдені на першому етапі коефіцієнти висновків правил не змінюються. Під час прямого проходу визначаються параметри виводу методом найменших квадратів. Під час зворотного проходу оновлюються параметри передумов за допомогою методу зниження градієнта. Ітераційна процедура налаштування триває, доки нев'язка перевищує заздалегідь встановлене значення концентрації алюмосилікатів в паливі [4].

Висновок. Дана структура інформаційної системи контролю очищення палива дозволить якісно контролювати вміст в паливі алюмосилікатів. Це дозволить значно знизити рівень зносу двигунів, забезпечить стабільну роботу системи та знизить витрати на обслуговування, що важливо для забезпечення економічної ефективності та надійності судноплавства в умовах сучасних вимог до екологічності палива. Необхідно також врахувати необхідність періодичного очищення паливних танків, своєчасного технічного обслуговування фільтруючих елементів і відповідних налаштувань сепараторів для оптимізації роботи суднової паливної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Alfaro, D., & Smith, J. 2021. «Impact of Aluminosilicate Contamination on Marine Diesel Engine Performance.» *Journal of Marine Engineering and Technology*, 10(2), 123–138
2. Крапівний Ю.М. Електронний конспект лекцій з курсу «Нечіткі моделі та методи в інтелектуальних системах». Одеса, ОНУ, 2021. 54 с
3. Гірінова Л.В. Інформаційні системи та технології. Частина 1. Технічне та програмне забезпечення інформаційних технологій та систем: навч. посібник / Л.В. Гірінова, І.Г. Сибірякова. Харків: Monograf, 2016. 121 с
4. Грицунов О.В. Інформаційні системи та технології: навч. посіб. Х.: ХНАМГ, 2010. 222 с

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СУДЕН ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ LiFePO₄ АКУМУЛЯТОРІВ ТА СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Калейніков Г.Є., Чичужко М.В.

*Черкаський державний технологічний університет
(Україна)*

Вступ. Морський та річковий транспорт, будучи ключовою ланкою світової торгівлі, водночас є значним джерелом викидів парникових газів. Посилення екологічних норм Міжнародної морської організації (ІМО), зокрема вимог ЕЕХІ та СІІ [1], змушує судновласників шукати радикальні рішення для декарбонізації флоту.

Актуальність досліджень. Одним із найперспективніших напрямів є перехід до гібридних та повністю електричних силових установок. Ці технології дозволяють не лише суттєво скоротити або повністю усунути викиди в атмосферу під час експлуатації, але й значно підвищити загальну енергоефективність судна за рахунок оптимізації роботи двигунів та рекуперації енергії.

Метою даної роботи є аналіз ключових технічних аспектів та експлуатаційних проблем, пов'язаних із впровадженням акумуляторних систем на судах, зокрема дослідження циклів заряду-розряду, специфіки роботи акумуляторів типу LiFePO₄ у морських умовах та потенціалу інтеграції сонячних панелей в єдину енергетичну систему судна.

Цикли зарядки-розрядки, зарядні струми та обладнання

Основою ефективності та довговічності суднової електричної системи є грамотне управління акумуляторними батареями (АКБ). Життєвий цикл літєвих акумуляторів, виражений у кількості циклів «заряд-розряд», прямо залежить від глибини розряду (Depth of Discharge, DoD). Наприклад, для акумуляторів LiFePO₄ при DoD 80% кількість циклів може становити 2000–4000, тоді як при зменшенні DoD до 50% цей показник може зрости до 5000–8000 циклів. Для суднових умов, де надійність є пріоритетом, рекомендується експлуатація АКБ у діапазоні 20–80% від повної ємності (State of Charge, SoC), що дозволяє максимізувати термін їх служби та уникнути деградації [2, 3].

Зарядні струми та обладнання є критично важливими елементами інфраструктури. Швидкість зарядки визначається показником C-rate (де 1C — це струм, що дорівнює номінальній ємності АКБ):

- повільна зарядка ($0.2C^0$ — $0.5C^0$): Зазвичай використовується під час тривалих стоянок у порту (наприклад, вночі). Вона є найбільш «здоровою» для акумулятора, мінімізує нагрів та деградацію;

- швидка зарядка (1C і вище): Необхідна для поромів та суден на коротких маршрутах, де час стоянки обмежений. Високі струми вимагають потужних портових зарядних станцій (від сотень кВт до мегават), прокладання відповідних кабельних мереж та вдосконалених систем охолодження як на борту судна, так і на березі.

Необхідне обладнання включає [4, 5]:

- бортове: система управління батареями (Battery Management System, BMS), яка контролює напругу, струм, температуру кожного елемента та балансує їх; інвертори для перетворення постійного струму в змінний; системи рідинного або повітряного охолодження.

- берегове: високопотужні зарядні станції, що відповідають морським стандартам. На сьогодні активно розробляється стандарт Megawatt Charging System (MCS), який може стати галузевим рішенням для суден та важкого транспорту. Розвиток такої інфраструктури є однією з головних перешкод для масового впровадження електротранспорту на воді.

Наукова новизна роботи полягає у розробці методики та відповідного алгоритму інтелектуального керування зарядом LiFePO_4 акумуляторів, що враховує поточний стан «здоров'я» (SoH) комірки. На відміну від стандартних протоколів (CC-CV), які оперують фіксованими значеннями струму та напруги, запропонований алгоритм є багатофакторною динамічною моделлю. Він коригує зарядний струм в режимі реального часу на основі комплексного аналізу даних, отриманих з датчиків температури, розрахованого внутрішнього опору (методом імпульсного навантаження) та лічильника циклів.

Для експериментального підтвердження ефективності методики було проведено серію стендових випробувань. Порівняльне циклювання LiFePO_4 комірок в режимі 2C (1000 циклів) показало, що деградація комірки, яка заряджалася за стандартним протоколом, відбувалася значно інтенсивніше. Застосування розробленого адаптивного алгоритму дозволило сповільнити процеси старіння катодного матеріалу та росту шару твердого електроліту (SEI), що виразилося у подовженні життєвого циклу акумулятора на 15-20% до досягнення ним граничної ємності.

Проблеми експлуатації LiFePO_4 акумуляторів в умовах водного транспорту

Акумулятори типу літій-залізо-фосфат (LiFePO_4) є де-факто стандартом для морського застосування завдяки своїй високій термічній стабільності, довгому життєвому циклу та відсутності кобальту. Однак їх експлуатація на водному транспорті пов'язана з низкою специфічних проблем:

- вологість та сольовий туман: Морське середовище є вкрай агресивним. Потрапляння вологи та солі на контакти чи всередину корпусу АКБ може призвести до корозії, короткого замикання та пожежі. Тому акумуляторні блоки повинні мати високий клас захисту (не нижче IP67) та розміщуватися у спеціальних герметичних, добре вентильованих відсіках.

- вібрація та механічні навантаження: Постійна вібрація від роботи допоміжних механізмів, а також ударні навантаження під час шторму можуть пошкодити внутрішню структуру елементів АКБ та надійність з'єднань. Конструкція акумуляторних модулів повинна бути вібростійкою та проходити сертифікацію морськими класифікаційними товариствами (напр., DNV, Lloyd's Register).

- температурний режим: LiFePO_4 акумулятори чутливі до температури. Оптимальний діапазон роботи — $+15...+35^\circ\text{C}$. Низькі температури — зменшують доступну ємність та унеможливають прийом зарядного струму. Це вимагає встановлення систем підігріву для суден, що експлуатуються в холодних кліматичних зонах. Високі температури - прискорюють деградацію та підвищують ризик термічного розгону. Для уникнення перегріву, особливо під час швидкої зарядки/розрядки, необхідні ефективні системи охолодження (найчастіше рідинні).

- пожежна безпека: Хоча LiFePO_4 значно безпечніші за інші літєві аналоги, ризик пожежі залишається. Суднові акумуляторні відсіки мають бути обладнані спеціалізованими системами пожежогасіння (наприклад, аерозольними або водяного туману), які здатні ефективно боротися з горінням літєвих батарей.

Одним із ключових результатів дослідження є кількісна оцінка впливу підвищених експлуатаційних температур, характерних для суднових машинних відділень, на деградацію LiFePO_4 акумуляторів. Порівняльне циклювання LiFePO_4 комірок показало, що підвищення температури навколишнього середовища з номінальних 25°C до 45°C призводить до зростання швидкості деградації ємності на 60% (з 0.5% до 0.8% на кожні 100 циклів), що скорочує прогнозований ресурсний показник до досягнення 80% SoH на 22.5% (з 4000 до 3100 циклів).

На основі цих даних було проведено техніко-економічне обґрунтування застосування передових систем терморегуляції. Порівняльний аналіз для акумуляторного блоку ємністю 1 МВт·год виявив наступні переваги системи імерсійного охолодження над стандартною рідинною системою з радіаторами:

- ефективність терморегуляції: Забезпечується мінімальний градієнт температур між окремими комірками ($\Delta T \leq 2^\circ\text{C}$), що унеможливорює локальний перегрів та є критичним для запобігання термічному розгону при мегаватній зарядці.

- ресурсний показник: Рівномірний тепловідвід сповільнює процеси старіння, що виражається у подовженні життєвого циклу акумуляторної батареї на 15%.

- економічна доцільність: Попри вищі капітальні витрати (CAPEX) на 25%, зниження операційних витрат (OPEX) та подовження терміну служби призводять до зменшення сукупної вартості володіння (TCO) протягом 10-річного життєвого циклу на 8%.

Таким чином, доведено, що попри вищі початкові інвестиції, стратегія застосування імерсійного охолодження є економічно обґрунтованою та технічно необхідною для забезпечення надійної та довготривалої експлуатації потужних акумуляторних систем на морському транспорті.

Використання сонячних панелей в умовах морського транспорту

Сонячні панелі на судах рідко виступають основним джерелом енергії для руху (за винятком малих експериментальних суден), однак вони є надзвичайно ефективним допоміжним інструментом для підвищення загальної енергоефективності [6]. Їхня головна роль — живлення «готельних» потреб (освітлення, навігація, зв'язок, побутові прилади) та підзарядка акумуляторних батарей під час руху або на стоянці.

Проблеми та рішення при їх інтеграції:

- Обмежена площа та затінення: Палубний простір на судах є дефіцитним. Крім того, щогли, антени та палубні надбудови створюють тінь, що може кардинально знизити ефективність усієї системи. Вирішенням є використання гнучких панелей, які можна інтегрувати в криві поверхні, а також застосування мікроінверторів або оптимізаторів потужності для кожної панелі.

- Агресивне середовище: Сонячні панелі повинні мати спеціальне «морське» виконання: бути стійкими до постійного впливу солоної води, ультрафіолету та сильних вітрових навантажень. Поверхня панелей потребує регулярного очищення від сольових відкладень та пташиного посліду.

- Інтеграція в енергосистему: Енергія від сонячних панелей через контролер заряду MPPT (Maximum Power Point Tracking) подається до акумуляторної батареї. Це дозволяє зменшити навантаження на дизель-генератори (у гібридних системах) або продовжити автономність ходу на електротязі, тим самим знижуючи витрату палива та викиди.

Навіть невелика за площею сонячна електростанція на борту здатна генерувати десятки кіловат-годин енергії на добу, що в масштабах річної експлуатації судна перетворюється на тонни зекономленого палива.

В основі дослідження лежить метод системного аналізу енергетичного комплексу судна та математичного моделювання його експлуатаційних режимів. Для оцінки ефективності використовувалися критерії життєвого циклу (LCC) та сукупної вартості володіння (TCO). Прогнозні показники були отримані шляхом імітаційного моделювання в середовищі MATLAB/Simulink.

Для оцінки внеску сонячної генерації була розроблена модель, що враховує інсоляцію для конкретного навігаційного району р.Дніпро, ККД фотоелектричних перетворювачів та експлуатаційний профіль судна. Річний виробіток енергії ($E_{\text{річ}}$) розраховується за формулою:

$$E_{\text{річ}} = A * r * H * PR$$

де A — загальна площа панелей (м^2); r — ККД панелі (%); H — річна сума сонячної радіації на горизонтальну поверхню ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$); PR (Performance Ratio) — коефіцієнт продуктивності системи (враховує втрати). Моделювання для суховантажу проєкту D-081 з площею панелей 200 м^2 показало, що $E_{\text{річ}}$ може покрити до 90%

«готельних» навантажень під час літньої навігації, що еквівалентно економії 5–7 тонн дизельного палива за сезон.

Висновки. Перехід до гібридних та електричних силових установок є невідворотним трендом у розвитку водного транспорту. Цей процес вимагає комплексного вирішення низки технічних та інфраструктурних завдань. Успішна імплементація залежить від створення надійної портової інфраструктури для швидкої зарядки, використання довговічних та безпечних акумуляторних систем типу LiFePO₄, адаптованих до суворих морських умов, та ефективної інтеграції допоміжних джерел енергії, таких як сонячні панелі. Подолання цих викликів дозволить не лише досягти відповідності новим екологічним стандартам, а й суттєво підвищити економічну привабливість водного транспорту в довгостроковій перспективі.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Maritime Organization (IMO). (2021). *MARPOL Annex VI and NTC 2008 with Guidelines for Implementation*. IMO Publishing.
2. Tangen, G. (2019). *Guideline for Large Maritime Battery Systems*. DNV GL.
3. Wróblewski, P., Kupiec, J., Drożdż, W., Lewicki, W., & Jaworski, J. (2021). The issue of thermal management of li-ion cells in electric vehicles. *Journal of Energy Engineering*, 24(3), 85-98.
4. Zinsser, B. T., & Schweizer, J. (2021). *High Power Charging for Electric Vessels*. Siemens Energy.
5. The CharIN Association. (2022). *Megawatt Charging System (MCS) - White Paper*.
6. Bocchetti, D., Di Leo, P., Famoso, F., & Saponara, S. (2020). Models, methods and tools for the design of a hybrid-electric boat with solar panels. *Energies*, 13(16), 4068. <https://doi.org/10.3390/en13164068>

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ РОБОТИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ ПЕРЕПУСКУ ВИПУСКНИХ ГАЗІВ

Куропятник О.А.

Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)

Вступ. Теплові двигуни, що забезпечують автомобільні, залізничні, річкові та морські транспортні перевезення, є джерелами шкідливих викидів у довкілля. Найпоширенішим тепловим двигуном, який використовується на морських та річкових судах, є дизель [1, 2]. Його коефіцієнт корисної дії більший, а питома ефективна витрата палива менша в порівнянні з іншими типами енергетичних установок (газотурбінними та паротурбінними, які також застосовувалися на морському транспорті). Здійснення термодинамічного циклу дизеля неможливе без утворення випускних газів, до складу яких входять токсичні компоненти: вуглекислий газ CO , вуглеводні C_nH_m , сажа C , оксиди азоту NO_x , оксиди сірки SO_x , а також сполуки важких металів, що знаходяться у паливі.

Оксиди азоту NO_x є одним із найбільш токсичних компонентів випускних газів. Норми викидів оксидів азоту дизелями суден морського та внутрішнього водного транспорту регламентуються вимогами Annex VI MARPOL і залежить від року побудови судна і частоти обертання валу дизеля [3, 4].

Актуальність досліджень. Забезпечення вимог стандартів Tier I та Tier II можливе за рахунок регулювання дизелів (шляхом зміни фаз подачі палива, випуску газів та продування), за рахунок зміни характеристик палива (у тому числі шляхом використання газового палива та паливних сумішей), а також вибору оптимальних режимів роботи дизелів. Забезпечення вимог стандарту Tier III можна досягти тільки шляхом використання додаткового обладнання, яке забезпечує очищення випускних газів від оксидів азоту (методи селективного відновлення — SCR, рециркуляції газів — EGR, електролізу газів — CSNO $_x$, зволоження повітря — HAM) [5, 6].

Одним із додаткових методів, використання якого забезпечує виконання вимог стандарту Tier II, є перепуск / скидання випускних газів (Exhaust gas wastegate — EWG). Фірма Wartsila рекомендує EWG в першу чергу для обмеження тиску наддувного повітря та запобігання помпажним явищам за умовою виникнення високих навантажень та як додаткову функцію – для зниження емісії NO_x [7, 8].

Постановка задачі. Метою роботи було визначення оптимальних режимів роботи системи EWG суднового дизеля, за якими забезпечується максимальне зниження концентрації оксидів азоту у випускних газах та мінімальне збільшення питомої ефективної витрати палива.

Результати досліджень. Дослідження проводилися на трьох однотипних суднових середньообертових дизелях 6L26 фірми Wartsila з електронною системою управління фазами паливоподачі, повітря- та газорозподілу. Номінальна потужність дизелів становила $N_{\text{enom}}=1200$ кВт за частоти обертання 1000 хв^{-1} . Дизелі входили до складу суднової електростанції та передавали свою потужність на електрогенератори. Дизелі мали однаковий моторесурс роботи та експлуатувалися на рівновеликих навантаженнях. Як система управління випускними газами на цих дизелях встановлена система EWG. Згідно з проектною документацією, система EWG забезпечує перепуск газів у діапазоні 0...10 %. Принципова схема системи EWG суднового дизеля 6L26 фірми Wartsila показана на рис. 1.

Під час проведення дослідження контролювалися та вимірювалися параметри, що дозволяють визначити емісію NO_x , питому ефективну витрату палива b_e , а також ефективну потужність дизеля [9].

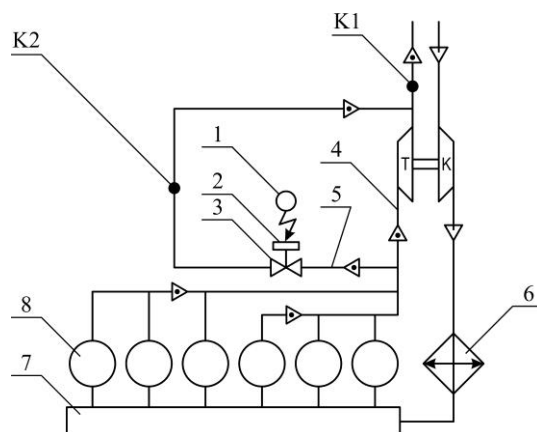


Рисунок 1 — Принципова схема системи керування випускними газами EWG суднового середньооборотного дизеля 6L26 Wartsila:

1 — контролер; 2 — сервомотор перепускного клапана; 3 — перепускний клапан; 4 — основний потік газів; 5 — перепуск газів; 6 — охолоджувач наддувального повітря; 7 — продувний ресивер; 8 — циліндри дизеля; K1, K2 — точки контролю витрати газів;

Ступінь перепуску випускних газів δ_{EWG} змінювалася в межах 0...10 % і визначалася за виразом

$$\delta_{EWG} = \frac{G_{wg}}{G_{\Sigma}} \cdot 100\%,$$

де G_{wg} — кількість випускних газів, що пройшли через перепускний клапан, кг/с (вимірювалася в точці K2);

G_{Σ} — сумарна кількість випускних газів, що надходять у газовипускную магістраль за умовою повністю закритого перепускного клапана, кг/с (вимірювалася в точці K1).

Концентрація NO_x у випускних газах визначалася в газовипускній трубі, на відстані більш ніж 10 м від газотурбонагнітачів, що відповідало вимогам Технічного кодексу щодо NO_x .

Зниження емісії NO_x під час використання системи EWG показано на рис. 2.

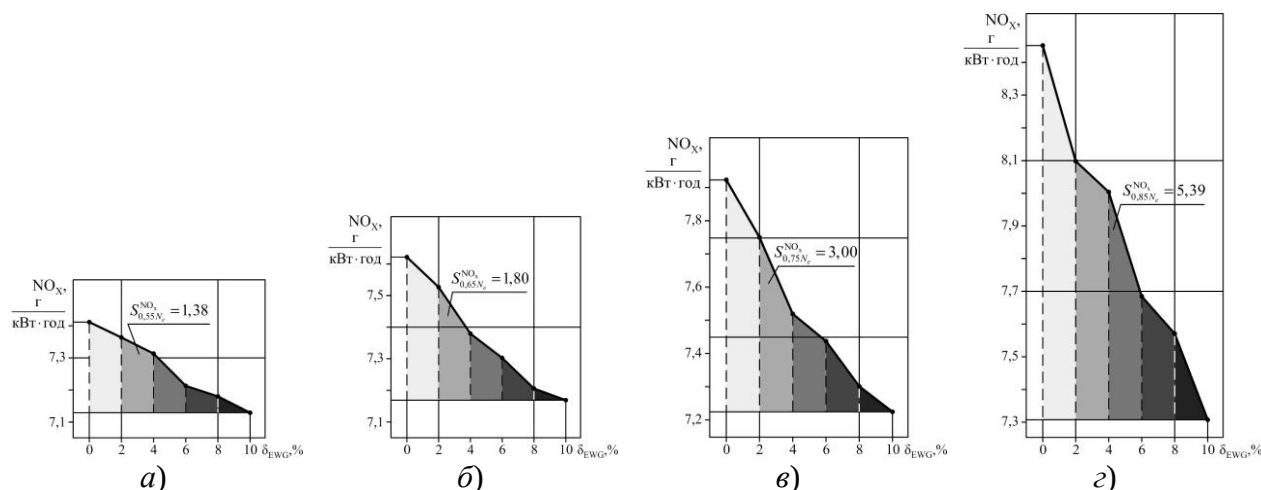


Рисунок 2 — Зміна емісії NO_x залежно від ступеня перепуску δ_{EWG} при різних навантаженнях дизеля 6L26 Wartsila:
а — 55 %; б — 65 %; в — 75 %; г — 85 %

Ефективність використання системи EWG для кожного з режимів роботи дизеля оцінювалася площею під кривою $NO_x=f(EWG)$, яка визначалася методом трапецій як певний інтеграл (1)

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{h}{2} [f(x_0) + 2f(x_1) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)] \quad (1)$$

де $f(x)$ — безперервна функція з аргументом x ;

a, b — межі інтегрування ($a \leq x \leq b$);

$h = (b - a)/n$ — крок інтегрування;

$x_0, x_1, \dots, x_{n-1}, x_n$ — значення аргументу з кроком збільшення h в інтервалі інтегрування $[a, b]$;

n — число площ.

Значення інтеграла (1), що визначає площу під кривою $\text{NO}_x = f(\delta_{\text{EWG}})$, наведені на рис. 2.

Площа під кривою $\text{NO}_x = f(\delta_{\text{EWG}})$ може бути прийнята як критерій екологічної ефективності застосування системи EWG. Збільшення цієї площі свідчить про більшу екологічну ефективність режиму перепуску газів. Таким чином, збільшення ступеня перепуску випускних газів на всіх режимах роботи дизеля сприяє підвищенню його екологічної ефективності.

Екологічну ефективність режимів системи EWG також можна оцінити за запасом екологічної стійкості роботи дизеля, %, на вибраному режимі роботи, який визначається за виразом

$$\Delta \text{NO}_x^+ = \frac{\text{NO}_x^{\text{Tier}} - \text{NO}_x^{\text{екс}}}{\text{NO}_x^{\text{Tier}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $\text{NO}_x^{\text{Tier}}$ — граничне значення концентрації оксидів азоту у випускних газах (визначається для відповідного стандарту Tier залежно від характеристик дизеля), г/(кВт·год);

$\text{NO}_x^{\text{екс}}$ — концентрації оксидів азоту у випускних газах на вибраному режимі роботи дизеля, г/(кВт·год).

Діаграма, що ілюструє екологічну стійкість режимів системи EWG за різних умов експлуатації наведено на рис. 3.

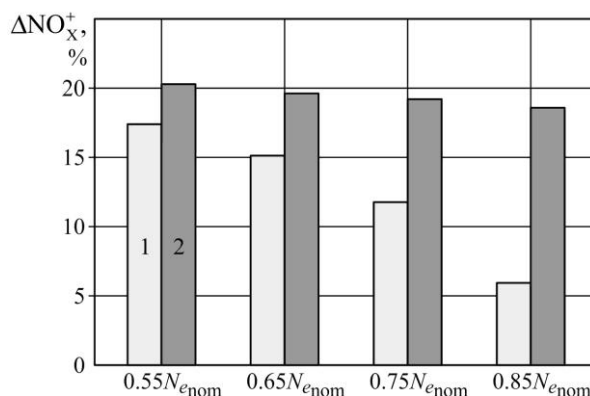


Рисунок 3 — Екологічна стійкість роботи дизеля 6L26 Wartsila:
1 — без EWG; 2 — $\delta \text{EWG} = 10\%$

Висновки. Наведені результати дозволяють зробити такі висновки.

1. Використання перепуску випускних газів сприяє поліпшенню екологічних показників роботи судових середньооборотних дизелів, зокрема для судового дизелю 6L26 Wartsila у діапазоні експлуатаційних навантажень $(0,55 \dots 0,85)N_{\text{enom}}$ на 3,3...15,4 % знижується рівень емісії NO_x у випускних газах.

2. Використання системи EWG зменшує кількість випускних газів, що надходять

до газової турбіни, це призводить до зниження продуктивності турбокомпресора, зменшення кількості повітря, що надходить у циліндр дизеля, і зростання питомої ефективної витрати палива. При цьому для режимів, що відповідають навантаженню $(0,55...0,65)N_{\text{enom}}$, зростання цього показника збільшується пропорційно ступеню перепуску випускних газів δ_{EWG} і становить $2,7...4,4\%$ (в діапазоні $\delta_{\text{EWG}}=2...10\%$). Для навантажень близьких до номінальної потужності – $0,85N_{\text{enom}}$ збільшення питомої витрати палива не перебільшує $1,2\%$ (для максимальної величини перепуску газів $\delta_{\text{EWG}}=10\%$).

ЛІТЕРАТУРА

1. Madey, V. (2022). Assessment of the efficiency of biofuel use in the operation of marine diesel engines. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (1 (64)), 34–41. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.255959>
2. Sagin, S., Haichenia, O., Karianskyi, S., Kuropyatnyk, O., Razinkin, R., Sagin, A. et al. (2025). Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13 (3), 589. <https://doi.org/10.3390/jmse13030589>
3. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). International Maritime Organization. Available at: [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx) Last accessed: 23.09.2025
4. Sagin, S. V., Kuropyatnyk, O. A. (2018). The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines. *Naše More*, 65 (2), 78–86. <https://doi.org/10.17818/nm/2018/2.3>
5. Sagin, S. V., Kuropyatnyk, O. A., Zablotskyi, Y. V., Gaichenia, O. V. (2022). Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters. *Naše More*, 69 (1), 53–61. <https://doi.org/10.17818/nm/2022/1.7>
7. Sagin, S., Sagin, A. (2023). Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (1 (73)), 37–43. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>
6. Budashko, V., Shevchenko, V. (2021). Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (110)), 54–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229033>
8. Sagin, S., Kuropyatnyk, O., Matieiko, O., Razinkin, R., Stoliaryk, T., Volkov, O. (2024). Ensuring Operational Performance and Environmental Sustainability of Marine Diesel Engines through the Use of Biodiesel Fuel. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12 (8), 1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>
9. Sagin, S. V., Karianskyi, S., Sagin, S. S., Volkov, O., Zablotskyi, Y., Fomin, O. et al. (2023). Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel. *Applied Ocean Research*, 140, 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>

ПОВЕРНЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В СУДНОПЛАВСТВО. ЕКОНОМІЧНИЙ ТА ОПЕРАЦІЙНИЙ ОГЛЯД

Маменко П. П.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Найдавніше відоме вітрильне судно, яке використовувалось для перевезення вантажів та пасажирів, датується 3100 роком до нашої ери, коли єгиптяни використовували північний вітер для подорожі на південь по Нілу. У наступні століття морські перевезення водними шляхами, значною мірою залежали від вітру, поки у 19 столітті не відбувся значний перехід до використання у якості рушіїв парових двигунів. Коли пароплави значно підвищили гнучкість та надійність перевезення вантажів та пасажирів. Частка пароплавів у світовому тоннажі зросла з 15,8% у 1855 році до 97,1% у 1910 році, що зробило вітрильні судна практично неактуальними. Прагнення до ефективності відсунуло вітроенергетику на другий план майже на два століття, донедавна, коли цілі декарбонізації висунули її на перше місце в порядку денному багатьох компаній. Щоб узгодити це з цілями щодо скорочення викидів, викладеними в Паризькій угоді Організації Об'єднаних Націй 2015 року, Міжнародна морська організація (ІМО), регулюючий орган морської галузі, запустила свою першу в історії стратегію скорочення викидів у 2018 році [1–3].

Постановка задачі. Інтерес до відродження вітроенергетики знову зріс, оскільки морська галузь бачить її потенціал у зменшенні використання рушійної сили двигунів, що працюють на викопному паливі, шляхом впровадження вітрової енергії. Це дозволить судну підтримувати ту саму швидкість за зниженої потужності двигуна або збільшити швидкість судна за тієї ж потужності двигуна. Основні переваги використання вітрової енергії на судах такі ж, як і для загальної вітроенергетики, а саме, низький рівень викидів вуглецю та зменшення впливу волатильності (нестабільності) цін на викопне паливо [4–5].

Перелік вирішуваних питань: Судноплавна галузь може заощадити паливо та скоротити викиди. Близько 90% світових товарів — від соєвих бобів до кросівок — транспортується морем. Десятки тисяч суден, які використовуються для доставки цих товарів на світові ринки, становлять приблизно 3% світових викидів вуглецю щороку, що перевищує річні викиди Японії. Якщо не контролювати викиди парникових газів у судноплавній галузі, очікується, що до 2050 року вони зростуть на 50%. Починаючи з 2024 року Міжнародна морська організація (ІМО) Організації Об'єднаних Націй оцінюватиме кожне судно на основі його вантажопідйомності та кількості грамів CO₂, які воно викидає на морську милю. Судна з найгіршими рейтингами повинні будуть вжити коригувальних заходів, інакше їм ризикують заборонити експлуатацію. Це частина амбітної мети ІМО – досягти нульового рівня викидів у судноплавній галузі до 2050 року.

Для використання вітрової енергії на сучасних судах розроблено та випробувано ряд продуктів для судових рушійних установок з вітровою рушійною силою (WASP), комерційні технології яких класифікуються як ротори, буксируючі повітряні змії, присоски, жорсткі вітрила/крила, м'які вітрила, вітрові турбіни та корпусні вітрила [6]. На Рис.1 показано, як працює технологія WindWing жорсткого вітрила/крила.

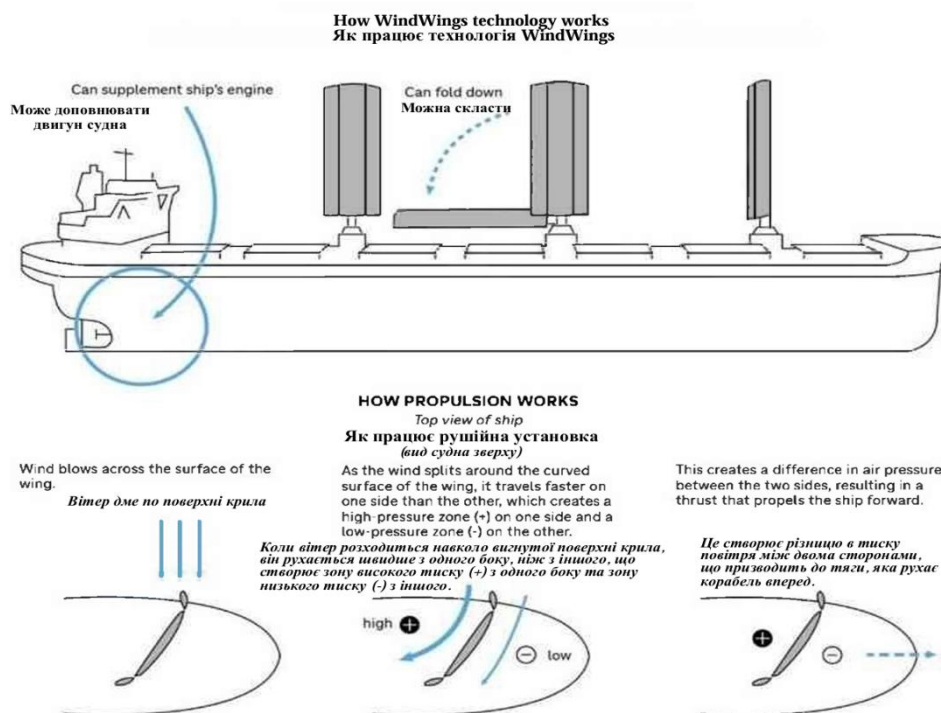


Рисунок 1 — Як працює технологія WindWings

Суть дослідження. У науковій літературі досі розглядаються різні теми: від потенціалу вітру для скорочення шкідливих викидів у судноплаванні, через можливе підвищення енергоефективності суден, до важливості цін на бункерне паливо та політичних дій для впровадження вітроенергетичних технологій. Таким чином, у цьому дослідженні розглядається стан використання WASP та його основні переваги та недоліки на прикладі використання WindWing технології на різних типах вантажних суден [7–9].

Економічний вплив - економія палива, зменшення шкідливих викидів.

Судноплавство - це енергоємна галузь, а витрати на паливо становлять значну частку експлуатаційних витрат судна та загальних витрат. Підвищена паливна ефективність не лише збільшує очікувану прибутковість активу, але й забезпечує операційний захист від нестабільних витрат на паливо [10–11].

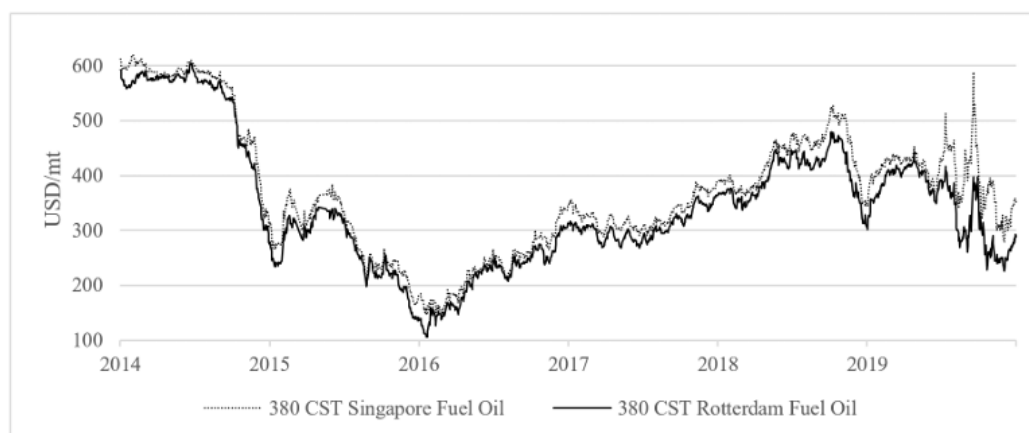


Рисунок 2 — Ціна на важке мазутне паливо з лютого 2015 року по лютий 2020 року (Reuters, доступ 2 березня 2020 року)

Триелементна конструкція крила WindWing®, є унікальною на ринку та забезпечує підйомну силу, що в 2,5 рази перевищує підйомну силу одноелементного крила. На

середньостатистичних світових судноплавних маршрутах кожен WindWing® економить 1,5 тонни палива та зменшує викиди на 4,7 тонни CO₂ за кожен день експлуатації.

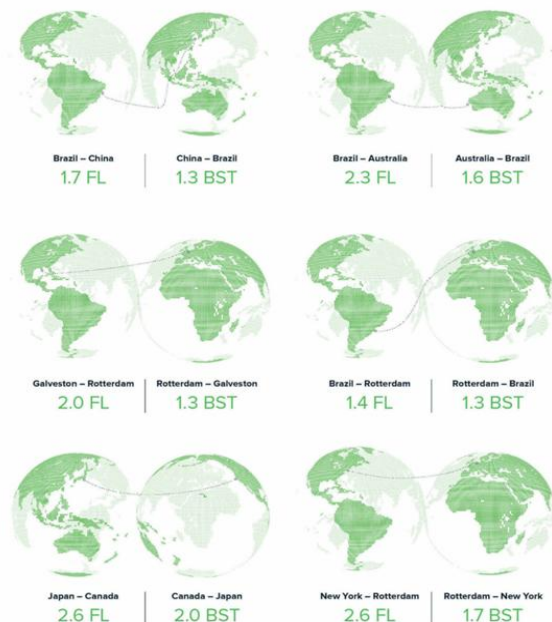


Рисунок 3 — Економія на глобальних маршрутах морських перевезень. Цифри відображають середню економію в тоннах палива на крило на день

Інвестиційна дилема, термін окупності «зеленої» технології. Світові флоти старіють, і власники стикаються зі складним інвестиційним рішенням, коли йдеться про будівництво нових суден. Судна повинні викидати менше CO₂, інакше вуглецеві податки зроблять їх занадто дорогими для торгівлі, але тепер дилема полягає в наступному: чи варто власникам купувати звичайне судно з екологічними технологіями, чи прагнути до готовності до використання альтернативного палива, чи, можливо, і те, й інше?

Якщо термін окупності лише «зеленої» технології менший, ніж термін окупності самого судна, то встановлення технології скоротить загальний термін окупності активу.

Ця логіка широко застосовується, але суть добре ілюструється за допомогою WindWings® від BAR Technologies на графіку Рис. 4 нижче.

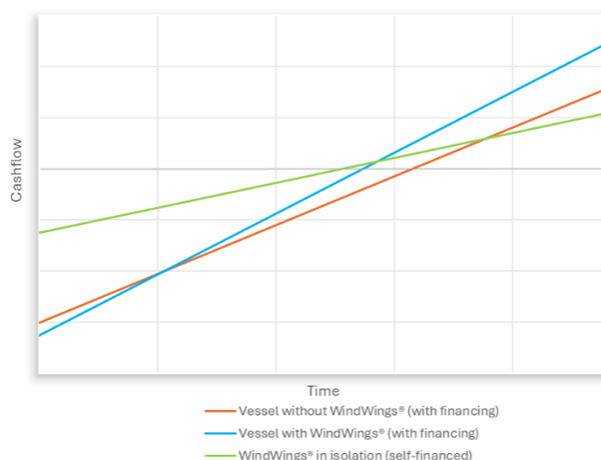


Рисунок 4 — термін окупності зеленої технології

Висновки. Спільнота зараз досліджує різні варіанти декарбонізації судноплавства. Хоча технології WASP перебувають у меншій центрі уваги, ніж інші альтернативні форми рушійних сил, вони можуть стати невід'ємною частиною цього перехідного процесу, який вимагає різноманітних заходів щодо зменшення викидів для роботи разом з альтернативним паливом. Перехід до технологій WASP розпочався завдяки групі відданих представників промисловості та академічних кіл. Відтепер очевидно, що існує набагато більший потенціал для реалізації, перш ніж технології WASP досягнуть рівня поширення, запропонованого з 3700–10 700 суден у 2030 році та з 37 000–40 000 суден до 2050 року. Результати послідовно показують, що WASP має значний потенціал для підвищення енергоефективності суден (ротори: 0,4–50%; повіт Незважаючи на багатообіцяючу тенденцію поширення технологій та привабливий характер вітрових транспортних засобів (WPT), поточне впровадження становить лише невеликий відсоток від загального світового флоту. Оскільки різні технології мають різні характеристики продуктивності за різних умов, універсальне рішення навряд чи з'явиться. Тому вкрай важливо провести більше перевірених сторонніх досліджень з фактичним комерційним використанням, щоб краще зрозуміти низку експлуатаційних факторів, що впливають на продуктивність технології WASP. рянї змії: 1–50%; жорсткі вітрила: 5–60%; м'які вітрила: 4,2–35%; вітрові турбіни: 1–4%). Крім того, важливим аспектом, який заслуговує на вивчення, є безпека вітрових установок. Однак, докази з цього питання все ще обмежені, і майбутні дослідження повинні зосередитися на структурованій оцінці безпеки кожної вітроенергетичної технології.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kimball, J. *Physics of Sailing*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2009; pp. 3–5.
2. Harlaftis, G.; Valdaliso, J.; Tenold, S. *The World's Key Industry: History and Economics of International Shipping*; Palgrave Macmillan: London, UK, 2012; pp. 11–29.
3. International Maritime Organization. UN Body Adopts Climate Change Strategy for Shipping. 13 April 2018. Available online: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/06GHGinitialstrategy.aspx>.
4. Argyros, D. Wind-powered shipping: A review of commercial, regulatory and technical factors affecting uptake of wind-assisted propulsion. *Lloyd's Regist. Mar.* 2015.
5. Snyder, B.; Kaiser, M.J. Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. *Renew. Energy* 2009, 34, 1567–1578.
6. Nelissen, D.; Traut, M.; Köhler, J.; Mao, W.; Faber, J.; Ahdour, S. Study on the Analysis of Market Potentials and Market Barriers for Wind Propulsion Technologies for Ships. Available online: <https://research.chalmers.se/en/publication/245854>.
7. Traut, M.; Gilbert, P.; Walsh, C.; Bows, A.; Filippone, A.; Stansby, P.; Wood, R. Propulsive power contribution of a kite and a Flettner rotor on selected shipping routes. *Appl. Energy* 2014, 113, 362–372. [CrossRef]
8. Smith, T.; Raucchi, C.; Hosseinloo, S.H.; Rojon, I.; Calleya, J.; De La Fuente, S.; Wu, P.; Palmer, K. *CO2 Emissions from International Shipping. Possible Reduction Targets and Their Associated Pathways*; UMAS: London, UK, 2016.
9. Mander, S. Slow steaming and a new dawn for wind propulsion: A multi-level analysis of two low carbon shipping transitions. *Mar. Policy* 2017, 75, 210–216. [CrossRef]
10. Ronen, D. The effect of oil price on containership speed and fleet size. *J. Oper. Res. Soc* 2011, 62, 211–216. [CrossRef]
11. Chou, T.; Kosmas, V.; Acciaro, M.; Renken, K. A Comeback of Wind Power in Shipping: An Economic and Operational Review on the Wind-Assisted Ship Propulsion Technology. *Sustainability* 2021, 13, 1880. <https://doi.org/10.3390/su13041880>

СВІТОВЕ СУДНОБУДУВАННЯ: АНАЛІЗ РИНКУ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Пізінцалі Л. В.¹, Россомаха О. І.², Александровська Н. І.¹, Россомаха О. А.²,
Дімова С. М.¹, Рабоча Т. В.³, Йовва В. М.³*

¹ Навчально-науковий морський інженерно-технічний інститут
(Україна)

² Навчально-науковий інститут морського флоту
(Україна)

³ Одеський національний морський університет,
Військова академія
(Україна)

Вступ. Сучасні інноваційні адитивні технології (АТ), 3D-технології і пристрої для їхнього застосування у XXI ст. розвиваються динамічне та охоплюють усе більше аспектів у галузі суднобудування при створенні суден різноманітного призначення.

Технології 3D друку дозволяють «виросувати» деталі суден будь-якої складності з мінімальними витратами. При цьому майже відсутні відходи виробництва, а також обладнання, на якому реалізуються адитивні технології, потребує значно меншої кількості обслуговуючого персоналу порівняно із класичними технологіями.

Крім переваг за швидкістю і вартістю виготовлення виробів, ці технології мають переваги і з погляду охорони навколишнього середовища. Вони, зокрема, знижують виділення парникових газів і «теплове» забруднення.

Адитивні технології мають величезний потенціал у напрямку зниження енергетичних і матеріальних витрат на створення найрізноманітніших видів суден. На думку авторів, ступінь використання 3D технологій в суднобудівництві є індикатором реальної індустріальної могутності не тільки галузі, а й держави, індикатором її інноваційного розвитку.

Адитивні технології або технології пошарового синтезу, 3D-друк — сьогодні один із найбільш динамічних напрямів «цифрового» виробництва. Крім того, 3D-друк здатний здійснити революцію в багатьох сферах життя. За динамікою розвитку ринок адитивних технологій випереджає інші галузі виробництва.

Актуальність досліджень.

Постановка задачі. Автори ставлять за мету дослідження проведення аналізу розвитку ринку адитивних технологій в світі та в Україні, та хочуть спробувати показати роль цих технологій для розвитку суднобудівництва та військової галузі.

Результати досліджень За дослідженнями компанії Sculpteo, в якому взяло участь 1300 осіб з різних країн світу, 51 % опитаних використовує АТ у виробництві, а не лише для прототипування. Найбільш використовуваними технологіями 3D-друку є: моделювання методом осадження з плавленням (FDM), селективне лазерне спікання (SLS), стереолітографія (SLA) [1]. За прогнозами, до 2025 р. глобальний ринок 3D-друку досягне 32 млрд дол., а до 2030 року — 60 млрд дол.

Світовий ринок АТ в 2014–2020 рр. ріс із середньорічними темпами в 19,3%, сягнувши у 2020 р. обсягу майже в 14 млрд дол. Згідно зі звітом GlobalData, нині на частку ринку 3D-друку припадає менше 0,1% від загального світового виробничого ринку, який оцінюється в 12,7 трлн дол. (рис. 2).

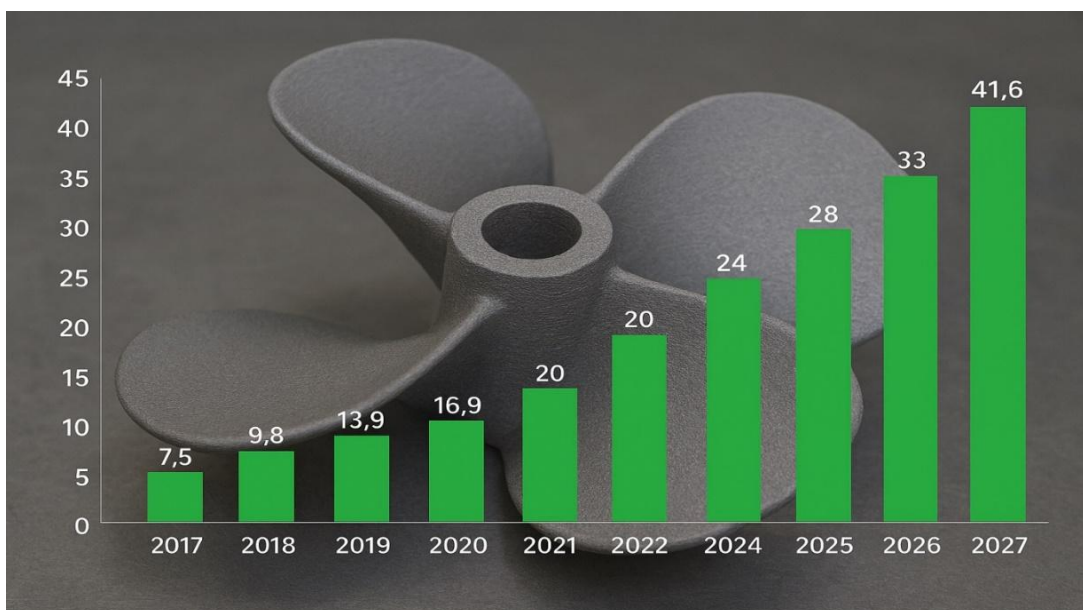


Рисунок 1 — Стан і прогноз (2020–2027 рр.) обсягу світового ринку АТ, млрд дол.
(джерело: Exponential technologies in manufacturing)

Світовий ринок АМ-технологій в 2013 р. становив всього близько 3,8 млрд доларів США [2]. Перше місце в цій сфері належало США, потім йшли Японія, Німеччина і Китай, хоча і з чотирикратним відставанням (табл. 1). З таблиці 1 видно, що більше 50% ринку належало США та країнам ЄС.

Вже через 10 років, в 2023 році ринок складав вже \$ 16,14 млрд, при совокупному річному темпі зростання 22,3 %.

А вже, в 2024 році, обсяг ринку адитивного виробництва перевищив позначку \$20 мільярдів, що є першим таким досягненням в історії галузі, згідно Wohlers Report.

Очікується, що ринок зростатиме і найближчими роками, досягнувши \$ 41,69 млрд до 2028 року.

Уже через 10 років, в 2023 році ринок складав вже \$16,14 млрд, при совокупному річному темпі зростання 22,3 %.

Очікується, що ринок зростатиме і найближчими роками, досягнувши \$ 41,69 млрд до 2028 року.

Розмір ринку адитивного виробництва у 2024 році оцінювався в 91,84 млрд доларів США, а до 2032 року, за прогнозами, досягне 419,22 млрд доларів США зі середньорічним темпом зростання (CAGR) 20,90 % з 2025 по 2032 рік.

Окрім аналізу ринкових сценаріїв, таких як ринкова вартість, темпи зростання, сегментація, географічне охоплення та основні гравці, ринкові звіти, підготовлені Data Bridge Market Research, також включають аналіз імпорту та експорту, огляд виробничих потужностей, аналіз споживання продукції, аналіз цінових тенденцій,

сценарій зміни клімату, аналіз ланцюга поставок, аналіз ланцюга створення вартості, огляд сировини/витратних матеріалів, критерії вибору постачальників, аналіз PESTLE, аналіз Портера та нормативно-правову базу [3].

Сегментація світового ринку адитивного виробництва за типом матеріалу (метал, пластик, сплави та кераміка), технологією (стереолітографія (SLA), моделювання плавленого розташування (FDM лазерне спікання (LS), струменеве друкування сполучними матеріалами, поліструменевий друк, електронно-променеве плавлення (EBM), виробництво ламінованих об'єктів (LOM) та інші), застосуванням (автомобільна промисловість, охорона здоров'я, аерокосмічна промисловість, споживчі товари, промисловість, оборона, архітектура та інші) — тенденції галузі та прогноз до 2032 року.

Таблиця 1 — Частка АМ-технологій у провідних країнах світу в 2013 році

Місце	Країна	Частка АМ – обладнання, %
1	США	38
2	Японія	9,7
3	Німеччина	9,4
4	Китай	8,7
5	Велика Британія	4,2
6	Італія	3,8
7	Франція	3,2
8	Республіка Корея	2,3
9	Канада	1,9
10	Тайвань	1,5
11	Туреччина	1,4
12	Туреччина	1,4
13	Іспанія	1,3
14	Швеція	1,2
15	Інші країни	12

Видання **BENZINGA (США)** представило огляд, провідної консалтингової компанії Transparency Market Research [4]: «...у 2022 році обсяг ринку адитивних технологій у вартісному вираженні оцінювався в 466,3 млн доларів США з перспективним зростанням в середньому на 21,5% в період з 2023 по 2031 рік. За прогнозами, до кінця 2031 року цей об'єм ринку може скласти 2,7 млрд доларів США».

Глобальний ринок адитивного виробництва за регіонами, 2023–2030 роки, видання представило у вигляді рис. 2.



Рисунок 2 — Глобальний ринок адитивного виробництва за регіонами, 2023–2030 роки (джерело: Data Bridge Market Research Market Analysis Study 2023)

Нажаль, відставання України від держав, що лідирують у цій галузі, продовжує наростати, особливо якщо взяти до уваги скоординовані зусилля урядів, промисловості та академічних інститутів країн-лідерів, спрямовані на поширення адитивного виробництва в промисловості. Впровадження цих технологій неможливе без інвестицій у фундаментальні й прикладні дослідження. Досвід інших країн показує, що таке завдання не може бути вирішене без істотної участі уряду і продуманих фінансових стимулів. Розвиток цієї наукомісткої галузі є основою технологічної безпеки і незалежності країни.

Суднобудівна галузь прагне до підвищення ефективності та зниження витрат за рахунок впровадження АТ. Однак широке застосування 3D-друку обмежується проблемами шорсткості поверхні та точності розмірів, що впливає на механічні

властивості та експлуатаційні характеристики деталей. Метою цього дослідження є аналіз чинників, що впливають на якість поверхні, методи її поліпшення та оцінка зарубіжних підходів до розв'язання цієї проблеми.

Шорсткість поверхні визначається параметрами Ra , Rz , $Rmax$, вимірюваними за допомогою профілометрів і 3D-сканерів. Найпоширенішими методами оцінювання є:

- Контактні методи: механічні профілометри, що дають змогу вимірювати нерівності з високою точністю.

- Безконтактні методи: лазерні та оптичні сканери, інтерферометрія.

- Методи комп'ютерного аналізу: 3D-сканування і порівняння з CAD-моделлю.

При проведенні аналізу, автори встановили, що якість поверхні і точність надрукованих деталей залежать від безлічі параметрів, серед яких можна виділити:

1. Технологію друку:

- FDM (Fused Deposition Modeling) — найпоширеніша, але дає високу шорсткість.

- SLA (Stereolithography) — забезпечує гладку поверхню, але потребує фотополімеризації.

- SLS (Selective Laser Sintering) — формує пористу структуру.

- DMLS (Direct Metal Laser Sintering) — використовується для металевих деталей, але потребує постобробки.

2. Параметри друку:

- Висота шару: чим менший шар, тим краща якість.

- Швидкість друку: занадто висока швидкість збільшує ризик дефектів.

- Температурні режими: перегрів або брак енергії можуть призводити до нерівномірного спікання.

Для оцінки точності розмірів застосовуються координатно-вимірювальні машини (CMM) і цифрові вимірювальні системи.

Зарубіжні дослідження показують, що:

- зниження висоти шару до 50 мкм зменшує Ra на 30–50 %;

- багатопроменева лазерна обробка (в DMLS) знижує пористість на 20–40 %;

- контроль температурного режиму зменшує внутрішні напруги.

Найефективнішими методами зарубіжні дослідження визнають лазерну постобробку й електрохімічне полірування, оскільки вони дають змогу зменшити шорсткість до $Ra < 1$ мкм без значних змін геометрії.

Використання спеціальних покриттів, таких як нікелювання або керамічні покриття, значно покращує зносостійкість і знижує коефіцієнт тертя.

Аналіз досвіду провідних компаній показав, що застосування лазерного полірування в суднобудуванні та авіації знизило шорсткість деталей до $Ra = 0.4$ мкм – (GE Additive (США), а впровадження комбінованої постобробки (лазерна + електрохімічна) дало змогу досягти точності ± 0.05 мм – (Siemens (Німеччина)). Крім того, використання SLM і гальванопокриття збільшило термін служби деталей на 30% — (Rolls-Royce (Великобританія)).

Міжнародні стандарти (ISO 25178, ASTM F42) [5] регламентують допуски за шорсткістю і точністю. Сучасні зарубіжні дослідження прагнуть до зниження шорсткості до $Ra < 1$ мкм і відхилень розмірів менше 0.1 мм.

Автори вважають доцільним, привести декілька прикладів використання 3D-друку в суднобудуванні [6]:

- Перший в світі гребний гвинт, що надрукований на 3-D принтері з нікель-алюміній-бронзового сплаву за допомогою дугового зварювання. Цей гвинт, надрукованим на 3D-принтері, отримав французький мінний тральщик Andromède. Про це повідомляє компанія Naval Group [7]:

«Це найбільший металевий 3D-друкований рушій, коли-небудь проводився у світі, і перший гвинт, отриманий в результаті цієї технології, був піднятий на борт військового корабля і виготовлений для використання не тільки для ходових випробувань».

- НН Newport News Shipbuilding (США): успішно надруковано та встановлено великий клапанний колектор на авіаносці — демонстрація надійності технології для критичних елементів. Складання клапанного колектора, спеціалізована конструкція, що дозволяє розподіляти одне джерело рідини на кілька точок на кораблі, встановлена в насосній кімнаті авіаносця класу Gerald R. Ford Enterprise. Складання має довжину близько 5 футів і важить 1 000 фунтів. Newport News співпрацювала з DM3D Technology для виробництва корпусу колектора [8].

- CEAD: 3D-друк цілих корпусів суден з HDPE [9].

Висновки. На підставі проведеного аналізу автори зробили наступні висновки:

1. Виробництво 3D-друку — це галузь, що швидко розвивається, з великим потенціалом у майбутньому.
2. Здатність друкувати складні форми та взаємопов'язані деталі без необхідності будь-якої збірки робить 3D-друк унікальним в суднобудуванні. Можна створювати невеликі складні деталі суден з дуже невеликими витратами та за короткий проміжок часу.
3. Широке застосування 3D-друку обмежується проблемами шорсткості поверхні та точності розмірів, що впливає на механічні властивості та експлуатаційні характеристики деталей.
4. Ступінь використання 3D технологій в суднобудівництві є індикатором реальної індустріальної могутності не тільки галузі, а й держави, індикатором її інноваційного розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дорошенко В.С. Стан і тенденції розвитку ринку 3D-технологій як елементу цифровізації виробництва продукції з полімерів і металів. Світогляд. 2021. № 6(92). С. 44–48.
2. Wohlers T. Wohlers report 2014: Additive manufacturing and 3D-printing state of the industry: Annual world-wide progress report. Wohlers Associates, 2014. 276 p.
3. Звіт про аналіз розміру, частки та тенденцій світового ринку адитивного виробництва — огляд галузі та прогноз до 2032 року [Електронний ресурс]. URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-additive-manufacturing-market> (дата звернення: 23.09.2025).
4. Прогноз розвитку ринку порошків для 3D-друку до 2031 року [Електронний ресурс]. URL: https://www.prometall.info/analitika/prognoz_razvitiya_rynka_poroshkov_dlya_3d_pechaty_do_2031_goda (дата звернення: 23.09.2025).
5. BS EN ISO 25178-2. DIN Media. 2022-02-04 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.dinmedia.de> (дата звернення: 23.09.2025).
6. Як 3D-технології використовують в суднобудуванні [Електронний ресурс]. URL: <https://arcadia.com.ua/kak-3d-tehnologii-ispolzuyut-v-sudostroenii> (дата звернення: 23.09.2025).
7. У Франції створили гвинт за допомогою 3D-принтера [Електронний ресурс]. URL: <https://military.com/uk/news/u-frantsiyi-stvoryly-gvynt-za-dopomogoyu-3d-pryntera> (дата звернення: 23.09.2025).
8. Newport News Shipbuilding напечатал первый коллектор для авианосца USS Enterprise [Електронний ресурс]. URL: <https://sea-man.org/news/3d-pechat-kollektor.html> (дата звернення: 23.09.2025).
9. 3D-друк більших та міцніших човнів: Морський центр застосувань (MAC) CEAD [Електронний ресурс]. URL: <https://ceadgroup.com/maritime-application-center-mac/> (дата звернення: 23.09.2025).

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ МАЩЕННЯ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Разінкін Р.О.

*Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Ефективне використання сучасного форсованого суднового двигуна внутрішнього згорання (СДВЗ) значною мірою залежить від технічного стану та надійності роботи його деталей. Збільшення інтенсивності експлуатації СДВЗ призвело до значного підвищення вимог щодо їх надійності [1]. Аналіз експлуатації СДВЗ показує, що терміни проведення поточних та середніх ремонтів визначаються технічним станом деталей кривошипно-шатунного механізму, серед яких найбільш відповідальні та швидко зношуються — підшипники ковзання колінчастого валу. Саме тому підвищення експлуатаційної надійності СДВЗ багато в чому визначається безвідмовною роботою та технічним станом підшипників ковзання колінчастого валу. У процесі роботи підшипників ковзання СДВЗ має місце знос робочих поверхонь, який обумовлений тим, що під час експлуатації неминуче виникають режими граничного мащення. Граничний режим мащення характеризується наявністю безпосереднього контакту поверхонь в зоні тертя, що сприяє збільшенню адгезійних зв'язків. Зношування, як результат контактної взаємодії деталей, призводить до незворотної зміни їх геометричних параметрів і втрати працездатності [2].

Актуальність досліджень. На даний час існують два основні наукові напрями, метою яких є вирішення проблем адаптації роботи підшипників у складі СДВЗ, що забезпечують мінімальні втрати на тертя та мінімізацію величини зношування. Одне займається вдосконаленням антифрикційних матеріалів, у тому числі виготовляються підшипники, а друге спрямовано на поліпшення властивостей мастильних матеріалів [3]. На наш погляд, найбільш перспективним напрямом підвищення надійності підшипників ковзання у складі СДВЗ, з урахуванням мінімізації витрат, є покращення триботехнічних властивостей мастильних матеріалів [4]. З цієї метою розроблені функціональні присадки до моторного мастила, основним принципом роботи яких є самоорганізація наноструктурних плівок пластичного металу на поверхнях тертя, що реалізують ефект беззносності. Присадки містять у своєму складі дрібнодисперсну фазу нанопорошків міді та алюмінію із середньою величиною частинок 50 нм у середовищі жирних кислот у певних пропорціях [5].

Постановка задачі. У зв'язку з вищевикладеним, задачею дослідження було визначення впливу функціональних присадок до моторних мастил на ефективність процесу мащення підшипників ковзання суднових дизелів.

Результати досліджень. Дослідження виконувались на суднових середньообертових дизелях 6ML185 фірми CSSC Marine Power. Три подібних дизеля використовувались в складі допоміжної енергетичної установки судна класу General Cargo дедвейтом 14270 тонн. Кожен з дизелів мав окрему систему мащення, що дозволяло для кожного з них використовувати мастильні матеріали з різними характеристиками. Принципова схема система циркуляційного мащення дизелів надана на рис. 1.

Подача мастила до вузлів мащення колінчастого валу та підшипників дизелів 2, 3, 4 забезпечувалась циркуляційним насосом 6 (окремо для кожного з дизелів). Очищення мастила виконувалось за допомогою фільтра 7 (також окремо для кожного дизелю) та сепаратора 5 (який послідовно підключався до систем мащення кожного з дизелів). Поповнення обсягу мастила в картері дизелів здійснювалось з цистерни 1.

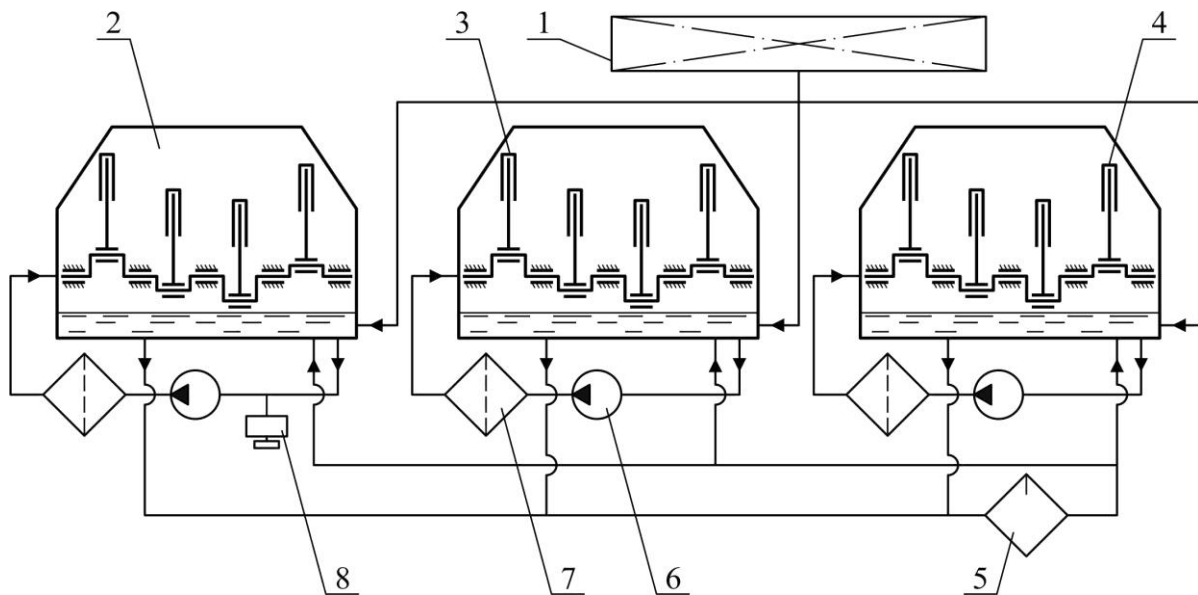


Рисунок 1 — Схема суднової системи циркуляційного мащення судових дизелів 6ML185 фірми CSSC Marine Power під час проведення експериментальних досліджень:

- 1 — цистерна циркуляційного мастила; 2 — дизель № 1; 3 — дизель № 2;
4 — дизель № 3; 5 — сепаратор мастила; 6 — циркуляційний мастильний насос; 7 — мастильний фільтр; 8 — дозерний пристрій

Дослідження виконувались на двох дизелях, що на початок випробувань мали однаковий ресурс (позиції 2, 3 на рис. 1). Під час випробувань дизелі експлуатувались на рівних між собою навантаженнях. У випадку, коли потужності двох дизелів (на яких проводились дослідження) було недостатньо для забезпечення судових потреб в електричній енергії, використовувався третій дизель (позиція 4 на рис. 1). Також лише цей дизель використовувався у випадку, коли для забезпечення потрібності судна в електричній енергії вистачало потужності одного дизеля.

Як спосіб, що забезпечує підвищення структурних характеристик моторного мастила, було обрано додавання поверхнево-активних речовин (ПАР). В науково-дослідницькій лабораторії було визначена оптимальна концентрація ПАР в об'ємі моторного мастила, за якою забезпечуються максимальна самоорганізація наноструктурних плівок пластичного металу на поверхнях тертя. У подальшому (під час експлуатації судового дизеля) це сприяє виникненню додаткового розклинювального тиску між контактними поверхнями, через який зменшуються знос поверхонь вкладишів підшипників.

До системи мащення одного з дизелів (позиція 1 на рис. 1) за допомогою дозерного пристрою (позиція 8 на рис. 1) додавалась ПАР. Для визначення впливу ПАР на технічний стан вкладишів підшипників по закінченні регламентного терміну експлуатації підшипникових вузлів проводилась оцінка зносу їх несучих поверхонь. Для цієї мети визначався знос вкладишів підшипників. Стан вкладишів підшипників СДВЗ в системі мащення якого не використовувалась ПАР показано на рис. 2.

Ураховуючи нерівномірність навантаження на різні циліндри дизеля, технічний стан підшипникових вузлів відрізняється один від одного. Це особливо проявляється у нерівномірному зносі вкладишів підшипників. При цьому вкладиші циліндрів підшипників, що розташовані ближче до споживача енергії (гвинту або електричному генератору), мають більший знос порівняно з вкладишами, що знаходяться далі від споживача енергії. Тому як найбільш інформативні на рис. 2 та рис. 3 подані вкладиші 1-го та 2-го циліндрів, знос яких був мінімальний, та 5-го та 6-го циліндрів, знос яких був максимальний.

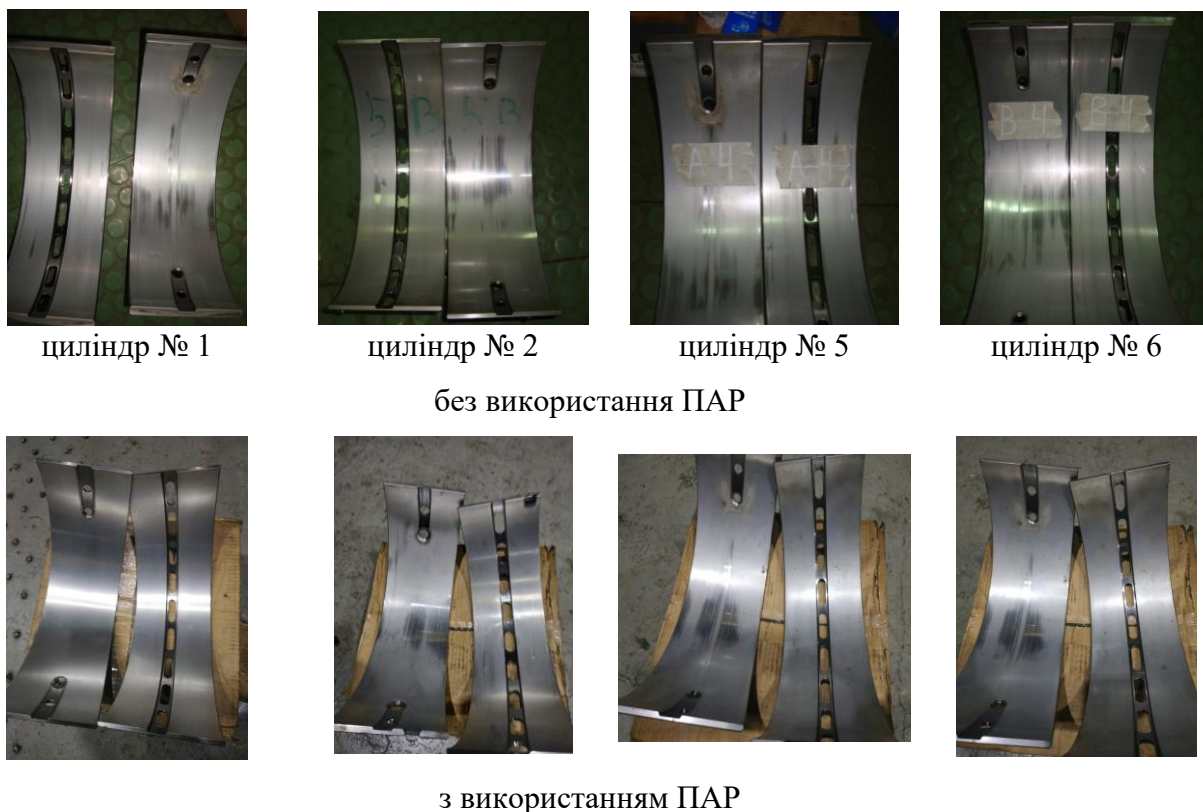


Рисунок 2 — Стан підшипників дизелів 6ML185 фірми CSSC Marine Power за різних умов експлуатації системи мащення

Висновки. Проведеними дослідженнями встановлено взаємозв'язок самоорганізації наноструктурних плівок пластичного металу на поверхнях тертя з енергетичними втратами, що виникають під час експлуатації підшипників ковзання суднових дизелів та стають причиною зносу поверхонь вкладишів підшипників. Підвищення самоорганізації наноструктурних плівок, яке досягається шляхом додавання до моторних мастил поверхнево-активних речовин, сприяє зменшенню енергетичних втрат в суднових дизелях, яка виражається в зниженні зносу вкладишів підшипників.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sagin, S., Sagin, A., Zablotskyi, Y., Fomin, O., Píšťek, V., Kučera, P. (2025). Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings. *Lubricants*, 13, 146. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040146>
2. Khlopenko, M., Gritsuk, I., Sharko, O., Appazov, E. (2024). Increasing the accuracy of the vessel's course orientation. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(2(75)), 25–30. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.298518>
3. Sagin, S., Sagin, A. (2023). Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(1(73)), 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>
4. Petrychenko, O., Levinskyi, M., Prytula, D., Vynohradova, A. (2023). Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects. *Transport Systems and Technologies*, 41, 96-106. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>
5. Stoliaryk, T. (2022). Analysis of the operation of marine diesel engines when using engine oils with different structural characteristics. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(1(67)), 22–32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265868>

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ У СПЕЦІАЛЬНИХ РАЙОНАХ КОНТРОЛЮ ЗА ВИКИДАМИ

Сагін С.В., Куропятник О.А.

Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)

Вступ. Забезпечення екологічних показників суднових дизелів у спеціальних районах контролю за викидами є актуальною проблемою, яка виникає під час експлуатації суден морського транспорту. Екологічні показники суднових дизелів регламентується вимогами Міжнародної конвенції MARPOL. Одним з них є емісія оксидів сірки. Викиди SO_x регламентуються масовим вмістом сірки у судновому паливі. З 01.01.2020 р. відповідно до Annex VI MARPOL вміст сірки у паливі не повинен перевищувати 0,1 % за умови експлуатації судна в зонах спеціального екологічного контролю (Sulphur Emission Control Areas — SECAs) та не більше 0,5 % під час експлуатації судна поза районами SECAs [1]. Спеціальні зони SECAs визначені Міжнародною морською організацією (ІМО) та показані на рис. 1 [2].

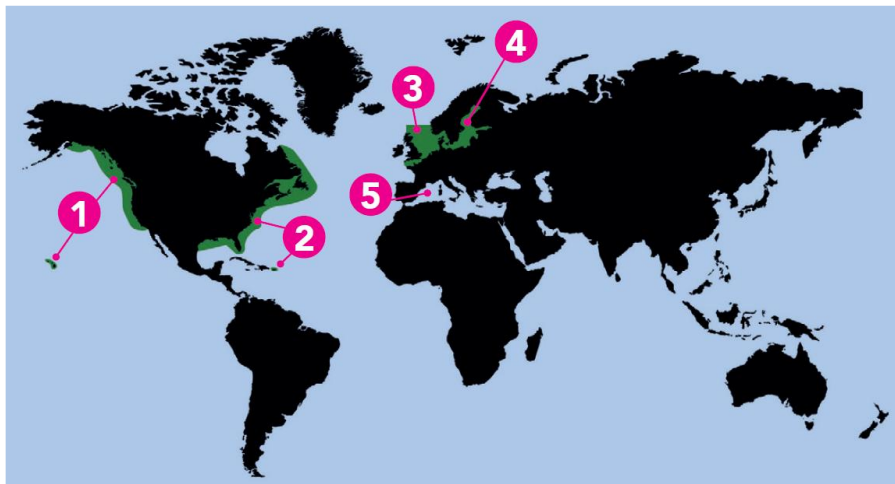


Рисунок 1 — Райони SECAs відповідно до вимог ІМО:

1 — The North American SECA; 2 — US Caribbean SECA; 3 — The North Sea SECA; 4 — The Baltic Sea SECA; 5 — All EU Ports

Актуальність досліджень. Використання палива із вмістом сірки понад 0,5 % за масою можливе лише за умови додаткового очищення випускних газів у спеціальних технічних пристроях (якими зазвичай встановлюються скрубери) [3]. У разі управління екологічною безпекою навігаційного переходу за допомогою додаткового очищення випускних газів контролюється відношення SO_2 (ppm)/ CO_2 (%) після скрубера. Ця величина не повинна перевищувати значення 4,1 SO_2/CO_2 під час знаходження судна в SECAs і значення 21,7 SO_2/CO_2 під час знаходження судна за межами SECAs. Дослідження, що спрямовані на контроль та управління емісією оксидів сірки, у своїй більшості присвячені використанню скрубєрних систем очищення, а також переведенню дизелів на паливі з низьким (не більш за 0,1 %) на наднизьким (до 0,05 %) вмістом сірки [4].

Постановка задачі. Задачею дослідження була оцінка енергетичної та екологічної ефективності різних методів, що забезпечують виконання вимог Annex VI MARPOL щодо емісії оксидів сірки під час знаходження суден морського транспорту у районах контролю за викидами.

Результати досліджень. Дослідження виконували на двох однотипних морських спеціалізованих суднах класу Bulker Carrier дедвейтом 63300 тонн. На одному із суден використовувалася скрубєрна система додаткового очищення випускних газів від оксидів

сірки). Це дозволяло використовувати для суднових дизелів паливо із вмістом сірки до 3,5 % за масою. На другому судні додаткове очищення випускних газів не виконувалося. У зв'язку з цим під час експлуатації дизелів у SECAs використовувалося паливо DMA, під час експлуатації дизелів за межами SECAs використовувалося паливо RME180. На цьому судні була реалізована технологія, яка дозволяє застосовувати біодизельне паливо, як таке використовувалося паливо B30 класу FAME [5, 6]. Основні характеристики палив наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 — Характеристики палив

Параметр	RMG380	RME180	DMA	FAME B30
В'язкість за 50 °C, сСт	329	184	12,8	36,3
Густина за 15 °C, кг/м ³	986	928	896	914
Вміст сірки, %	2,7	0,48	0,082	0,018
Температура спалаху, °C	81	73	67	71
Теплотворна здатність, кДж/кг	39070	40480	43420	36890

Під час дослідження обидва судна здійснювали навігаційний перехід між портами Aughinish (Ireland) та Tallinn (Estonia) з проміжним заходом до портів Scagen (Denmark), Kalundborg (Denmark), Gdynia (Poland). Під час руху з порту Aughinish до порту Scagen судна заходили до Baltic SECA. План навігаційного переходу наведено на рис. 2.

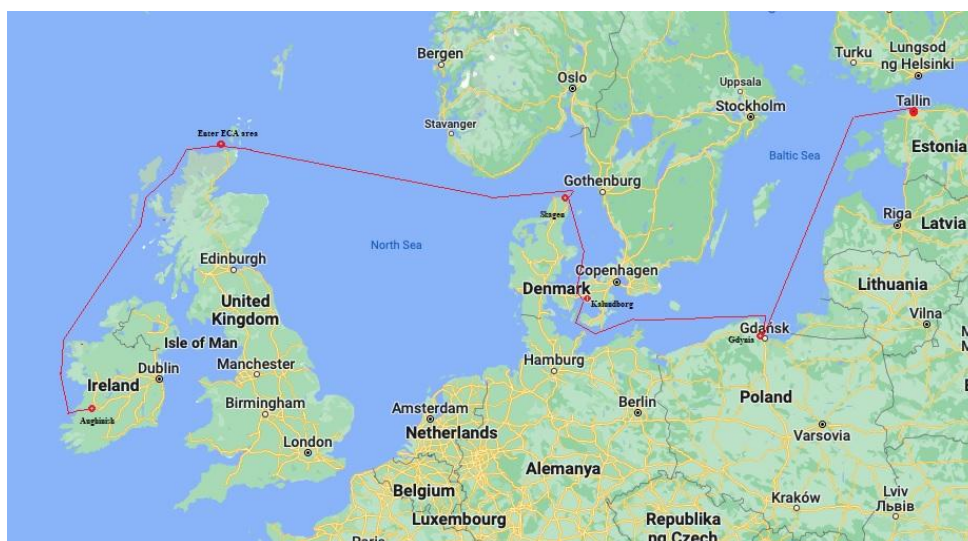


Рисунок 2 — План навігаційного переходу

Порівняння екологічності роботи обох суден виконувалося за відносним значенням

$$E_{CO^+} = \frac{\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{IMO} - \left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{EKC}}{\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{IMO}};$$

де $\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{IMO}$ — відношення емісії діоксиду сірки до діоксиду вуглецю, що регламентується вимогами ІМО під час використання на суднах скрубберної системи очищення випускних газів від оксидів сірки;

$\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{EKC}$ — відношення емісії діоксиду сірки до діоксиду вуглецю під час експлуатації відповідної схеми зниження емісії оксидів сірки (скрубберного очищення або

біодизельного палива).

Під час всього навігаційного переходу обидва судна перевозили однакові вантажі та виконували однакові вантажні операції у портах розвантаження. Це забезпечувало ідентичність зовнішніх умов під час проведення експериментів та ідентичність навантажень на головний двигун суден. Також ідентичним для кожного із суден підтримувалися навантаження на допоміжні двигуни. Це забезпечувалося однаковими навантаженнями на судові споживачі енергії [7].

Результати досліджень (для навігаційного переходу, характеристики якого наведені на рис. 2) наведені на рис. 3.

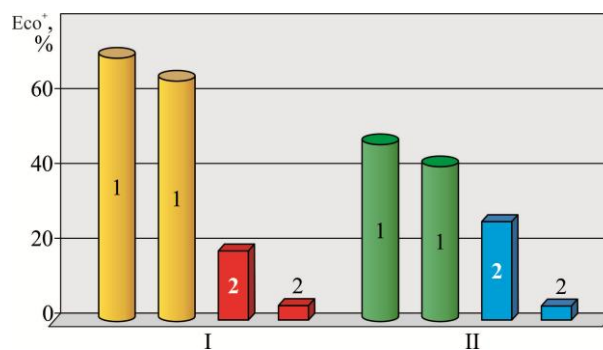


Рисунок 3 — Зміна екологічної стійкості судна класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн за різних способів управління екологічною безпекою:

1 — використання системи скрубберного очищення; 2 — використання паливної суміші з біодизельним паливом; I — робота у SECA; II — робота поза SECA

Використання методів управління екологічною безпекою завжди пов'язане з підвищенням витрат енергії з їхнього забезпечення. У разі системи скрубберного очищення додаткові витрати енергії пов'язані з використанням насосів морської води та буферних насосів. Крім того, використання скрубберного очищення на 1,0...1,5 % знижує потужність головного та допоміжних двигунів. Це пов'язане з підвищенням аеродинамічного опору в газовипускній магістралі дизелів. У разі використання паливної суміші, що містить біодизельне паливо, додаткові витрати енергії пов'язані з роботою насоса біодизельного палива та дозерної установки, що забезпечує додавання біодизельного палива у паливну магістраль. Номограма, що відображає втрати потужності під час використання різних методів, наведено на рис. 4.

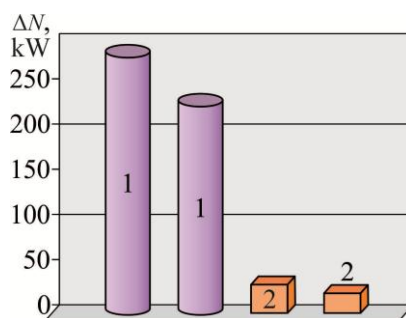


Рисунок 4 — Втрати потужності за різних способів управління екологічною безпекою судна класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн:

1 — використання системи скрубберного очищення; 2 — використання паливної суміші, до складу якої входить біодизельне паливо

Висновки. Управління екологічною безпекою навігаційних переходів є одним із складових, які визначають роботу суден морського транспорту. Особливо актуальною є підтримка екологічної безпеки для районів Північної Європи, в яких створені спеціальні

екологічні райони контролю викидів оксидів сірки.

Виконання міжнародних вимог щодо рівня емісії SO_x можливе шляхом додаткового очищення випускних газів, а також за рахунок використання палива з низьким вмістом сірки. У першому випадку випускні гази піддаються очищенню у спеціальних скруберах, у другому — використовується біодизельне паливо, вміст сірки в якому не перевищує 0,02 %.

Ефективність використання методів управління екологічною безпекою може бути оцінена за екологічною стійкістю судна. Чим вище значення екологічної стійкості – тим від максимально можливих значень емісії SO_x перебувають поточні значення емісії SO_x. Метод використання додаткового очищення випускних газів у скруберах характеризується найвищою екологічною ефективністю. При цьому використання як методу управління екологічною безпекою біодизельного палива також забезпечує високий рівень екологічної стійкості.

До недоліків методів керування екологічною безпекою відносяться втрати потужності дизеля, які пов'язані з додатковим аеродинамічним опором у газопускній магістралі. Також вимагає додаткових витрат енергії додаткове обладнання, яке забезпечує функціонування систем очищення газів або підготовки палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sagin, S.V., Sagin, S.S., Madey, V. (2023). Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (3(72)), 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
2. Petrychenko, O., Levinskyi, M., Goolak, S., Lukoševičius, V. (2025). Prospects of Solar Energy in the Context of Greening Maritime Transport. *Sustainability*, 17, 2141. <https://doi.org/10.3390/su17052141>.
3. Sagin, S., Sagin, A. (2023). Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(1(73)), 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.
4. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O. (2023). Development measures to enhance the ecological safety of ships and reduce operational pollution to the environment. *Sci. J. Silesian Univ. Technol. Series Transp.*, 118, 195–206. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.13>.
5. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. (2023). Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel. *Applied Ocean Research*, 140, 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
6. Sagin, S., Sagin, A. (2023). Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(1(73)), 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.
7. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. (2024). Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport. *Renewable Energy*, 224, 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ

Сагін С.В., Руснак Д.Ю.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Питанням екологічної безпеки суден морського та внутрішнього водного транспорту приділяється особлива увага. Найбільші збитки довкілля завдаються судновою енергетичною установкою, внаслідок роботи якої утворюються такі шкідливі компоненти, як незгорілі вуглеводні, тверді частинки, оксиди азоту, парникові гази та сполуки сірки. У той час як на утворення ряду небезпечних компонентів, що входять до складу випускних газів, можна впливати за рахунок спеціальної організації процесів в циліндрі двигуна, емісія сірковмісних компонентів цілком і повністю визначається вмістом сірки в паливі.

Принциповим питанням є те, що досягнення нормативних показників щодо викидів оксидів сірки SO_x може бути отримано в результаті використання спеціальних видів низькосірчистого палива (зі вмістом сірки не більш за 0,5 % за масою) або шляхом очищення випускних газів в спеціальних периферійних пристроях двигунів, у випадку, коли судновий дизель експлуатується на високосірчистих сортах палива (зі вмістом сірки до 3,5 % за масою). Основним документом, що регламентує вміст сірки у судновому паливі та вимоги якого повинні забезпечуватися під час експлуатації дизелів, що встановлені на суднах морського та внутрішнього водного транспорту, є Конвенція MARPOL [1].

Актуальність дослідження. Розв'язанню даній проблемі присвячені матеріали та рекомендації міжнародних організацій: IMO (International Maritime Organization — Міжнародна морська організація), ICS (Міжнародна палата судноплавства — International Chamber of Shipping), ISO (Міжнародна організація зі стандартизації — International Standard Organization), а також міжнародних морських реєстрів Lloyd's Register (Великобританія), Bureau Veritas (Франція) та American Bureau of Shipping (США), які є членами IACS (Міжнародна асоціація класифікаційних товариств — International Association Classification Societies), а також дослідження багатьох науковців [2, 3].

Постановка задачі. Задачею дослідження був аналіз технологій, що спрямовані на забезпечення відповідності суднових дизелів міжнародним екологічним нормам щодо викидів оксидів сірки.

Результати дослідження. Одним з варіантів, які забезпечують виконання вимог MARPOL щодо емісії оксидів сірки SO_x та вмісту сірки у судновому паливі є використання альтернативних видів палива.

За своїми хімічними та фізичними характеристиками альтернативні види палива суттєво відрізняються від традиційних палив нафтового походження, що використовуються у енергетичних установках суден морського транспорту. Перш за все це пов'язано з наднизькою, а іноді з повною відсутністю сірки у цих видах палива. До основних видів палива, використання яких може повністю або частково замінити використання палива нафтового походження відносяться: зріджений природний газ (Liquefied Natural Gas — LNG), зріджений нафтовий газ (Liquefied Petroleum Gas — LPG), метанол, аміак, водень, паливо біологічного походження / біопаливо (біодизель чи біогаз).

Зріджений природний газ (LNG) — це чисте і безпечне суднове паливо. Воно відповідає вимогам Аппех VI MARPOL. Через повну відсутність сірки у своєму складі LNG становить собою паливо з нульовим викидом оксиду сірки і майже нульовим викидом твердих частинок. LNG використовується як паливо для суднових дизелів з початку 2000-х років. LNG є широко доступним паливом — експортери та імпортери LNG існують майже у всіх регіонах світу. За оцінками Exxon Mobil, 12 % палива, яке

передбачається використовувати до 2040 року, буде газом. LNG є однією з екологічних альтернатив важкого палива нафтового походження. Використання LNG сприяє зниженню викидів сірчистих сполук на 90...95 %. Упродовж останніх років чимало нових суден було спроектовано саме під використання LNG як основного палива. Рік від року спостерігається збільшення кількості замовлень на судна, що працюють на LNG. Динаміку розвитку суден морського транспорту на LNG паливі наведено на рис. 1.

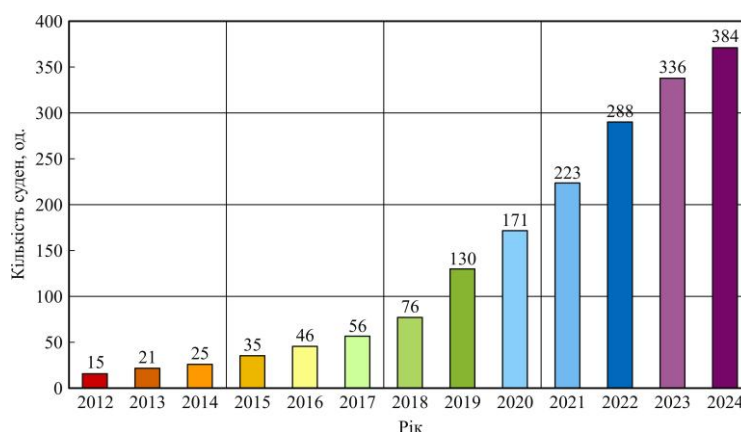


Рисунок 1 — Динаміка розвитку суден морського транспорту на LNG паливі

Переваги палива LNG:

- є екологічно чистим паливом;
- розвинена інфраструктура і логістика;
- криогенні паливні системи для LNG, газові турбіни, поршневі двигуни виробляються в промислових масштабах і доступні.

Недоліки палива LNG:

- проблеми бункерування, пов'язані зі спеціальним обладнанням;
- паливні баки займають в 3...4 рази більше місця в порівнянні з суднами, які працюють на традиційному паливі;
- зберігатися LNG може виключно в спеціальних криогенних цистернах [4].

Зріджений нафтовий газ (LPG) – деякими суднобудівниками розглядається як основний вид палива на танкерах, що його транспортують. Одночасно з цим, технічних перешкод для використання LPG суднами різних розмірів – від океанських пасажирських лайнерів до невеликих транспортних суден або суден технічного флоту не існує.

Переваги LPG як палива:

- низька вартість (близька до LNG);
- низькі інвестиційні витрати.

Недоліки LPG як палива – відсутність бункерувальної інфраструктури.

Метанол займає друге місце після LNG в рейтингу перспективних альтернативних видів палива для використання в дизелях морських суден. Метанол частіше виготовляється з природного газу. Його собівартість становить половину ціни на газ. Виробництво метанолу з поновлюваних джерел енергії робить його зеленим паливом для судноплавства.

Переваги метанолу як палива у порівнянні з нафтовим паливом:

- екологічно чисте паливо, що відповідає правилам в зонах контролю викидів;
- економічно вигідне з точки зору витрат на зберігання і інфраструктури для бункерування;
- вартість переобладнання суден для роботи на метанолі значно менше, ніж під час конверсії на LNG або LPG;
- існування схвалених стандартів для метанолу як морського палива;

- швидко розчиняється у воді та швидко випаровується — що зменшує його негативний вплив на довкілля у випадку аварійного розливу (у порівнянні з розливом нафти);

- може вироблятися з природного газу, вугілля і відновлюваних джерел;
- доступність бункрування завдяки існуючій інфраструктурі.

Недоліки метанолу як палива — екологічна небезпека через підвищений рівень випарованості в разі аварійних викидів або розливу метанолу під час його виробництва, транспортування, використання.

Аміак — хімічна речовина, що є варіантом чистого палива, яку можна використовувати в суднових дизелях для отримання корисної роботи.

Переваги аміаку як палива:

- не містить вуглецевого компоненту, отже, не виділяє CO та CO₂;
- забезпечує викиди оксидів азоту NO_x у необхідних межах;
- практично необмежена сировинна база;
- розвинена інфраструктура і логістика — виробляється в усьому світі і транспортується через більшість портів.

Недоліки аміаку як палива:

- відсутність бункрувальної інфраструктури;
- висока вартість;
- високі викиди парникових газів;
- інвестиційні витрати на необхідні системи безпеки.

Динаміку розвитку суден морського транспорту, що використовують аміак як паливо наведено на рис. 2.

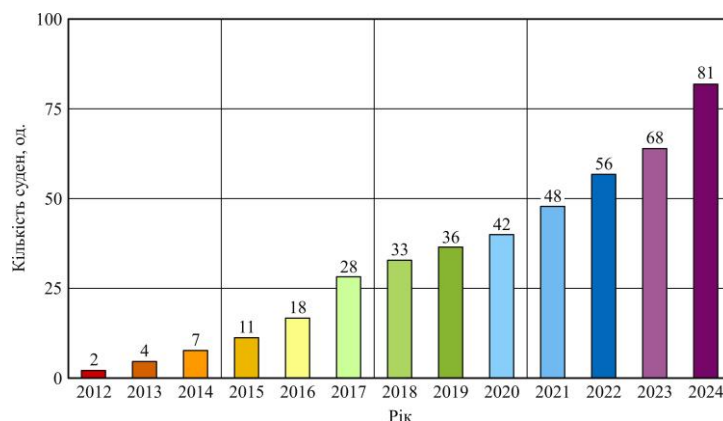


Рисунок 2 — Динаміка розвитку суден морського транспорту, що використовують аміак як паливо

Водень — саме екологічно чистий вид палива. Отримують з природного газу або шляхом електролізу. На судах водень в зрідженому стані поміщається в компресійні резервуари або зберігається у вигляді хімічної сполуки. Переваги водню як палива — нульові викиди в разі виробництва з поновлюваних джерел енергії.

Недоліки водню як палива:

- відсутність бункрувальної інфраструктури;
- високі інвестиційні витрати на виробництво, зберігання, паливні елементи;
- додаткові витрати на необхідні системи безпеки;
- відсутність правил використання водню як палива.

Паливо біологічного походження / біопаливо. Дизеля суден морського та внутрішнього водного транспорту можуть використовувати як біопаливо біодизель (у рідкому стані) або біогаз (у газоподібному стані). Біодизель — це синтетичний вид палива,

що виробляють з біологічної сировини (рослинна олія, тваринний жир, водорості тощо) в процесі хімічної реакції [5].

Переваги використання біопалива – знижені викиди оксидів сірки SO_x , азоту NO_x та вуглецю CO_2 та CO .

Недоліки використання палива:

- обмежена бункрувальна інфраструктури та логістика;
- підвищена вартість.

Динаміку розвитку суден морського транспорту, що використовують паливо біологічного походження як основне джерело енергії, або у складі суміші з паливом нафтового походження, наведено на рис. 3.

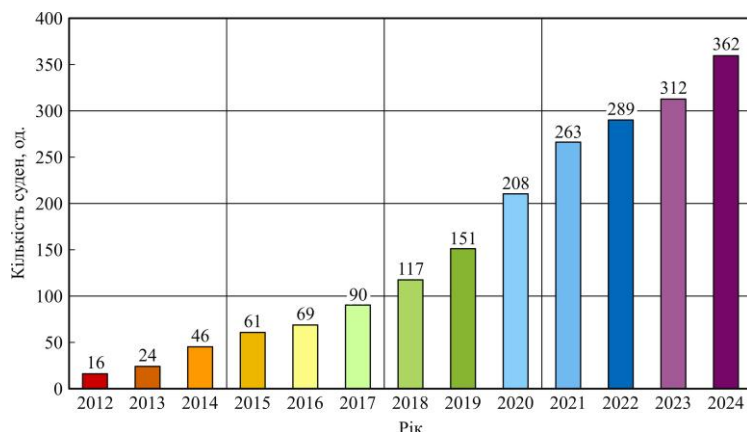


Рисунок 3 — Динаміка розвитку суден морського транспорту, що використовують паливо біологічного походження як основне джерело енергії, або у складі суміші з паливом нафтового походження

До технологічних метолів, що сприяють зниженню емісії оксидів сірки з випускними газами відноситься використання акумуляторних батарей паливних елементів. Подібні інноваційні технології актуальні для суден, які пересуваються переважно на низькій швидкості, експлуатація яких здійснюється у прибережних морських акваторіях, а також на внутрішніх водних шляхах [6].

Динаміка розвитку суден морського та внутрішнього водного транспорту, що використовують акумуляторні батареї для забезпечення руху, наведена на рис. 4.

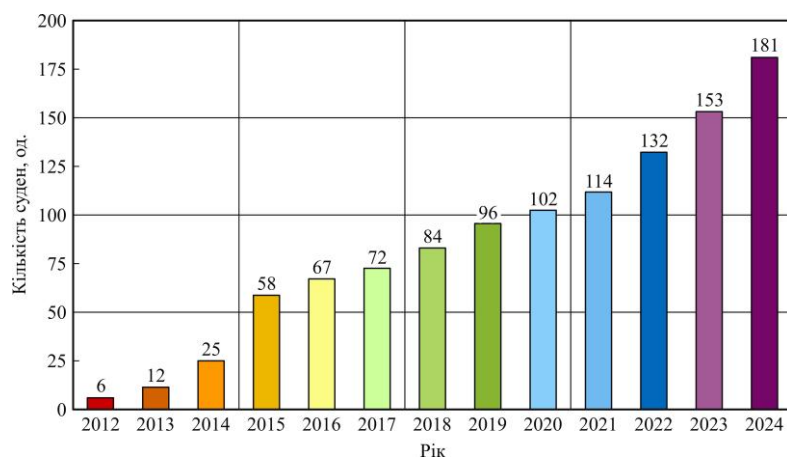


Рисунок 4 — Динаміка розвитку суден морського та внутрішнього водного транспорту, що використовують акумуляторні батареї для забезпечення руху

Переваги акумуляторів, як джерела руху суден морського та внутрішнього водного транспорту — висока екологічність (нульові викиди під час використання електроенергії

від відновлюваних джерел).

Недоліки акумуляторів:

- значні витрати на зберігання - повністю електричні системи можливі тільки для дуже обмеженого числа типів і розмірів суден;
- обмежена за часом ефективність та необхідність поновлення від іншого автономного джерела енергії.

Висновки. Експлуатація суден морського та внутрішнього водного транспорту повинна виконуватися з забезпеченням міжнародних екологічних норм щодо викидів оксидів сірки. Досягнення цієї мети можливо за рахунок використання альтернативних видів палива, які (на відміні від палива нафтового походження) характеризуються наднизькою, а іноді з повною відсутністю сірки у своєму складі.

До основних видів палива, використання яких може повністю або частково замінити використання палива нафтового походження відносяться: зріджений природний газ (Liquefied Natural Gas — LNG), зріджений нафтовий газ (Liquefied Petroleum Gas — LPG), метанол, аміак, водень, паливо біологічного походження / біопаливо. Кожне з вказаних видів альтернативного палива володіє перевагами як у порівнянні з паливом нафтового походження, також і у порівнянні з іншими альтернативними паливами.

Вибір альтернативного палива з метою зниження рівню емісії оксидів сірки з випускними газами судових дизелів залежить від конструкції паливної апаратури та комплектації паливних систем дизеля, від характеристик та призначення судня а також від району його експлуатації..

ЛІТЕРАТУРА

1. Petrychenko, O., Levinskyi, M., Goolak, S., Lukoševičius, V. (2025). Prospects of Solar Energy in the Context of Greening Maritime Transport. *Sustainability*, 17, 2141. <https://doi.org/10.3390/su17052141>.
2. Sagin, S.V., Sagin, S.S., Madey, V. (2023). Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (3(72)), 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
3. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Pířtřek V., Kuřcera P. (2024). Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport. *Renewable Energy*, 224, 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
4. Kolegaev, M., Brazhnik, I. (2024). Improvement of the process of preparing cargo tanks of crude oil tankers for cargo operations. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(1(80)), 36–40. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.318534>.
5. Sagin, S., Kuropyatnyk, O., Rusnak, D. (2025). Improvement of the process of cleaning exhaust gases of marine diesels from sulfur oxides. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(1(84)), 72–79. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.337616>.
6. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Pířtřek V., Kuřcera P. (2024). Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport. *Renewable Energy*, 224, 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Самарін О.Є.

Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Суднові дизельні двигуни протягом більш ніж ста років залишаються головними силовими установками у світовому судноплаванні. Вони забезпечують високу надійність, значний моторесурс і прийнятний рівень економічності. Водночас сучасні тенденції морського транспорту визначають нові виклики: зростання цін на паливо, жорсткі міжнародні екологічні норми, вимоги до скорочення викидів CO₂ та NO_x. Це стимулює науковців і суднобудівників до пошуку ефективних методів підвищення паливної економічності.

Актуальність досліджень. Паливо складає понад 50 % експлуатаційних витрат судноплавних компаній. Зменшення питомої витрати навіть на 1–2 % дозволяє економити десятки тисяч доларів на рік для одного середньотоннажного судна. Крім економічних чинників, вирішальне значення мають екологічні: скорочення викидів SO_x, NO_x і CO₂ у рамках виконання MARPOL Annex VI. Таким чином, дослідження методів підвищення паливної економічності є стратегічно важливим завданням.

Постановка задачі. Метою статті є проведення комплексного аналізу методів підвищення паливної економічності суднових дизелів.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. Дослідити теплотехнічні показники дизельних двигунів.
2. Проаналізувати конструктивні рішення для підвищення ефективності.
3. Розглянути експлуатаційні та організаційні заходи економії палива.
4. Виконати порівняльну оцінку методів і визначити найбільш перспективні.

Результати досліджень.

1. Теплотехнічний аналіз.

Питомі витрати палива (SFOC) залежать від ефективної потужності двигуна N_e та витрати палива G_t :

$$b_e = (G_t / N_e) \times 3600, \quad (1)$$

де G_t — витрата палива, кг/год;

N_e — ефективна потужність, кВт.

Ефективність визначається також як ККД:

$$\eta_e = \eta_t \times \eta_m, \quad (2)$$

де η_t — термічний ККД,

η_m — механічний ККД.

2. Конструктивні методи.

До конструктивних рішень належать:

- оптимізація системи упорскування палива (електронне керування форсунками);
- застосування турбонаддуву з проміжним охолодженням;
- використання систем рециркуляції газів (EGR);
- зниження маси рухомих деталей, що скорочує механічні втрати.

3. Експлуатаційні методи.

Включають підтримання оптимального теплового стану двигуна, своєчасне очищення фільтрів і форсунок, використання мастил з низьким коефіцієнтом тертя.

4. Організаційні заходи.

Оптимізація швидкості руху судна, планування рейсів за допомогою цифрових систем, утилізація теплоти відпрацьованих газів (Waste Heat Recovery).

Таблиця 1 — Ефективність основних методів підвищення економічності

Метод	Економія палива, %	Додаткові переваги
Оптимізація упорскування	2–4	Зниження димності
Турбонаддув з intercooler	4–6	Збільшення потужності
Економічна швидкість судна	5–10	Менший знос
Waste Heat Recovery	3–5	Електроенергія

Таблиця 2 — Порівняння характеристик палив для суднових дизелів

Тип палива	Нижча теплота згоряння, МДж/кг	Викиди CO ₂ , г/МДж	Особливості
Мазут (HFO)	40,2	77	Низька вартість, високі SO _x
Дизельне паливо (MDO)	42,7	74	Краща чистота згоряння
Зріджений природний газ (LNG)	50,0	56	Низькі SO _x і CO ₂

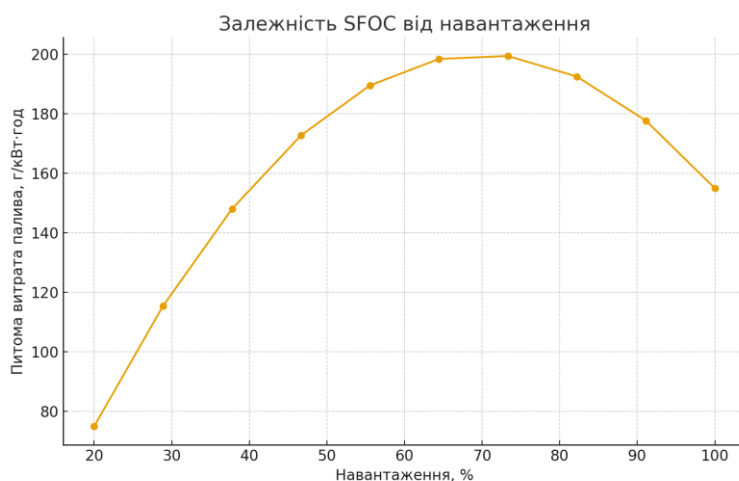


Рисунок 1 — Залежність питомої витрати палива від навантаження



Рисунок 2 — Вплив швидкості судна на витрату палива

Висновки.

1. Паливна економічність суднових дизелів залежить як від конструктивних характеристик, так і від умов експлуатації та організації роботи флоту.
2. Найбільш перспективними методами є електронне упорскування, застосування турбонаддуву з intercooler та систем утилізації теплоти відпрацьованих газів.
3. Значного ефекту можна досягти за рахунок переходу на LNG, що забезпечує до 20 % економії та суттєве зниження викидів.
4. Поєднання конструктивних, експлуатаційних і організаційних заходів дозволяє знизити питомі витрати палива на 10–20 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. MAN Energy Solutions. Basic Principles of Ship Propulsion. Copenhagen, 2021.
2. Wärtsilä Marine Solutions. Energy Efficiency Technologies. Helsinki, 2022.
3. IMO. MARPOL Annex VI. London, 2020.
4. Слободянюк В.М., Дьяков С.П. Суднові дизельні двигуни. Одеса: Астропринт, 2018.
5. Тарасов А.В. Энергоефективность морского транспорта. Київ: Либідь, 2019.
6. Pérez J., Smith T. LNG as Marine Fuel. Journal of Marine Engineering, 2021.
7. DNV GL. Energy Efficiency Technologies for Ships. Report, 2020.
8. Mitsui Engineering. Diesel Engine Efficiency Improvement. Tokyo, 2019.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ

Самарін О.Є.

Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Сучасне судноплавство перебуває в умовах посилення вимог до зниження викидів шкідливих речовин та оптимізації витрат палива. Енергоефективність суднових двигунів є ключовим чинником у зменшенні експлуатаційних витрат і негативного впливу на довкілля. Міжнародна морська організація (ІМО) встановлює жорсткі стандарти енергоефективності (EEDI, SEEMP), що стимулює пошук нових рішень у сфері проектування, експлуатації та модернізації суднових енергетичних установок [1].

Проблема енергоефективності суднових двигунів набула глобального значення в умовах зростання обсягів світових морських перевезень. За оцінками експертів, на судноплавство припадає понад 250 млн тонн використаного палива щороку. Це призводить не лише до високих витрат експлуатантів, а й до викидів оксидів сірки, азоту та діоксиду вуглецю, які негативно впливають на довкілля.

Актуальність досліджень. З огляду на глобальні тенденції декарбонізації та розвиток «зеленої» енергетики, підвищення енергоефективності суднових двигунів стає необхідною умовою конкурентоспроможності світового флоту. Використання традиційних дизельних двигунів супроводжується значними викидами CO₂, SO_x та NO_x, тому актуальними напрямками є впровадження альтернативних видів палива (LNG, метанол, водень, аміак), застосування систем рекуперації енергії та інтелектуальних систем керування режимами роботи двигунів. Підвищення енергоефективності двигунів є основним напрямом розвитку суднобудування та експлуатації флоту [2].

Постановка задачі. Метою дослідження є аналіз сучасних тенденцій забезпечення енергоефективності суднових двигунів, визначення основних шляхів зменшення витрат палива та зниження викидів у відповідності до міжнародних екологічних стандартів. Завдання полягає у:

- систематизації сучасних технологій підвищення енергоефективності;
- дослідженні впливу альтернативних палив на роботу двигунів;
- оцінці перспектив впровадження цифрових рішень для оптимізації експлуатації.

Результати досліджень. Міжнародна морська організація (ІМО) визначила низку нормативів, які зобов'язують судовласників зменшувати витрати палива. Основними показниками є [3]:

1. EEDI (Energy Efficiency Design Index) — індекс енергоефективності для нових суден.
 2. EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) — індекс для діючих суден.
 3. CII (Carbon Intensity Indicator) — показник інтенсивності викидів вуглецю.
- Формально індекс енергоефективності можна подати як співвідношення:

$$E = (FC \times Cf) / (DWT \times Vref) \quad (1)$$

де: FC — річне споживання палива (тонн/рік);
Cf — коефіцієнт перетворення палива у CO₂;
DWT — дедвейт судна;
Vref — референсна швидкість.

Серед сучасних тенденцій забезпечення енергоефективності суднових двигунів можна виділити:

1. Використання альтернативних палив.
Альтернативні види палива [4]:

- зріджений природний газ (LNG). Перехід на зріджений природний газ (LNG) дозволяє зменшити викиди CO₂ на 20–25% та майже повністю усунути викиди SO_x;
- метанол та аміак — мають перспективу як палива з нульовим вмістом сірки;
- водень — у поєднанні з паливними елементами забезпечує повну відсутність CO₂ викидів.

Перспективними є водень та аміак, які розглядаються як безвуглецеві енергоресурси.

2. Рекуперація теплової енергії. Впровадження систем утилізації тепла вихлопних газів (WHR — Waste Heat Recovery) забезпечує додаткову генерацію електроенергії, що знижує навантаження на допоміжні генератори [5].

3. Гібридні енергетичні установки. Комбінування дизельних двигунів із системами зберігання енергії (акумуляторами або суперконденсаторами) дозволяє зменшити споживання палива при змінних режимах руху судна [6].

Гібридні силові установки поєднують дизель-генератори з акумуляторними батареями. Це дозволяє:

- економити паливо при маневруванні;
- працювати безшумно в екологічних зонах;
- зменшувати навантаження на основні двигуни.

Розрахунок економії палива для гібридної системи можна виразити так:

$$S = ((FC0 - FCh) / FC0) \times 100\%, \quad (2)$$

де: FC0 — витрати палива традиційної установки;

FCh — витрати гібридної установки;

S — відсоток економії.

4. Оптимізація гідродинаміки. Використання сучасних конструкцій гвинтів, систем обробки поверхні корпусу та пристроїв для зменшення опору руху дає змогу скоротити витрати енергії до 10–15% [2, 3].

5. Цифровізація процесів управління. Впровадження систем моніторингу в реальному часі та алгоритмів машинного навчання дозволяє адаптувати режими роботи двигунів до змінних умов експлуатації, підвищуючи ефективність на 5–7% [4, 5].

Цифровізація експлуатації судових двигунів передбачає:

- використання систем Big Data для прогнозування зносу;
- інтелектуальне регулювання швидкості залежно від погодних умов;
- впровадження автоматизованих систем енергоменеджменту.

Приклад — система «Smart Ship», яка здатна оптимізувати маршрут судна з урахуванням погодних факторів, забезпечуючи до 7–10% економії палива.

6. Оптимізація двигунів внутрішнього згоряння.

Сучасні двигуни отримують [6]:

- електронне керування упорскуванням;
- системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR);
- каталітичні нейтралізатори (SCR).

Таблиця 1 — Зниження викидів при застосуванні сучасних технологій

Технологія	Зниження CO ₂ , %	Зниження NO _x , %	Зниження SO _x
LNG	20...25	80	100
SCR	-	70...90	-
EGR	-	40...60	-
Біопаливо	10...15	30...50	100

7. Організаційні та експлуатаційні заходи, що впливають на навантаженість двигуна.

- Окрім технічних інновацій, важливими є [4]:
- slow steaming — зменшення швидкості на 10% забезпечує до 20% економії палива;
 - технічне обслуговування — очищення корпусу від біологічного обростання зменшує опір руху на 8–10%.
 - підготовка екіпажу — підвищення кваліфікації сприяє ефективному управлінню двигунами.

Таблиця 2 — Орієнтовний вплив експлуатаційних заходів на економію палива

Захід	Орієнтовна економія палива, %
Slow steaming (–10% V)	15...20
Очищення корпусу	8...10
Очищення гвинта	3...5
Автоматизація управління	5...7

Результати аналізу свідчать, що комплексний підхід до підвищення енергоефективності, який поєднує використання альтернативних палив, сучасних технологій та цифрових рішень, є найбільш перспективним для сучасного морського транспорту.

Висновки.

1. Підвищення енергоефективності суднових двигунів є ключовим завданням сучасного судноплавства у зв'язку з екологічними вимогами та економічними факторами.

2. Основними напрямками розвитку є застосування альтернативних видів палива, використання систем рекуперації тепла, впровадження гібридних установок та цифрових технологій управління.

3. Перспективи галузі пов'язані з переходом до безвуглецевих палив (водень, аміак) та інтеграцією інтелектуальних систем управління, що забезпечить відповідність міжнародним стандартам та конкурентоспроможність світового флоту.

Виконання цих заходів дозволить досягти стратегічної мети – поступового зниження викидів та переходу світового флоту до вуглецево-нейтрального судноплавства до 2050 року.

ЛІТЕРАТУРА

1. IMO. Energy Efficiency Measures. International Maritime Organization, 2023.
2. MAN Energy Solutions. Marine Engine Efficiency Guide. Hamburg, 2022.
3. Wärtsilä Corporation. Future Fuels in Shipping: LNG, Ammonia, Hydrogen. Helsinki, 2023.
4. ABS (American Bureau of Shipping). Guide for Energy Efficiency in Marine Systems. Houston, 2021.
5. DNV. Maritime Forecast to 2050: Decarbonization of Shipping. Oslo, 2023.
6. Соколенко, М. П., Шульгін, А. О. Енергоефективність та екологічність суднових енергетичних установок. Одеса: ОНМУ, 2020.
7. Коршунов, В. М. Сучасні технології оптимізації роботи суднових двигунів. Київ: Наук. думка, 2021.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИСТРОЇВ КЕРУВАННЯ ПОТОКОМ

Щедролосєв О.В., Соценко В.В., Коновалова Г.В.

Херсонський навчально-наукового інститут

Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

(Україна)

Вступ. Проблема підвищення енергоефективності суден є однією з ключових у сучасному суднобудуванні. Зростання цін на паливо, посилення міжнародних екологічних вимог і прагнення до зниження викидів вуглекислого газу зумовлюють необхідність пошуку нових технічних рішень для зменшення енергоспоживання. Одним із ефективних напрямів є використання пристроїв керування потоком, які оптимізують обтікання корпусу та покращують роботу гвинто-рульового комплексу. Завдяки цьому можливо досягти зниження витрат палива без зміни головної енергетичної установки судна.

Постановка задачі. Метою роботи є аналіз сучасних технічних рішень у галузі керування потоком навколо корпусу судна та оцінка ефективності застосування цих пристроїв для зменшення гідродинамічних втрат. Досягнення поставленої мети передбачає розгляд різних типів пристроїв, принципів їхньої дії, результатів моделювання та практичних прикладів використання.

Гідродинамічна ефективність судна визначається взаємодією потоку з корпусом, гребним гвинтом і кермом. Через нераціональний розподіл швидкостей у кормовій частині виникають енергетичні втрати, що знижують загальний коефіцієнт корисної дії рушійного комплексу. Для зменшення цих втрат застосовують різні пристрої керування потоком (flow control devices), які сприяють вирівнюванню потоку, створенню передобертання води перед гвинтом та зменшенню турбулентності за ним.

До найпоширеніших пристроїв керування потоком належать:

- пристрої, що встановлюються після гребного гвинта (ESDs AFT);
- пристрої, що встановлюються до гребного гвинта (ESDs FWD);
- ефективний кермовий пристрій.

ESDs AFT

Принцип роботи

Вихор у маточині гребного гвинта виникає внаслідок з'єднання граничних вихорів, які утворюються на лопатях гвинта. Кожна лопать створює власний вихор, що споживає енергію і ці вихори зливаються за маточиною гвинта, утворюючи концентрований вихор.

Тому застосування ковпака маточини з кількістю крилець, що відповідає кількості лопатей гвинта, може зменшити з'єднання цих вихорів і, таким чином, підвищити ефективність роботи гвинта.

Форма та інтенсивність вихору залежать від поля сліду судна й тривимірного характеру потоку на площині гвинта, від конструкції самої лопаті, характеру її навантаження поблизу маточини, а також від типу та конструкції ковпака з крильцями на маточині гвинта.

Потенційні переваги

Покращення ефективності за допомогою ковпака маточини з крильцями (Propeller Boss Cap Fin, PBCF) залежить від характеру притоку потоку до гвинта, конструкції самого гвинта, а також типу й форми ковпака маточини. У середньому, згідно з результатами модельних випробувань, очікуване підвищення ефективності становить від 1,4 % до 1,7 %.

Промисловий досвід

У найкращих випадках під час модельних випробувань зафіксовано підвищення ефективності до 2,8 %. Аналіз експлуатаційних даних двох автомобілевозів показав приріст ефективності від 1,57 % до 3,02 % (у середньому 2,3 %). Водночас у разі невдалої

конструкції ковпака з крильцями, яка не була оптимізована під конкретні умови, у перевірочних дослідженнях спостерігалися відсутність покращення або навіть погіршення ефективності.



Рисунок 1 — Ковпак маточини (Propeller Boss Cap Fin)

ESDs FWD

Принцип роботи

Не всі форми корпусів суден отримують однакову користь від застосування енергозберігаючих пристроїв. Судна з великим коефіцієнтом повноти об'єму корпусу, такі як танкери та балкери, мають більший ефект від їх використання, ніж контейнеровози зі струнким корпусом.

Пристрої попереднього закручування потоку (Pre-Swirl Devices, PSD) зазвичай застосовуються на танкерах, балкерах, контейнеровозах і універсальних суднах. Такі пристрої, як правило, не використовуються на великих двокілевих газовозах (LNGC), оскільки через низький коефіцієнт тяги очікувані енергетичні переваги є незначними.

Усі подібні пристрої мають бути оптимізовані під конкретну форму корпусу судна. Крім того, гребний гвинт також повинен проєктуватися з урахуванням вибраної конфігурації пристрою, адже останній впливає на частоту обертання гвинта та, відповідно, на запас потужності (light running margin).

Потенційні переваги

Потенційний приріст ефективності від застосування пристроїв попереднього закручування потоку (Pre-Swirl Devices, PSD) залежить від рівня енергетичних втрат у кормовій частині конкретної форми корпусу судна та від коефіцієнта тяги гвинта в даному випадку.

У найкращих умовах, за результатами модельних випробувань, очікуваний приріст ефективності може досягати близько 9 %. У менш сприятливих випадках, коли втрати потоку в кормовій частині незначні, прогнозоване підвищення становить лише близько 2 % або навіть менше.

Промисловий досвід

Є вагомі підстави вважати, що попередні прогнози ефективності PSD у натурних умовах були надто оптимістичними. Відповідно до останніх досліджень, у реальному масштабі судна фактичні прирости ефективності становлять лише 64-77 % від раніше прогнозованих значень.

Зазвичай енергозберігаючі пристрої (ESD), розташовані перед гвинтом, особливо ті, що створюють попереднє закручування потоку, спричиняють збільшення навантаження на гвинт і, відповідно, зменшення запасу потужності (light running margin). Як наслідок, якщо судно працює на тій самій частоті обертання головного двигуна, його швидкість

може незначно зрости, однак це супроводжується невеликим підвищенням витрати палива.



Рисунок 2 — Пристрої попереднього закручування потоку

Ефективний кермовий пристрій

Проектування керма — це складне завдання, головною метою якого є зменшення енергоспоживання та, для швидкохідних суден, запобігання кавітації керма.

Під час проектування необхідно враховувати такі основні вимоги:

- нове кермо й гребний гвинт повинні проектуватися одночасно, особливо у випадку побудови нового судна;
- забезпечення хорошої маневрової здатності, що має особливе значення для суден, які працюють у вузьких або обмежених морських акваторіях;
- достатня курсова стійкість (часто є проблемою для суден із повним корпусом, наприклад, танкерів і балкерів);
- здатність утримувати курс за сильного бокового вітру, що є особливо важливим для суден із великою парусністю, таких як контейнеровози, автомобілевози та круїзні лайнери.

Промисловий досвід

Беручи добре оптимізоване стандартне кермо за базовий рівень, можна очікувати такі покращення при використанні керма підвищеної ефективності:

- кермо із крученням (twist rudder) та кермовою бульбою — уже став своєрідним промисловим стандартом у багатьох сучасних проєктах контейнеровозів; забезпечує приблизно 2,2 % підвищення енергоефективності;
- кермо із крученням, кермовою бульбою та додатковими крильцями (fins) — використовується в найсучасніших проєктах балкерів і танкерів, зокрема у Південній Кореї та Японії; забезпечує приблизно 3,2 % економії потужності;
- високоефективне кермо з асиметричною лопаттю, великою кермовою бульбою та інтегрованим ковпаком маточини гвинта (наприклад, система Wärtsilä EnergoPac) дає змогу досягти приблизно 4,0 % зменшення необхідної потужності.

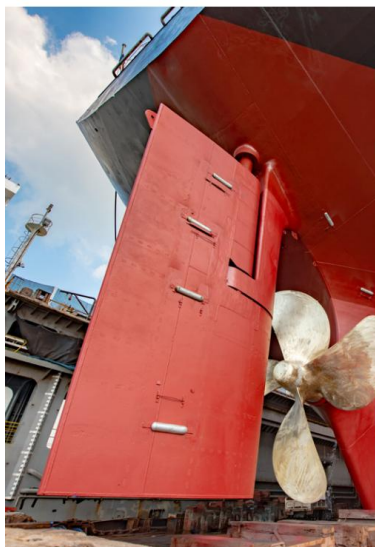


Рисунок 3 — Кермо підвищеної ефективності

Висновки. Використання пристроїв керування потоком є одним із найефективніших способів підвищення енергоефективності суден без кардинальної перебудови їхньої енергетичної системи. Результати досліджень свідчать, що навіть часткове впровадження таких пристроїв може забезпечити суттєву економію палива та зменшення викидів CO₂. Подальший розвиток напрямку пов'язаний із удосконаленням CFD-моделювання, розробкою адаптивних систем керування потоком та інтеграцією цих технологій у процес проєктування нових суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Uncad. Review of maritime transport 2023. <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023> (дата звернення: 01.10.2025).
2. DNV. Decarbonization maritime: Overcoming challenges with innovation and ingenuity. <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/decarbonizing-maritime-overcoming-challenges-with-innovation-and-ingenuity/> (дата звернення 11.07.2025).
3. Dr.-Ing. Uwe Hollenbach, Dipl.-Ing. Oliver Reinholz. Hydrodynamic Trends in Optimizing Propulsion. HSVA. https://www.marinepropulsors.com/smp/files/downloads/smp11/Paper/WA2-3_Hollenbach.pdf (дата звернення 23.08.2025).
4. Flaminia Spinelli, Simone Manchini, Luigi Vitello, Rasul Niazmand Bilandi, Maria De Carlini. Shipping Decarbonization: An Overview of the Different Stern Hydrodynamic Energy Saving Devices. MDPI. <https://www.mdpi.com/2077-1312/10/5/574> (дата звернення 04.10.2025).

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МОТОРНИХ МАСТИЛ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Чимшир В.І., Разінкін Р.О.

*Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Двигуні внутрішнього згоряння (ДВЗ) / дизелі, що встановлюються на судах морського та внутрішнього водного транспорту та виконують функції головних та допоміжних двигунів, вже більш за 50-ти років займають домінуюче положення в порівнянні з іншими типами на теплових двигунів (паровими котлами, паровими та газовими турбінами). Основною тенденцією в розвитку судових дизелів є підвищення їх циліндрової та агрегатної потужності, а також техніко-економічних показників, що багато в чому залежить від якості моторних мастил (ММ), які забезпечують процеси їх мащення та охолодження. Під час виконання цих функцій мастила поступово, а в деяких випадках стрибкоподібно, втрачають експлуатаційні показники – перш за все в'язкість та загальне лужне число. Основною підставою цього є потрапляння до мастила забруднюючих частинок (як результат неповного згоряння) та знос контактних поверхонь (втулка — поршневі кільця та вкладиш підшипника — колінчатий вал). Основним методом видалення з мастила забруднюючих частинок та продуктів зносу для циркуляційних систем мащення є фільтрація мастила [1, 2].

Актуальність дослідження. У судових дизелях застосовується в основному безперервне очищення мастила, тобто мастило очищається безперервно на протязі всієї роботи дизеля. Надійність безперервного очищення мастила забезпечується її багатоступеневістю:

- перший ступінь – попереднє очищення — здійснюється сітчастими фільтрами мастило приймачами, що встановлюються в циркуляційних мастильних баках або картерах дизелів для захисту від попадань в систему мащення випадкових домішок великого розміру та для захисту від пошкоджень мастильного насоса.

- другий ступінь — грубе очищення — здійснюється повнопотоковими фільтрами грубого очищення (ФГО) мастила різних конструкцій; ФГО очищує мастило від частинок забруднень розміром 40...250 мк та як і фільтри за допомогою яких здійснюється приймання мастила (особливо під час використання мастил з високими диспергируючими властивостями) виконує захисні функції;

- третій ступінь — тонке очищення — здійснюється фільтрами тонкого очищення (ФТО) мастила або відцентровими очисниками мастила, які часто називають центрифугами або сепараторами; на цьому ступені мастило зазвичай очищується від частинок забруднення розміром понад 4...5 мк;

- четвертий ступінь — додаткове очищення — здійснюється в порожнинах шатунних шийок колінчастих валів завдяки відцентровим силам; крім того, додаткове очищення мастила може здійснюватися магнітними або хімічними фільтрами, а також в додатковому обладнанні за рахунок гравітаційних та електричних методів.

У комплекс заходів, здатних привести до підвищення експлуатаційної надійності судових дизелів, входить ефективна регенерація експлуатаційних характеристик мастильних матеріалів. Одним з методів, що забезпечують процес регенерації експлуатаційних властивостей ММ, є їх фільтрація.

Постановка задачі. Метою дослідження є розробка комплексу науково-технічних рішень, які сприяють забезпеченню експлуатаційних показників судових моторних мастил.

Результати дослідження. У системах циркуляційного мащення сучасних ДВЗ (особливо таких, що працюють за чотиритактним циклом) домінуюче положення в

системах тонкого очищення ММ займають повно-потоківі та комбіновані схеми. Це обумовлено зростанням форсування дизелів, використаних палив погіршеної якості, підвищення механічних навантажень та температурних градієнтів в контактуючих поверхнях [3, 4].

Однієї з підстав широкого розповсюдження повнопотокового тонкого очищення ММ (в порівнянні з частковопотоковим) з'явилося переведення роботи судових ДВЗ з легких дизельних палив (тобто таких, в'язкість яких за 40 С не перевищувала 15...20 сСт) на важкі остаткові (в'язкість яких за 40 С на першому етапі знаходилась в межах 150...180 сСт та згодом була збільшена до 380...500 сСт та вище – до 750 сСт). Таким чином, фільтри, що виконували очищення лише деякої частини від загального потоку мастила та встановлювались в системі мащення ДВЗ за байпасною схемою, не здатні були ефективно видаляти дрібнодисперсні нерозчинні продукти забруднення, що потрапляли до циркуляційного мастила під час його знаходження на поверхнях циліндрової втулки та поршневих кілець (що неминусе стається в судових чотиритактних дизелях). Одночасно з цим став неможливим захист дизеля від абразивного зношування лише через використання повнопотокових ФГО, ефективність яких була недостатня для видалення дрібних домішок та збереження на високому рівні ресурсних показників дизелів [5, 6].

Використання в системі циркуляційного мащення дизелів повнопоточного очищення та встановлення за цих умов фільтрів тонкого очищення мастила сприяло підвищенню надійності захисту їх контактуючих поверхонь від небезпечних частинок забруднення та забезпечувала низьку концентрацію нерозчинних продуктів в ММ, які прискорюють його окислення [7, 8]. Одночасно з цим, проходження через повнопотоковий фільтр з поверхневими фільтруючим елементом (ФЕ) всього потоку мастила, що йде до через свердлення в колінчатому валу в внутрішню магістраль дизеля (на мащення рамових та мотильових підшипників), сприяло підвищенню інтенсивності його очищення від загальних і зольних нерозчинних продуктів [9].

На теперішній час повнопотокове тонке очищення ММ (коли через фільтр проходить все мастило, що прямує в внутрішню мастило-розподільну магістраль) практично витіснила системи частковопотокові системи очищення, в яких на байпасній магістралі встановлювались частковопотокові фільтри, та зумовило надійний захист контактуючих поверхонь дизеля від абразивних частинок.

Застосування повнопотокових фільтрів тонкого очищення мастила (ФТОМП) сприяло також зниженню загального забруднення ДВЗ вуглецевими відкладеннями, тому що забезпечувало підтримку концентрації дрібнодисперсних нерозчинних продуктів в ММ, яке викликає його інтенсивне окислення та старіння. Також позитивні результати за цим показником мали комбіновані комплекси очищення мастила, яке поєднували послідовне встановлення та використання ФГО та відцентрових сепараторів.

Це зумовлює те, що в теперішній час більшість ДВЗ (особливо середньо- та високообертових) мають циркуляційну систему мащення, в якій через фільтр, який встановлюється в нагнітальній магістралі перед мастильним холодильником, проходить весь потік мастила, що прямує на мащення деталей двигуна. Вихідна номінальна тонкість відсіву фільтрувальних матеріалом (ФМ), що використовується в цих фільтрах, зазвичай становить 15...25 мкм. Це означає, що до контактних поверхонь дизеля частки з розмірами вище зазначених практично не потрапляють.

Ефективність ФТОМП в порівнянні з ФГО і комбінації останніх з частковопотоковими фільтрами показана на рис. 1, якій відображає знос поверхонь l_h деяких вузлів дизелів та трудомісткість робіт T_f , що пов'язані з обслуговуванням цих фільтрів.

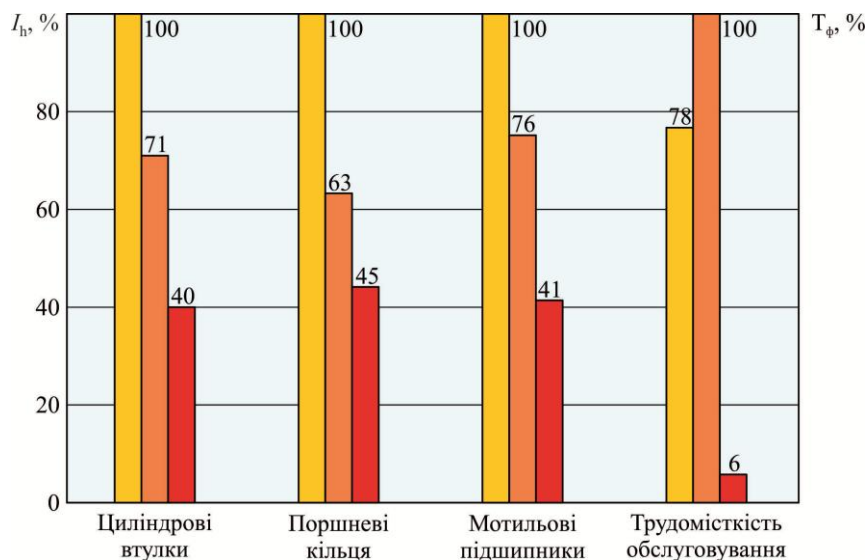


Рисунок 1 — Знос основних деталей дизелів I_h та трудомісткість обслуговування T_ϕ фільтрів під час використання в циркуляційних системах мащення різних схем очищення:
1 — грубе очищення; 2 — частково потокове очищення; 3 — повно потокове очищення

Як впливає з рис. 1, найменший знос I_h вузлів ДВЗ спостерігається під час застосування повнопотокових фільтрів тонкого очищення мастила. Найбільший вплив за цим показником повнопотокове очищення ММ надає на стан вкладишів мотильових і рамових підшипників, і відповідних шийок колінчатого вала двигуна, що пов'язано з більш інтенсивної циркуляцією абразивних частинок через ці вузли в порівнянні з іншими.

Швидкість зношування вкладишів і шийок колінчатого валу під час застосуванні ФТОМП в 1,85 рази менше ніж під час очищення мастила частковопотоковими фільтрами. Якщо в системі мащення дизелі здійснюється тільки грубе очищення, то різниця в зносі порівнюваних варіантів досягає 2,44 рази.

За поршневим кільцям ефект від дії повнопотокового тонкого фільтрування в порівнянні з частковопотокового в комбінації з ФГО не такий значний. В цьому випадку досягається зменшення швидкості зношування цих деталей в 1,4 рази. У порівнянні з грубим очищенням, додаткове підключення частковопотокових фільтрів знижує зношування поршневих кілець на 35...37 %. Застосування ФТОМП зменшує знос цих деталей відносно ФГО на 53...56 % (див. рис. 1).

Зіставлення даних по швидкості зношування циліндрових втулок показує, що тонке очищення ММ в порівнянні з грубим покращує цей показник в 1,4...2,1 рази. Верхня межа поліпшення процесу зношування відповідає застосуванню повнопотокової схемі тонкого очищення мастила, нижня — частковопотокової.

Основні показники різних типів очищувачів мастила, які використовуються в системах мащення ДВЗ, свідчать, що номінальна тонкість більшості повнопотокових агрегатів тонкого очищення знаходиться в діапазоні 20...50 мкм, частково потокових — 5...25 мкм. Імовірність захисту пар тертя дизеля від потрапляння великих часток у частково- і повнопотокових очищувачах знаходиться відповідно в межах 5...40 % та 80...100 %.

Питома інтенсивність видалення загальних нерозчинених домішок у частковопотокових очищувачах набагато вище, ніж у повнопотокових: $(1,6...3,4) \cdot 10^{-9}$ проти $(0,15...2,6) \cdot 10^{-9}$ м/(с·кг). При цьому у центрифуг і сепараторів вона в кілька разів вище ніж у фільтрів. Однак останні перевершують відцентрові очищувачі за таким показником, як час, що необхідний для постійного обслуговування, питома трудомісткість обслуговування та питомі енерговитрати на роботу очищувача

Висновки. В результаті проведених досліджень зробимо висновки, що забезпечення експлуатаційних показників моторних мастил, що використовуються в системах мащення суднових дизелів можливо шляхом:

1) комбінованого фільтрування через розмежування функцій очищення мастила між агрегатами системи мащення; при цьому фільтруванням повного потоку здійснюється надійний захист двигуна від небезпечних абразивних частинок з високою (25...40 мкм) тонкістю їх відсіву, частково поточним фільтруванням підвищується інтенсивність очищення мастила від дрібнодисперсних нерозчинених домішок;

2) розмежування функцій очищувачів повного і часткового потоків;

3) зниження «грязьового» навантаження на повно потокові фільтруючі елементи;

4) підвищенням інтенсивності очищення в частковопоточних фільтруючих елементах;

5) збільшенням надійності роботи фільтруючих елементів конструктивними і технологічними методами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kučera, O., Pištěk, V., Fomin, O., Kučera, P., Sagin, S. (2025). Measuring Device for More Precise Mistuning Identification of Integrated Bladed Discs. *Symmetry*, 17, 717. <https://doi.org/10.3390/sym17050717>

2. Sagin, S.V., Semenov, O.V. (2016). Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors. *American Journal of Applied Science*, 13(2), 200–208. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2016.200.208>

3. Sagin, S., Sagin, A., Zablotzkyi, Y., Fomin, O., Pištěk, V., Kučera, P. (2025). Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings. *Lubricants*, 13, 146. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040146>

4. Petrychenko, O., Levynskyi, M., Prytula, D., Vynohradova, A. (2023). Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects. *Transport Systems and Technologies*, 41, 96–106. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>

5. Sagin, S., Sagin, A. (2023). Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(1(73)), 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>

6. Stoliaryk, T. (2022). Analysis of the operation of marine diesel engines when using engine oils with different structural characteristics. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(1(67)), 22–32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265868>

7. Sagin, S.V., Solodovnikov, V.G. (2017). Estimation of Operational Properties of Lubricant Coolant Liquids by Optical Methods. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12, 8380–8391.

8. Goolak, S., Riabov, I., Petrychenko, O., Kyrychenko, M., & Pohosov, O. (2025). The simulation model of an induction motor with consideration of instantaneous magnetic losses in steel. *Advances in Mechanical Engineering*, 17(2). <https://doi.org/10.1177/16878132251320236>

9. Khlopenko, M., Gritsuk, I., Sharko, O., Appazov, E. (2024). Increasing the accuracy of the vessel's course orientation. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(2(75)), 25–30. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.298518>

СЕКЦІЯ:
СУЧАСНІ ПІДХОДИ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ
ІНДУСТРІЇ ДЛЯ ЇЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

SECTION
MODERN APPROACHES TO THE TRAINING OF MARITIME INDUSTRY
SPECIALISTS FOR ITS SUSTAINABLE DEVELOPMENT

ІНЖИНІРИНГ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ СУДНОРЕМОНТУ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ

Агєєв М.С.¹, Дзигар А.К.¹, Сарсенбаєв Б.С.²

*¹Херсонська державна морська академія
(Україна)*

*²Морська академія Каспійського державного університету
технології та інжинірингу ім. Ш. Єсєнова.
(Казахстан)*

Вступ. Морська галузь є однією з найбільш технологічно складних та стратегічно значущих сфер світової економіки. Ефективність експлуатації флоту, стійкість морських перевезень та безпека мореплавання значною мірою залежать від рівня технічного обслуговування та своєчасного проведення судноремонтних робіт [1]. Сучасні судна оснащені високотехнологічними енергетичними установками, автоматизованими системами управління, складним навігаційним обладнанням та безліччю допоміжних механізмів, що вимагає від інженерного персоналу глибоких знань та високих професійних компетенцій.

В умовах зростання технічної складності суден, цифровізації виробництва та впровадження інтелектуальних систем моніторингу зростають вимоги до кваліфікації фахівців, які беруть участь в організації та виконанні судноремонту. Інжиніринг у судноремонті передбачає застосування науково обґрунтованих методів проектування ремонтних процесів, оптимізацію технологічних операцій, аналіз технічного стану обладнання та прийняття рішень на основі даних діагностичних систем. Управління судноремонтними процесами включає планування, контроль якості, управління ресурсами, оцінку ризиків та забезпечення взаємодії між учасниками ремонтного циклу [2].

Таким чином, ця стаття присвячена аналізу ролі інжинірингу та управління процесами судноремонту у професійній підготовці майбутніх фахівців морської галузі, а також розгляду сучасних підходів, що сприяють удосконаленню освітнього процесу у цьому напрямі.

Актуальність дослідження. На тлі глобальної модернізації суднобудівних та судноремонтних підприємств зростає потреба у фахівцях, які мають не лише глибокі технічні знання, а й компетенції в галузі управління технологічними процесами, ресурсами та якістю ремонту. Для майбутніх фахівців морської галузі формування компетенцій у галузі інжинірингу та управління ремонтними процесами є важливим елементом професійної підготовки. Тому вивчення освітніх компонент, пов'язаних із судноремонтом та технічною експлуатацією флоту, є найважливішою частиною підготовки морських інженерних кадрів. Майбутні морські інженери повинні розуміти не тільки конструктивні особливості судових систем, а й закономірності їх зносу, методи діагностики, принципи планування ремонтів і критерії оцінки технічного стану.

Таким чином, дослідження питань інжинірингу та управління судноремонтом у контексті підготовки майбутніх морських інженерів є актуальним та затребуваним як для освітнього середовища, так і для практичної діяльності підприємств морської галузі.

Постановка задачі. Розробити пропозиції щодо вдосконалення професійної підготовки здобувачів освіти, спрямовані на формування компетенцій у галузі інжинірингу та управління судноремонтними процесами.

Ще одна важлива задача вдосконалення програми: допомогти випускникам знайти найкращу першу роботу. Додаткові навички дозволять випускникам, які оснащені лише традиційною навчальною програмою, випереджати конкурентів.

Результати дослідження. Однією з основних проблем є відносно низька готовність випускників до роботи на берегових інженерних посадах: на суднобудівних заводах, інженерних компаніях чи технічних відділах судновласників. Багато випускників морських закладів, які розпочинають свою кар'єру в судноплавних компаніях, незабаром можуть виконувати функції портових інженерів, координуючи технічне обслуговування та ремонт суден. Сучасна освітньо — професійна програма підготовки морського інженера має бути розроблена таким чином, щоб забезпечити здобувачам освіти міцну базу у галузі фундаментальних інженерних наук та спеціальних освітніх компонент, а також знання у галузі управління технічним обслуговуванням та ремонтом суден.

Найпершою освітньою компонентою, яку слід розглянути, є загальний курс управління морською інженерією. Щодо спеціальних предметів, які слід запровадити, найвищий пріоритет слід віддати серії курсів, які включають технічне обслуговування та ремонт суден, матеріали, виробничі процеси, основи експлуатації судноремонтних підприємств та верфей. Ці курси у поєднанні з двомісячним стажуванням на суднобудівному заводі чи аналогічному підприємстві забезпечать міцну основу для можливої роботи на береговому виробництві. Наприклад цей курс міг би мати наступний зміст: управління інженерними операціями, управління технічним обслуговуванням та контролем запасів, огляди та інспекції суден, судноремонт та докування, основи експлуатації судноремонтного підприємства, безпека судноремонтних операцій та ISM [3], економіка та контроль витрат на борту судна.

Найпопулярніший і, можливо, найпростіший спосіб ввести зміни до освітньої програми – це розробка спеціальних курсів. У більшості навчальних закладів є щонайменше один обов'язковий курс з управління операціями. Хоча він і забезпечує певні основи, він не робить істотного внеску в практичне застосування теорії в морській галузі. Добре відомо, що будь-яке доповнення до існуючих програм практично неможливо, якщо вони не пропонуються як факультативи або не є перевантаженням. Ще один спосіб включити деякі предмети з управління та ремонту до навчальної програми — це розробка нових або модернізація існуючих курсових проектів та самостійних досліджень. Ці проекти мають бути підготовлені курсантами або під час їхньої морської практики або протягом навчального року. Це може бути проект, що включає обґрунтування обраної альтернативи, або розробку плану управління проектом, або аналіз існуючих систем та обладнання та оцінку можливих змін тощо.

Комплексний дипломний проект розробляється групою (від двох до чотирьох здобувачів) старших курсів, один з основних проектів, над яким група працює протягом останнього року навчання, темою якого може бути «Проект капітального ремонту судна». Команда використовує специфікацію ремонту, отриману під час стажування чи надану науковим керівником.

Для посилення розвитку практико-орієнтованого навчання потрібно збільшити обсяг практичних та лабораторних занять, що відображають реальні умови судноремонту, запровадити навчальні модулі, присвячені проектуванню технологічних процесів ремонту, складанню дефектних відомостей та розробки ремонтної документації, організувати регулярні стажування на судноремонтних підприємствах, судноплавних компаніях та сервісних центрах, застосовувати методику занурення здобувачів у реальні виробничі ситуації (case-study), включаючи аналіз аварій, несправностей та практичних інженерних рішень. Така підготовка дозволить студентам отримати практичний досвід та підвищити рівень професійної готовності до роботи на суднах та в ремонтних підприємствах [4].

З огляду на активну цифровізацію судноремонтних процесів необхідно формувати цифрові компетенції у майбутніх морських інженерів. Для цього рекомендується створити цифрові навчальні лабораторії, оснащені системами моніторингу стану обладнання, вібродіагностичними установками, термографічними камерами та програмними платформами, впровадити цифрові тренажери та симулятори, що моделюють процеси ремонту та діагностики, навчати студентів роботі з CMMS-системами для планування та

контролю технічного обслуговування суден, застосовувати віртуальні моделі суднових систем та цифрові двійники для відпрацювання інженерних рішень, розвивати навички аналізу великих масивів даних, одержуваних систем моніторингу[5]. Цифрові інструменти дозволяють студентам освоїти сучасний підхід до управління судноремонтом та сформувати навички роботи з інтелектуальними системами.

Майбутній морський інженер повинен бути не лише фахівцем з суднової енергетики, а й управлінцем, який приймає відповідальні рішення. Для цього необхідно включити до навчального процесу курси з управління проектами, ризиками, якістю, ресурсами та виробничою логістикою, розвивати навички інженерного аналізу, критичного мислення, системного підходу та техніко-економічної оцінки, запровадити проектне навчання, в рамках якого студенти розробляють власні інженерні рішення та ремонтні проекти, формувати вміння працювати у команді, розподіляти обов'язки та контролювати виконання робіт [6]. Розвиток цих компетенцій сприятиме підготовці фахівців, здатних ефективно керувати судноремонтними процесами.

Висновки. Інжиніринг та управління процесами судноремонту є ключовими елементами ефективного функціонування морської галузі, що забезпечують своєчасне технічне обслуговування флоту, продовження терміну служби суден та підвищення їхньої експлуатаційної безпеки. Різноманітність завдань, що виконуються випускниками інженерних спеціальностей морських закладів освіти, які або ходять в рейси, або працюють на березі, потребує багатофункціональної освіти, пов'язаної не тільки з експлуатацією суден, а й значною мірою з береговими роботами. Тому базові знання про судноремонтні заводи та інші виробничі підприємства, а також навички управління технічним обслуговуванням та ремонтом суден повинні бути включені до навчальної програми морських училищ на значно вищому рівні та в ширшому обсязі, ніж це робиться зараз.

Аналіз сучасного стану судноремонтної індустрії показує, що перехід до цифрових технологій, автоматизації та інтелектуальних систем управління потребує нових професійних компетенцій від майбутніх інженерів.

Ключовими напрямками розвитку нових компетенцій є модернізація освітніх програм, розвиток практико-орієнтованого навчання, створення умов для тісної взаємодії з підприємствами галузі та впровадження цифрових технологій у навчальний процес.

Реалізація запропонованих рекомендацій дозволить підвищити якість підготовки майбутніх морських інженерів, забезпечивши їхню готовність до вирішення складних інженерно-технічних завдань в умовах сучасної судноремонтної діяльності. Це створить основу у розвиток конкурентоспроможного кадрового потенціалу морської промисловості, зміцнення її стійкості та підвищення ефективності експлуатації світового флоту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Harrington B. Shipboard Machinery Maintenance and Repair. New York: McGraw-Hill, 2018. 289 p.
2. Eriksen T. Modern Marine Engineering and Management. London: Routledge, 2022. 364 p.
3. ISM Code. International Safety Management Code, Consolidated Edition. London: IMO Publishing, 2021.
4. Taylor, D., Love R. Marine Engineering: Operation, Maintenance and Repair. London: Elsevier, 2021. 502 p.
5. DNV. Recommended Practice: Maintenance of Ship Machinery and Systems. Høvik: DNV, 2023.
6. Lloyd A. Marine Maintenance Productivity and Management. London: Taylor & Francis, 2019. 310 p.

REASONING THE USING AUTHENTIC VIDEOS AND AI VIDEO MAKER ON MARITIME ENGLISH LESSONS

I. Afanasiievskia

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

Introduction. In 2023, artificial intelligence was utilized by 250 million people, and this figure is projected to continue increasing. The age of AI has truly commenced. As time is humanity's most treasured resource, AI tools offer a means to conserve and utilize it efficiently. With the remarkable expansion of artificial intelligence and its growing integration into English language education, both technology and teaching methodologies are already undergoing transformation. Various chatbots, learning platforms, and AI applications are extensively employed in maritime English classes, which in turn enhance students' existing language skills and refine the learning process. These virtual assistants serve as outstanding resources for attaining a high level of proficiency in students' pronunciation and grammar, improving their comprehension abilities, and assisting in the real-time identification and correction of errors. Furthermore, virtual and augmented reality in maritime English classes provides students with a fully or partially immersive learning experience through realistic modeling, simulations, interactive technologies, and real-world scenarios. The frequent use of visual and auditory teaching aids captures students' attention and engages their interest, enabling them to more effectively process information through their auditory and visual perception systems. This not only leads to a better understanding of the educational content but also enhances students' capacity to acquire knowledge.

Research by Oxford and Crookall [2] indicates that the integration of visual and auditory aids in teaching enhances students' information retention during class. This is because these aids engage both auditory and visual sensory systems, facilitating a deeper understanding of the educational content. Consequently, this method substantially improves students' ability to learn foreign vocabulary and heightens their awareness, a conclusion supported by numerous global studies conducted by educators and psychologists. In her article, Mariana Shevchenko [3] also highlights the educational advantages of incorporating videos in English classes at technical higher education institutions. She argues that this approach enhances students' listening comprehension and communication skills. Her research suggests that educational films present the English language more naturally than textbook texts, act as visual contextual supports prior to reading, and effectively capture students' attention.

Research problem. the study is devoted to analyzing the potential of video context based on the application of AI—the Lumen5 platform—in maritime English classes and describing its functionality and use for developing the communicative competence of students.

Research findings. This article explores the application of AI-generated video materials, utilizing tools like Lumen5, as effective resources in maritime English language classes aimed at enhancing the communication skills of students in technical disciplines. An assessment of recent research and scholarly publications reveals that artificial intelligence is increasingly favored among contemporary tools for foreign language instruction.

In 2022, ChatGPT, a virtual assistant and chatbot featuring generative artificial intelligence and developed by OpenAI, made a significant impact globally. This system is capable of analyzing videos and proposing tasks aligned with prompts provided by the teacher, which are natural language descriptions of the tasks AI is to perform.

For classes that incorporate video materials aligned with the teaching topic, we suggest using Lumen5, an AI-driven tool designed to create videos that complement written content. A free version of this tool is available, allowing users to produce up to five videos with distinct content each month. Users can input the URL of an article or publication, or compose their own text, and Lumen5 will transform it into a video. The platform enables users to further enhance

the video by adding music, inserting new images, and modifying the format. In educational settings, Lumen5 is utilized to engage students with lesson topics, support their learning through multimedia, and assess their understanding.

Upon accessing the Lumen5 service, you can craft your own videos using the available templates and display ratios. To generate videos, you have the option to convert text into illustrated content by selecting visual effects that align with the context of the written material. The platform provides a library of free media assets, including audio tracks, images, and video clips, which users can incorporate into their creations. The adaptive visualization offered by Lumen5 personalizes learning and enhances the appeal of video content for students, thereby supporting the conclusion that this tool aids educators in developing visually engaging content by converting text materials into captivating and dynamic videos.

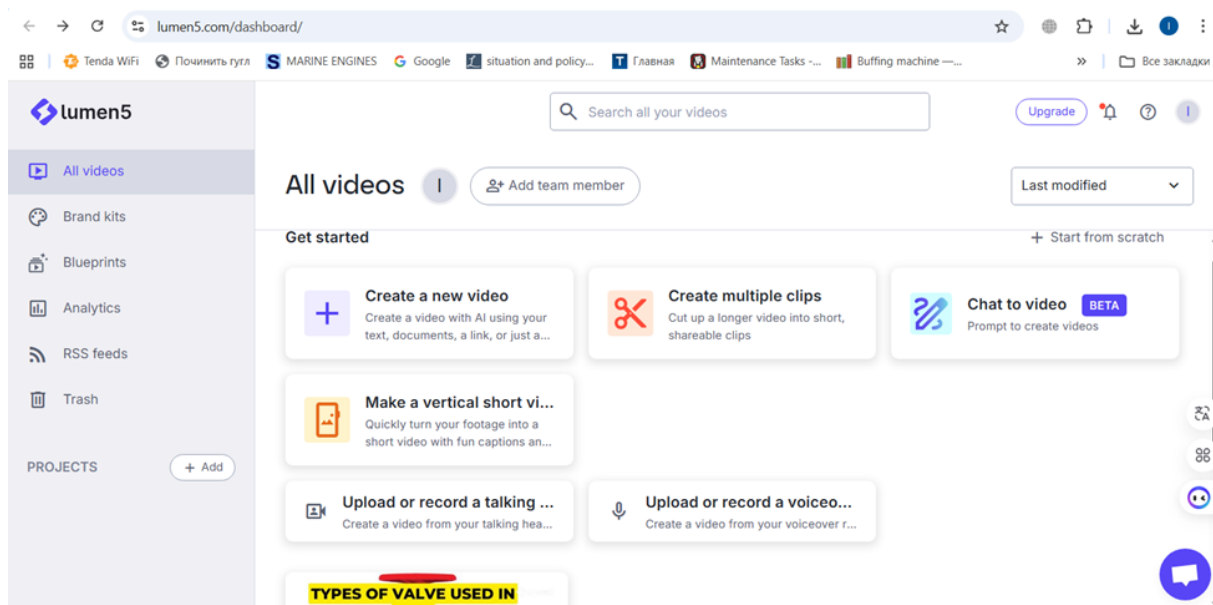


Figure 1 – Guidelines to make a video

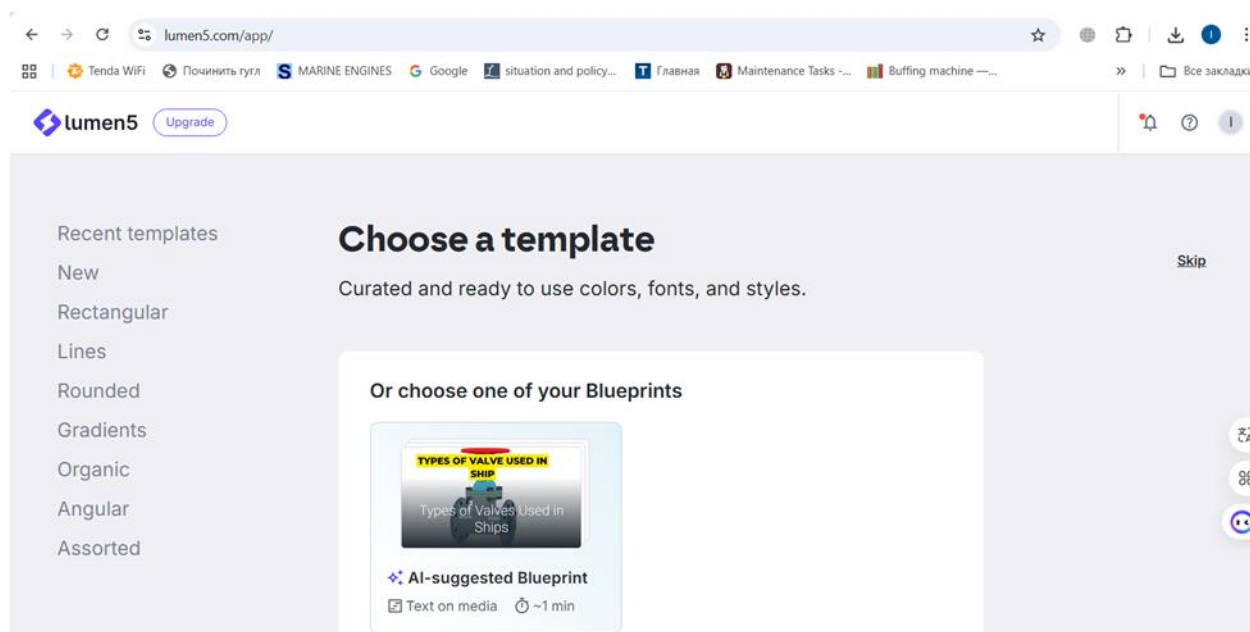


Figure 2 – Choose a template

It is worthy focusing on highlighting and analyzing in detail the key advantages and disadvantages of using AI applications to present educational material in the form of text and

video formats in education and scientific research by higher education students. Like any artificial intelligence tool, Lumen5 has its advantages and disadvantages. Here is a list of its capabilities:

Advantages of Lumen5:

1. Teachers can convert text assignments for classes into videos for students who have missed classes.
2. Students can be asked to create their own videos and provide answers to questions to test their language skills, allowing them to be creative with the help of artificial intelligence.
3. This technical tool is available at any time.
4. Integrates multimedia into the learning process.
5. Suitable for visual learning styles.
6. Easy to use.

In the conclusion, it could be mentioned that the benefits of incorporating film and series excerpts, as well as English-language programs, into educational settings include: a) the authenticity of vocabulary in the target language and its natural usage; b) the visualization of various devices of students' fields of study (maritime engineering); c) the enhancement of students' focus; d) an increase in both the productivity and duration of students' engagement; e) a boost in motivation for technical students. The integration of visual and auditory aids in teaching stimulates multiple areas of students' brains, enabling them to process information more efficiently through both auditory and visual channels. This approach not only enhances comprehension of study materials but also significantly improves students' ability to acquire foreign vocabulary while studying maritime English with videos. Furthermore, the authenticity of these educational materials provides a unique motivation for students in technical disciplines that other educational resources cannot match.

REFERENCES

1. Maibutnie bez chytannia ta tekstu: yak ShI zminyt spilkuвання <https://speka.ua/artificial-intelligence/maibutnje-bez-citannya-ta-tekstu-yak-si-zminit-spilkuвання-9dn70q>
2. Oxford Rebecca, Crookall David Vocabulary learning: A critical analysis of techniques. TESL Canada Journal. 7(2), June 1990. P.9–30. <https://doi.org/10.18806/tesl.v7i2.566>
3. Shevchenko Mariana Analysis of authentic videos as study-enhancing aids in English for specific purposes at technical universities// Young Scientist, №3 (67), March 2019. P.315-318 <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/2848/2821>

ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НПП ХДМА В УМОВАХ РЕЛОКАЦІЇ

Бень А.П., Петровський А.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Вже третій рік поспіль триває повномасштабна агресія російської федерації проти України, у зв'язку з чим Херсонська державна морська академія (ХДМА) вимушено перебуває в умовах релокації. Сьогодні вже можна впевнено сказати, що академія змогла подолати більшу частку складнощів: окупацію Херсону, вимушене переміщення викладачів по території України та інших держав світу, складнощі із зв'язком зі здобувачами вищої освіти та викладачами протягом учбових семестрів, складнощі із забезпеченням лабораторним обладнанням для проведення практикумів з освітніх компонент та інші. Академія тримає свої позиції як визнаного морського навчального закладу та адаптується до нових реалій.

Актуальність досліджень. Протягом останніх років було дуже багато зроблено, у тому числі і з підвищення якості освіти. На даний час належним чином обладнується аудиторний фонд та відбудовується тренажерна база за місцем релокації, заплановане отримання хмарних технологій симуляторів для проведення практикумів з освітніх компонент, і є стала позитивна динаміка зростання наукової активності НПП після спаду у 2022 році. Саме вона забезпечує важливі якісні показники оцінки роботи академії в цілому, підвищує її рейтинг серед інших ЗВО України. Особливої актуальності вищезазначене питання набуває в контексті прийняття 06.06.2024р Закону України 3791 «Про внесення змін до деяких законів України щодо підтримки наукової роботи в закладах вищої освіти» [1], відповідно до якого передбачається:

- збільшити час і ресурси для наукової роботи науково-педагогічних працівників;
- підвищити якість вищої освіти шляхом активнішого залучення наукових досліджень у навчальний процес.

Ключовими є зміни:

- норми навчального навантаження для НПП зменшуються в залежності від обсягу наукової роботи до 30% від загальної кількості годин на 1 ставку;
- відмова від жорсткого лімітування годин (скасовується чітке визначення конкретної кількості робочих годин на рік для наукової, навчальної та організаційно-методичної роботи);
- гнучкий розподіл навантаження (замість фіксованих годин, закон встановлює межі у відсотках для співвідношення основних компонентів роботи НПП, а конкретний розподіл ведеться самостійно в межах автономії ЗВО).

Відомо, що період 2025-2026 н.р. було визначено МОН, як перехідний період з імплементації норм Закону України 3791 у діяльність ЗВО, а остаточне впровадження його норм розпочнеться з 2026-2027 н.р., тому саме зараз вкрай важливим є визначення проблемних питань планування та виконання нормативів наукової роботи НПП ХДМА, а також пріоритетних шляхів розвитку наукової активності на майбутнє.

Основна частина. В поточних умовах важливим показником є публікаційна активність НПП, науково-дослідна та патентна діяльність. Аналізуючи вказані показники протягом трьох років перебування ХДМА у релокації, можна зазначити збереження, в цілому, наукового потенціалу академії, хоча і відбулись певні зміни окремих показників.

Так, відбулось певне зменшення кількості патентів на корисну модель, що обумовлено закінченням терміну їх дії, проте суттєво зросла кількість авторських свідоцтв та вперше з'явилися чотири авторських свідоцтва на розроблені комп'ютерні програми для судноводіїв.

Значно зросла кількість статей у фахових журналах категорії Б — на 51% (рис.1),

але водночас зменшилася кількість статей Scopus та/або WoS (табл.1).

Таблиця 1 — Інформація щодо кількості наукових публікацій НПП ХДМА у розрізі навчальних періодів [2]

Показники	Кількість		
	2022-2023	2023-2024	2024-2025
Діючі патенти	44	12	11
Авторські свідоцтва:	5	1	18
- твір	5	1	14
- комп'ютерна програма	0	0	4
Публікації, що індексуються у Scopus та/або WoS в наукових журналах	44	41	27
- публікації, що індексуються у Scopus та/або WoS в наукових журналах з кuartилями Q1-Q2	4	8	7
- публікації, що індексуються у Scopus та/або WoS в наукових журналах з кuartилями Q3-Q4	40	33	20
Публікації у фахових наукових виданнях України категорії Б	45	67	102



Рисунок 1 — Динаміка зростання кількості публікацій у фахових журналах категорії Б

Важливим чинником підтримання публікаційної активності НПП академії на належному рівні є власне наукове видання «Науковий Вісник Херсонської державної морської академії», яке зареєстроване, як друкований засіб масової інформації та видається з 2009 року.

Науковий журнал «Науковий вісник Херсонської державної морської академії» — періодичне наукове видання (ISSN print 2313-4763), яке Наказом МОН України № 886 від 02.07.2020 віднесено до категорії Б Переліку наукових фахових видань України за спеціальностями 132 — Матеріалознавство, 151 — Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 275 — Транспортні технології (за видами).

Журнал індексується українською загальнодержавною реферативною базою даних «Україніка наукова», міжнародною реферативною базою даних Google Scholar, міжнародною наукометричною базою Researchbib, міжнародній реферативній базі даних Crossref.

Журнал представлений:

- у Науковій електронній бібліотеці Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського;
- у ІАС «Українська наукова періодика» — реєстрі наукових видань України.

Також видання у PDF форматі представлено у репозитарії Херсонської державної морської академії.

Аналізуючи публікаційну активність видання з початку релокації академії, можна

відмітити позитивну динаміку зростання його показників (рис.2). Стрімкий темп було отримано у 2024-2025 навчальному році (табл.2). Можна зазначити, що у порівнянні з 2022–2023 н.р., більш ніж удвічі зросла як кількість публікацій, так і загальна кількість їх авторів.

Таблиця 2 — Зведена інформація публікацій у журналі Науковий вісник ХДМА [3]

Показники	Навчальні роки		
	2022-2023	2023-2024	2024-2025
Кількість авторів всього	38	42	65
Кількість статей всього	13	15	34
Кількість авторів від ХДМА	23	31	35
Кількість статей від ХДМА	8	12	20

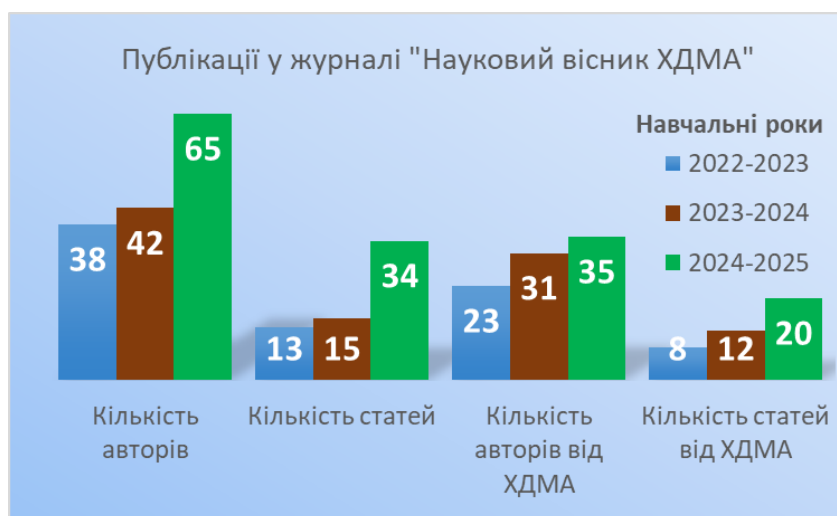


Рисунок 2 — Динаміка зростання показників журналу Науковий вісник ХДМА

Усе це свідчить про поширення журналу серед НПП як ХДМА, так і інших ЗВО.

За кількістю авторів наукових публікацій у наявності суттєве збільшення з року в рік. Найбільший відрив отримано за звітний період 2024-2025 н.р. – зростання на 65%. За кількістю статей позитивна динаміка росту подовжувалася і отримано збільшення у 2.25 рази. Збільшилася кількість авторів публікацій у журналі серед НПП ХДМА: на 13%, а зростання кількості статей від НПП ХДМА – на 67%.

Однак, суттєве збільшення кількості статей від НПП академії для Наукового вісника ХДМА не прямо пропорційне збільшенню кількості авторів НПП ХДМА, що свідчить про збільшення активності насамперед тих, хто і раніше приймав участь у публікаціях журналу.

Іншим важливим засобом активізації публікаційної діяльності НПП є їх участь у роботі Міжнародних та Всеукраїнських науково-практичних конференцій, організатором яких є ХДМА. Серед таких конференцій слід зазначити наступні:

- «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT)»;
- «Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI)»;
- «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» (СЕУТТОО);
- «Актуальні проблеми викладання освітніх компонент соціально-гуманітарного спрямування у вищій школі»;
- «Транспорт, порт, логістика, безпека: виклики сучасності та перспективи розвитку»;
- студентська конференція «Сучасні проблеми морського транспорту та безпека

мореплавства».

За період релокації навчального закладу найбільш ефективна публікаційна активність НПП відзначалась за результатами проведення конференцій: «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», «Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства (MINTT)», «Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI)» (табл.3, рис.3, 4) [4,5].

Таблиця 3

Показники	Конференція MINTT			Студентська конференція		Конференція PSDMI	
	2022-2023	2023-2024	2024-2025	2023-2024	2024-2025	2023-2024	2024-2025
Кількість тез	91	117	121	51	41	44	78
Кількість учасників	197	268	238	52	37	94	120
НПП ХДМА	64	72	129			58	59
Курсантів ХДМА	2	3	3	48	31	5	20

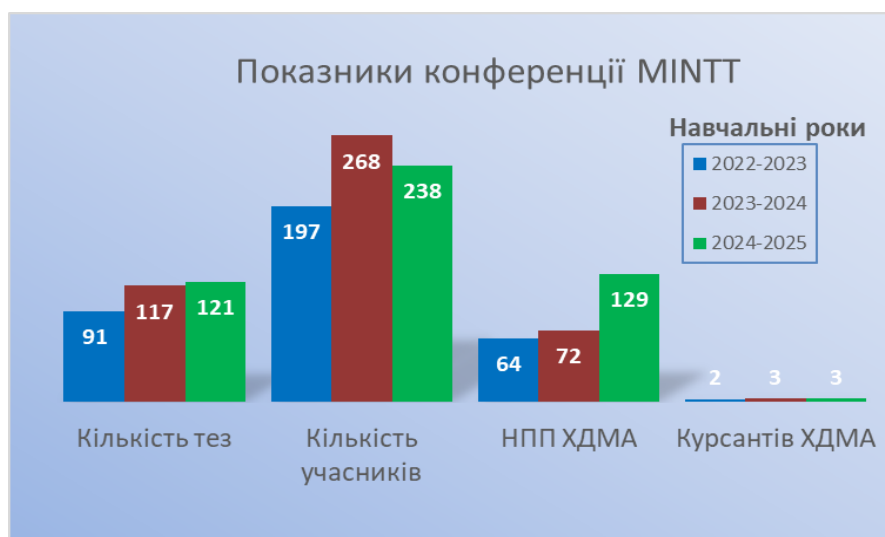


Рисунок 3 — Динаміка зміни показників Міжнародної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT)»



Рисунок 4 — Динаміка зміни показників Міжнародної конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI)»

По науковим конференціям є суттєве зростання участі НПП ХДМА і курсантів академії: наприклад, на 79% для показника кількості НПП ХДМА у конференції MINTT 2025 (рис.3).

Слід зазначити, що активність курсантів по різних конференціях є не системною є суттєве зростання рівня публікаційної активності у 2025 році (рис.4) .

Обговорення. Результати аналізу поточного стану справ у сфері наукової діяльності НПП академії наступні:

- активність викладачів у науковій сфері зберігається на достатньо високому рівні, незважаючи на доволі складні умови праці та наявність зовнішніх негативних факторів впливу;
- потребує першочергового зміцнення публікаційна активність НПП у напрямку підготовки наукових публікацій Scopus/WoS;
- окремим напрямком діяльності, якій потребує зміцнення, є захист прав на об'єкти інтелектуальної власності.

Таким чином, враховуючі кількісні показники наукових результатів саме структурно, і, використовуючи їх порівняльний аналіз, можна визначити наступні пріоритетні напрямки активізації наукової діяльності НПП ХДМА:

- необхідно підвищити публікаційну активність НПП з метою наближення відносних значень показників кількості авторів і кількості статей/тез , що буде свідчити про реальне розширення кола авторів серед НПП ХДМА;
- необхідне вжиття системних заходів для збільшення загальної кількості публікацій рівня Scopus/WoS, оскільки вказаний показник найбільш істотно впливає на рейтингові показники ХДМА, та визначає кількість наданих бюджетних місць для вступу абітурієнтів;
- потребує посилення напрямом патентної діяльності НПП та захисту авторських прав на твір.

Висновки. Можливими шляхами вирішення вказаних питань є:

- повне чи часткове компенсування витрат НПП на здійснення наукових публікацій у виданнях, що входять до наукометричних баз SCOPUS/WoS зі сторони академії, хоча б для публікацій, авторами яких є виключно НПП ХДМА. Розмір допомоги може коливатися в залежності від квартилю та фахової спрямованості видання;
- збільшення кількості зарахованих годин НПП за проблемні види наукової діяльності у розділі «Наукова робота» індивідуального журналу обліку робочого часу викладача;
- поширення серед НПП академії інформації щодо особливостей оформлення патентів на корисну модель, авторських свідоцтв проведенням відповідних навчальних семінарів та нарад;
- посилення засобів рейтингування наукової діяльності НПП та вжиття відповідних заходів матеріального та морального заохочення лідерів рейтингу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України 3791-IX «Про внесення змін до деяких законів України щодо підтримки наукової роботи в закладах вищої освіти» від 06.06.2024р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3791-20#Text>
2. Реєстр індивідуальних карток НПП ХДМА.
3. Архіви збірників журналу Науковий вісник ХДМА. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/issue/archive>
4. Архіви збірників Міжнародної конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI)». https://ksma.ks.ua/?page_id=2114
5. Архіви збірників Міжнародної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT)». https://ksma.ks.ua/?page_id=7634&lang=en

МОВНА ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА СТРАТЕГІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Гаценко Л. В.

*Національний транспортний університет
(Україна)*

Вступ. У сучасних умовах воєнних дій в Україні питання підготовки фахівців морської галузі набуває особливої актуальності. Морський сектор відіграє стратегічну роль як у забезпеченні економічної стійкості держави, так і в інтеграції України до світових логістичних систем. Війна суттєво трансформувала вимоги до професійної підготовки моряків та працівників морських підприємств, зокрема в частині комунікативних компетентностей, міжкультурної взаємодії, здатності працювати в кризових ситуаціях та інформаційно небезпечному середовищі. Мовна підготовка стає важливою складовою фаховості, адже сучасний моряк функціонує в глобальному мультикультурному просторі, де точність та оперативність є запорукою безпеки, професійної ефективності та сталого розвитку галузі [5, 6]. Нині українські заклади вищої освіти вимушено адаптують навчальні програми до нових реалій, поєднуючи традиційні методи з інноваційними, дистанційними та практикоорієнтованими стратегіями.

Актуальність досліджень. Пошук ефективних шляхів підготовки, зокрема мовної, фахівців морської галузі нині є актуальним. Ця проблематика знайшла своє відображення в працях таких науковців, як О. Гуренкова, І. Міюсов, О. Мороз, Л. Пуховська, Т. Житомирська, В. Радкевич, В. Чимшир та інші.

Повномасштабна війна створила ряд викликів для морської освіти України, основні з яких:

1) *безпекові виклики* — реальна загроза ракетних ударів, атак дронів, що ускладнює стабільний освітній процес; евакуація закладів освіти з прифронтових регіонів, втрата матеріальної бази; перехід на змішані та дистанційні формати, які не завжди дають змогу якісно проводити тренажерну підготовку;

2) *втрата матеріально-технічної бази* — неможливість повноцінного використання тренажерів, лабораторій, полігонів; обмежений доступ до морських практик, тому що морські порти заблоковані або частково не працюють; пошкодження або недоступність спеціалізованого обладнання;

3) *міграція викладачів і студентів* — відтік частини студентів за кордон; зниження кількості абітурієнтів, особливо на спеціальність J5 Морський та внутрішній водний транспорт; брак досвідчених викладачів, які виїхали за межі України або змінили сферу діяльності;

4) *психологічний тиск і стресові умови* — постійна тривожність, що впливає на мотивацію та ефективність навчання; перевантаження викладачів, які поєднують роботу, волонтерську діяльність і живуть в умовах нестабільності;

5) *зміни в міжнародному навчально-професійному середовищі* — українські студенти морських закладів вищої освіти складніше проходять практику через ускладнення логістики, побоювання іноземних компаній щодо ризиків, конкуренцію з представниками інших країн; складність підтримання відповідності стандартам STCW, коли навчання частково організовано онлайн;

6) *фінансові проблеми* — недостатнє фінансування оновлення тренажерів, симуляторів, навчальних лабораторій; скорочення бюджету закладів освіти; зростання вартості енергоносіїв, що впливає на роботу навчальних корпусів;

7) *необхідність оновлення навчальних програм* — потреба інтегрувати модулі з

безпеки у воєнний час, кризового менеджменту, навігації в умовах мінної небезпеки, стресостійкості; потреба забезпечити цифрову грамотність, адже частина процесів відбувається в дистанційному форматі;

8) *зниження доступності морських практик* — втрата або закриття більшості портів, ризику судноплавства в Чорному морі, обмеження для проходження стажування на іноземних судах;

9) *порушення міжнародних наукових зв'язків* — відмова деяких партнерів від співпраці через ризики, необхідність переорієнтуватися на нові європейські програми;

10) *потреба у швидкій цифровізації* — перехід на LMS-платформи, онлайн-тренажери, симулятори, вимога адаптувати матеріали для дистанційного навчання без втрати якості.

З огляду на це, мовна підготовка набуває не лише фахового, а й стратегічного значення: формування стійких комунікативних практик сприяє безперервності професійної діяльності, взаємодії з міжнародними структурами, проходженню сертифікації та підтриманню конкурентоспроможності українських моряків на глобальному ринку праці [4].

Постановка задачі. В умовах війни професійно орієнтована мовна підготовка фахівців морської індустрії характеризується новими вимогами. Акцент зміщується на таке:

- 1) комунікацію в екстремальних умовах (інциденти, загрози, аварійні ситуації) [3];
- 2) міжнародну співпрацю з іноземними компаніями, флотами, гуманітарними організаціями;
- 3) дистанційні та змішані формати навчання;
- 4) цифрову компетентність та вміння працювати з міжнародними електронними ресурсами, навігаційними системами, платформами для морського зв'язку [1];
- 5) психолінгвістичну стійкість, тобто здатність ефективно комунікувати під тиском та у стресових умовах.

Українська та англійська мови у підготовці морських фахівців виступають ключовими інструментами професійної взаємодії. Вивчення української мови за професійним спрямуванням забезпечує дотримання національних стандартів документації, правових норм, технічних інструкцій та внутрішніх положень підприємств. Натомість англійська залишається мовою міжнародного морського сполучення (Maritime English), яка гарантує інтеграцію українських фахівців у світовий морський простір [2].

Результати досліджень. Розглянемо основні інноваційні підходи до викладання української та англійської мов для моряків. У контексті воєнних викликів активно впроваджують такі стратегії:

- 1) *ситуаційно-моделювальний підхід* — створення навчальних сценаріїв, що відтворюють реальні умови роботи під час кризи чи небезпеки: радіопереговори, аварійні оповіщення, взаємодія з військово-морськими структурами, інформаційна безпека;
- 2) *комунікативно-тренувальні практики* — проведення симуляцій, рольових ігор, використання автентичних морських кейсів, документів, логбуків, інструкцій, стандартів ІМО;
- 3) *цифрові освітні технології* — застосування інтерактивних платформ, відеотренажерів, онлайн-симуляторів, спеціальних мобільних застосунків для вивчення для вивчення Maritime English, спільної роботи у хмарних середовищах;
- 4) *методика змішаних дискурсів* — поєднання професійного, військово-морського, наукового і технічного дискурсів, що є надзвичайно важливо в умовах війни, коли морська індустрія взаємодіє з оборонним сектором;
- 5) *психолінгвістична підтримка* — розвиток мовленнєвої стійкості, подолання бар'єрів у спілкуванні в стресових ситуаціях, робота з емоційними станами під час комунікації.

Таблиця 1 — Основні інноваційні інструменти мовної підготовки

Підхід	Приклади інструментів	Очікуваний результат
ситуаційне моделювання	кризові кейси, аварійні діалоги, симуляції переговорів	формування готовності діяти в стресових умовах
Maritime English	IMO Standard Phraseology, автентичні документи	підвищення міжнародної комунікативної компетентності
цифрові технології	Moodl, Teams, відеотренажери, морські симулятори	доступність і мобільність навчання
професійний український дискурс	технічні інструкції, нормативні документи, звіти	точність професійного мовлення
міжкультурна комунікація	модулі взаємодії з міжнародними екіпажами	толерантність, адаптивність, ефективна співпраця
психолінгвістичні техніки	стрес-менеджмент, мовні тренінги	підвищення стійкої комунікації

Підсумуємо значення мовної компетентності для сталого розвитку морської індустрії. На нашу думку, сталий розвиток морської галузі в умовах війни залежить від таких здатностей фахівців:

- 1) ефективно та безпечно комунікувати в міжнародному середовищі;
- 2) взаємодіяти з партнерами та коаліціями;
- 3) інтегруватися в глобальні логістичні та оборонні системи;
- 4) підтримувати високі стандарти професійної етики й документації.

Таким чином, мовна освіта стає важливим інструментом зміцнення кадрового потенціалу конкурентоздатності українських морських фахівців у відбудовний період та післявоєнному майбутньому.

Висновки. Мовна підготовка фахівців морської галузі в умовах воєнних викликів потребує системного переосмислення підходів: збереження якості освіти можливе шляхом поєднання цифрових технологій, модульної структури програм та орієнтації на практичні навички, потрібні в екстремальних умовах [6, 7]. Виділимо найважливіші підходи щодо вищої морської освіти нині:

1) *пріоритетність практико-орієнтованої мовної підготовки*, теоретична підготовка має бути тісно інтегрована з тренуваннями з радіообміну, аварійних сценаріїв та технічної документації англійською мовою;

2) *гібридна модель — оптимальний компроміс*, змішане навчання (онлайн + локальні симуляції) дозволяє підтримувати навчальний процес при обмеженому доступі до портів та суден, проте вимагає інвестицій у дистанційні симулятори та локальні навчальні центри;

3) *підтримка психологічного стану — невід’ємна частина курсу*, програми повинні включати елементи стрес-менеджменту та комунікації в кризових ситуаціях;

4) *забезпечення рівного доступу до цифрових матеріалів*, необхідні заходи щодо технічної доступності (інтернет, обладнання) та адаптації матеріалів для роботи в умовах обмежених ресурсів;

5) *міжнародна співпраця і визнання стандартів*, партнерства з іноземними інституціями і адаптація до міжнародних стандартів (STCW) сприяють професійній мобільності й підвищенню якості підготовки.

Отже, для досягнення сталого розвитку галузі варто реалізовувати стратегічний план, який поєднає модернізацію мовних програм, інвестиції в цифрові стимулятори, систему психологічної підтримки та розширення міжнародної співпраці – усе це дозволить здійснити підготовку морських фахівців, здатних діяти ефективно й безпечно в умовах воєнних викликів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Антонов Є., Спьяк А. Цифрові технології у підготовці майбутніх фахівців у ЗВО. Журнал «Перспективи та інновації науки». Серія «Педагогіка». 8(54). 2025. С. 82–93. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-8\(54\)-82-93](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-8(54)-82-93)
2. Базиляк Н. О., Решетняк Є. С., Міняйло Н. В. Сучасні стратегії інтеграції професійно орієнтованої англійської мови у міждисциплінарну підготовку здобувачів вищої освіти. Вісник науки та освіти. 8(38). 2025. С. 158–172. [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-8\(38\)-158-172](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-8(38)-158-172)
3. Вербицька Л. О., Конівіцька Т. Я. Комунікація в надзвичайних ситуаціях як один із аспектів кризової комунікації. Вісник науки та освіти. 8(38). 2025. С. 269–279. [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-8\(38\)-269-279](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-8(38)-269-279)
4. Житомирська Т. Методологічні підходи до професійної підготовки менеджерів морської галузі в умовах неперервної освіти. Журнал «Перспективи та інновації науки». Серія «Педагогіка». 8(54). 2025. С. 365–374. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-8\(54\)-365-374](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-8(54)-365-374)
5. Мороз. О. Л. Підготовка фахівців морської галузі до професійно-орієнтованої комунікації в умовах дистанційного навчання: прийняття викликів / О. Л. Мороз. // Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 5 : Педагогічні науки : реалії та перспективи : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Укр. держ. ун-т імені Михайла Драгоманова. — Київ : Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 97. С. 99–102. DOI <https://doi.org/10.31392/NPU-ps.series5.2024.97.21>
6. Федотова І. І. Освітній процес у вищих навчальних закладах України в умовах війни: виклики, правила, перспективи. Освітній процес в умовах війни та у повоєнний період: виклики, правила. Перспективи : матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 4 березня–14 квітня 2024 року. — Львів — Торунь : Liha-Pres, 2024. С. 326–330. https://cuesc.org.ua/images/informlist/%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%20advanced_training_UDU.pdf
7. Поповиченко Г. С. Вища освіта в умовах воєнного стану Освітній процес в умовах війни та у повоєнний період: виклики, правила. Перспективи : матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 4 березня — 14 квітня 2024 року. — Львів — Торунь : Liha-Pres, 2024. С. 255–257. https://cuesc.org.ua/images/informlist/%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%20advanced_training_UDU.pdf

ENHANCING LANGUAGE INSTRUCTION EFFECTIVENESS WITH THE HELP OF MARITIME ENGLISH TEACHERS' LIFELONG LEARNING

O. Diahyleva¹, A. Yurzhenko¹, O. Kononova², Yu. Bevzenko²

¹Kherson State Maritime Academy

(Ukraine)

²Maritime Applied College of Kherson State Maritime Academy

(Ukraine)

Introduction. Modern teachers should be always updated with the latest teaching methods. Many teachers take advanced training courses, participate in workshops, and attend conferences to stay current. It is also important for each teacher to share their experience with colleagues, especially if this experience has positive results among students who are mastering different disciplines. Teachers who participate in international seminars and conferences, where colleagues from all over the world talk about their practical achievements, gain access to current Maritime English practices and STCW standards. This contributes to improving the quality of the educational process, using new methods and techniques in their classes and training competitive specialists.

Teachers spend their entire lives learning something new because due to globalization, the world does not stand still, and new methods and technologies are emerging to improve teaching. Using a new methodology, a teacher learns to adapt it to his/her students in order to have a better result at the end of the semester. The teacher is always looking for new tools to introduce new vocabulary so that each student can reproduce it at the end of the lesson. He/she also creates various pre-reading or pre -watching activities to facilitate student`s understanding of the text or video.

It is also important to note that a modern teacher must not only possess professional knowledge but also be competent in the usage of digital technologies (ChatGPT, Grammarly, LMS), online resources (TED-Ed, Maritime Professional YouTube Channels, MarEng, Seagull Maritime e-learning platform), and interactive platforms (LearningApps, Quizlet, Kahoot!, Quizizz, Wooclap). In the current realities of distance and blended learning, these skills are becoming indispensable for ensuring a high-quality educational process. It is also worth considering the need to develop soft skills - communication skills, emotional intelligence, critical thinking, and creativity- which help to establish effective interaction with students.

Also, speaking about the realities of maritime education, an important aspect of teachers' professional development is the ability to effectively use digital technologies, which includes not only working with online platforms (Moodle, Google Classroom), but also the integration of simulation programs, virtual trainers, maritime online cases and mobile applications for maritime English. All this helps both teachers and students in mastering the English language and practical skills.

Continuous improvement of professional skills allows maritime English teachers to use modern teaching methods in lessons: problem-based learning, simulation-role-playing games, case methods, project method, communication training in crises on a ship, etc. Since maritime English is a means of interaction in a multinational crew, teachers must improve their knowledge of intercultural communication, the peculiarities of the language of diplomacy, the norms of communication of different cultures and pass this on to their students.

Self-education is also an important component of the teacher's lifelong learning — regular familiarization with new methodological materials and the introduction of innovative methods and teaching aids allow teachers to promptly respond to changes in the field of maritime education and adapt teaching materials under the requirements of international standards.

Relevance of research. Lifelong learning of Maritime English teachers is an important

condition for increasing the efficiency of the educational process in maritime educational institutions. The development of digital competence, the improvement of methodological approaches, the mastery of modern technologies and active participation in international educational events ensure high-quality training of future specialists in the shipping industry.

A true professional in the field of education must be a person who is constantly self-improving, experimenting with new approaches, and actively introducing innovations into their practice. Such a teacher becomes not only a mentor but also a motivator for students, forming their readiness for lifelong learning.

Therefore, lifelong learning of teachers contributes to increasing the motivation of students to learn the language, improving teaching methods, creating a modern educational environment, and forming competitive specialists in the maritime industry.

Results. Based on the research of domestic and foreign scientists, the formation of motivational factors in employees is one of the main factors influencing the formation of their professional development. According to the theories of motivation, A. Maslow, D. McClelland, etc. distinguish two groups of factors influencing the professional activity and development of employees, namely personal and organizational [1].

Foreign scientists B. Wright and J. Rohrbo in their research proposed a four-level model of employee commitment to the institution, including professional activity, in which they separately identified the characteristics of work, which, according to the researchers, should include the specificity of the tasks performed by employees, and the stimulation of work should be represented by opportunities for professional development and the availability of rewards [2].

Many scientific studies on the study of employee motivation have been conducted by Ukrainian researchers. According to S. Nikitenko, among the factors that shape employees' commitment to the institution and professional activity, one should highlight salary, emotional and psychological climate in the team, the role of management, and opportunities for professional development and growth [3]. In our opinion, the role of continuous Maritime English teachers' professional development in enhancing language instruction effectiveness hasn't yet been studied sufficiently in scientific discourse.

The following research methods for analyzing the role of teachers' lifelong learning are the following: polls, interviews, observational studies, cases, and quantitative analysis.

The mentioned methods can help us to analyze continuous professional development for teachers and its effect on the quality of education, especially while e-learning. Teachers can conduct a valuable study that will, by the end, help to understand how continuous professional development can increase the effectiveness of teaching.

To the examples of advanced training courses we refer the following: Coursera, Prometheus, LinkedIn Learning, Diia.Education (Osvita) [2], Choice 31 etc. [1] Additionally, many universities offer graduate programs or certificates specifically designed for teacher professional development. Teachers also have possibility to attend internships, participate in round tables, international scientific conferences, workshops, etc.

The most popular platform of e-learning in Ukraine is Prometheus (<https://prometheus.org.ua/>). It offers online versions of its accredited courses for teachers. The platform was created 10 years ago, and there is a possibility to choose whether you'd like a free-of-charge course or a Prometheus+ one. There are also popular topics to choose. The platform includes more than 400 online courses.

Pythahor is another Ukrainian online platform that offers a wide range of courses for teachers' development (<https://pifa.com.ua/>). Courses can be chosen according to 62 directions (e.g. Foreign languages, IT, AI). Pythahor courses can help teachers learn using the latest teaching methods. It also includes the experience of foreign researchers and investigators. Using Pythahor courses, Ukrainian teachers can find out how to motivate students more.

EdEra (Education Era) is one more Ukrainian educational system with accessible, massive online courses for teachers (<https://ed-era.com/>). It has various videos, animations, and

interactive activities. The Ministry of Education and Science of Ukraine and many international organizations (e.g. American Councils) take part in its development and growth. The following advantages of EdEra can be mentioned: ready-made lesson plans, saving valuable time and effort, a wide range of topics, immersive experiences for students and educators.

Khan Academy is a platform that includes free and high-quality micro-lessons with activities in a wide range of subjects (<https://uk.khanacademy.org/>). Khan Academy was founded in 2006 and now has registered users from 193 countries [4]. On this platform, teachers and students can find a lot of different lectures and practical exercises on various subjects: mathematics, natural sciences, economics, history, English, etc. All these resources are free and translated into different languages (about 40). All video lectures posted on YouTube are available on the Khan Academy page, with other materials, such as students' progress tracking, practical exercises, and additional materials for teachers. You can register on the site using your Google or Facebook account. From Google Play, the App Store and the Windows Store the personal Khan Academy mobile application can be downloaded for free and the materials are also freely available.

Khan Academy does not contain a highly specialized course on maritime English, but it is a useful auxiliary tool for developing the language and technical skills of future ship engineers. The platform can be used in the self-study system of students, which forms their critical thinking skills. Working with video materials in English, studying grammatical structures, and working with English technical vocabulary is especially relevant. With the help of this platform, the teacher can create individual tasks for students (to watch a technical English video and write down maritime terms), create exercises on listening and reading (to prepare for working with instructions on a ship), and conduct the lessons using a blended learning model (part of the lesson is theory on the Khan Academy platform, part is practical application in a maritime context).

Edmodo is another learning system for educators to cooperate (<http://www.edmodo.com>). Edmodo is an educational technology platform that offers communication, collaboration, and coaching opportunities for secondary schools, colleges, and teachers. The Edmodo network allows teachers to share content, create tests, quizzes, and surveys, and manage communication with students, colleagues, and parents. Teachers can organize classwork and homework directly within the service. Edmodo storage has a Google Docs synchronization feature. This option allows you to share your work with students or colleagues [5].

Coursera (<https://www.coursera.org/>) provides a wide range of online courses from top universities and institutions, including some specifically designed for teachers. That's why taking courses means investing in your education and developing your skills and in future it will greatly advance your career. Studying on Coursera gives teachers an opportunity to receive internationally recognized certificates, which increases competitiveness. Coursera courses have tests, videos, and quick labs that can provide valuable hands-on experience, to test knowledge and consolidate the material. Online courses are a great way to learn a language, as one can review and practice the material at their own pace (to improve speaking, writing skills and the grammar details of a foreign language). Online courses are a great way to learn languages while still working full-time.

As for cons, obtaining a certificate requires payment because many courses are paid, although teachers can often listen to lectures for free. There is not always individual feedback, and the programs are mainly oriented towards the Western education system.

In addition to learning language skills yourself, online courses can be a great way to learn how to help others learn languages, such as through ESL (English as a Second Language) courses. Here one can find courses for different levels from beginners to advanced. They include reading, grammar, writing and speaking, different topics, and games. General ESL courses may not be adapted to the specifics of professional vocabulary (for example, Maritime English), and some programs (with a native teacher) can be expensive.

Udemy offers a vast selection of paid and free online courses on various topics, including professional development for teachers (<https://www.udemy.com/>). Udemy is a platform that allows instructors to create online courses on topics of their choice. Using Udemy's course creation tools, they can upload videos, presentations, PDFs, audio, ZIP files, and live classes to create courses. Instructors can also engage and interact with users through online forums.

Courses are offered across a wide range of categories, including business and entrepreneurship, academics, arts, health and fitness, language, music, and technology.

Teachers Pay Teachers (TPT) is a learning system for educators to share lesson plans with each other (<https://www.teacherspayteachers.com/>). TPT is an amazing service (platform) for buying, selling, and free distribution of methodological plans and developments. Experienced teachers from around the world support these innovative ideas. TPT has everything teachers need (both new and experienced) to bring more different classroom activities, engage students, and increase their motivation. Experienced teachers can share their ideas, resources and different techniques with a larger audience that can be helpful.

Also, some disadvantages can be named. As materials are created by different teachers (countries, experience), their quality, methodological value, and compliance with educational standards can vary significantly. Although there are some free materials, teachers have to pay for high-quality and full-fledged ideas. Also, most of the content is designed for the American education system, which may not meet Ukrainian or European standards (assessment requirements, lesson structure, etc.).

EdWay is one more educational platform for teachers created by EdCamp Ukraine (<https://edway.in.ua/>). It can help teachers to independently choose topics, forms, and providers of training. All teachers can share their experiences and new ideas there.

Diia.Education (Osvita) was created by the Ministry of Education and Science in Ukraine in 2020 (<https://osvita.diia.gov.ua/>). It provides a limited number of resources for teachers (e.g. Educational TV shows, Simulators, Guides, Tests, Webinars, Podcasts, Useful links). Its biggest advantage is that it's free of charge. The main objective of this national platform is to make a breakthrough not only in digital knowledge, but also in general in the skills and abilities that are relevant in the modern world. And during the five years, more than 2 million course participants were registered there.

Choice 31 offers more than 50 online courses for lifelong learning in the sphere of digitalization, five of which are free of charge (<https://choice31.com/>). Their website is bilingual and includes a Ukrainian and English interface. The courses are divided into two groups for those who have a high level of digital competence and for beginners, which is very convenient. There is also a possibility to get a free 15-minute consultation online. They have many partners and one of them is a real IT company — Netpeak Group. The platform includes the following online courses useful for Maritime English teachers: AI use, Management, and SMM.

Using the methods mentioned above, teachers can stay up-to-date while teaching and enhance their language instruction effectiveness.

Conclusions. The conducted investigation has proved the need for lifelong learning for teachers, which is really important nowadays. It is of high importance for Maritime English teachers to stay updated with the latest teaching methods, technologies, and educational research, especially in the conditions of martial law in Ukraine. The prospects of further research can be seen in the analysis of simulators in the lifelong professional development of Maritime English teachers in Ukraine (e.g. Labster).

REFERENCES

1. Karamushka, L. (2024). Technologies for promoting staff's mental health and well-being in conditions of war: implementation levels, forms and phases. *Organizational psychology. Economic psychology*. 33. 20-30. 10.31108/2.2024.3.33.2.
2. Lebedeva, N. (2012) Basic approaches to studying organizational commitment.

Current problems of psychology. Kyiv: Scientific world. 1 (36). 234–238.

3. Nikitenko, S. (2009) Program for forming employee loyalty to the organization: development, implementation and evaluation of effectiveness. Current problems of psychology. Kyiv: A.S.K.. 7 (20). Part 2. 42-45.

4. Yurzhenko, A. Y. (2019). An e-course based on the LMS MOODLE to teach «Maritime English for professional purpose». Information Technologies and Learning Tools, 71(3), 92.

5. Yurzhenko, A., Diahyleva, O., & Kononova, O. (2023). An overview of Maritime English teaching and its principles, with a focus on practical applications and best practices online. Educational Dimension, 9, 42–58.

ПІДГОТОВКА ДОКЕРІВ-МЕХАНІЗАТОРІВ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ НАПРЯМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОРТІВ УКРАЇНИ

Дромашко О.А.

*Чорноморський морський фаховий коледж
Одеського національного морського університету
(Україна)*

Вступ. Морський транспорт відіграє ключову роль у забезпеченні економічної стійкості та міжнародної інтеграції України. Порти є стратегічною ланкою не лише в експортно-імпортних операціях, але й у сфері національної безпеки, особливо в умовах воєнного стану. Забезпечення ефективного функціонування портів неможливе без висококваліфікованих працівників, які здійснюють технологічно складні навантажувально-розвантажувальні операції, — докерів-механізаторів. Саме вони забезпечують фізичне переміщення вантажів, безпечність операцій, ритмічність роботи бригад і збереження матеріальних цінностей у портах. В умовах цифровізації морської галузі, зростання обсягів вантажообігу та трансформації логістичних маршрутів з'являється потреба у новій генерації робітників, які володіють не лише технічними навичками, а й компетентностями з автоматизованого управління портовими механізмами, безпекових технологій, логістики та командної взаємодії.

Актуальність дослідження. Професія докера-механізатора залишається однією з найважливіших у портовій діяльності, однак в Україні її статус та нормативне забезпечення потребують оновлення. За даними European Business Association (2024), українські морські порти за минулий рік обробили понад 97,2 млн тонн вантажів, що на 57 % більше, ніж у 2023 році. Зокрема, порти Чорноморськ, Рені та Ізмаїл забезпечили понад 60 % цього обсягу, довівши, що галузь, навіть в умовах війни, залишається функціонально активною. Разом з тим, за оцінками Mind.ua, дефіцит кадрів у логістичному секторі України становить до 30 %, що включає не лише управлінські, а й технічні спеціальності. Відсутність кваліфікованих докерів-механізаторів призводить до зниження швидкості обробки вантажів, простоїв суден, підвищення виробничих ризиків. Ситуація в м. Чорноморськ є типовою для галузі: порти активно шукають докерів-механізаторів, пропонуючи заробітну плату від 25 000 до 30 000 грн (дані Robota.ua, 2025), що перевищує середній рівень оплати праці по області на 40–45 %. Водночас кількість кваліфікованих претендентів є недостатньою. Проблема має нормативний характер — в Україні відсутній державний освітній стандарт для професії 8333 «Механізатор (докер-механізатор) комплексної бригади на навантажувально-розвантажувальних роботах». Через це лише один навчальний заклад — Чорноморський морський фаховий коледж ОНМУ — має можливість здійснювати підготовку таких фахівців.

Постановка задачі. Метою дослідження є теоретичне та практичне обґрунтування необхідності вдосконалення системи підготовки докерів-механізаторів як ключового чинника забезпечення кадрової стабільності морської індустрії України. Основні завдання: дослідити сучасний стан підготовки фахівців робітничих професій у морській галузі; визначити ключові нормативно-правові, кадрові та освітні проблеми у сфері підготовки докерів-механізаторів; узагальнити практичний досвід ЧМФК ОНМУ у створенні освітньої програми з урахуванням потреб стейкхолдерів; розробити пропозиції щодо створення державного освітнього стандарту цієї професії як складової системи сталого розвитку морського сектору.

Результати дослідження. Досвід підготовки докерів-механізаторів у ЧМФК ОНМУ доводить, що ефективна професійна освіта у морській галузі можлива лише за умови інтеграції освітнього процесу з виробничими реаліями портів. Наявна освітня

програма створювалася педагогічними працівниками ЧМФК ОНМУ у співпраці зі стейкхолдерами морської галузі — представниками Адміністрації морських портів України, стивідорних компаній та підприємств портового господарства. В її основу покладено «Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. Випуск 67. Водний транспорт», який, утім, було розроблено ще у 2004 році й потребує глибокого оновлення відповідно до технологічних і безпекових реалій сучасного морського транспорту. а саме представниками ДП Морський торговельний порт «Чорноморськ» та ТОВ «Теус Термінал». Водночас основою для створення програми став «Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. Випуск 67. Водний транспорт», який також потребує оновлення відповідно до сучасних вимог ринку праці та цифровізації портових процесів. У процесі розробки освітньої програми було визначено компетентності, необхідні сучасному працівникові порту: управління різними типами вантажно-розвантажувальних механізмів; знання технологічних схем перевалки вантажів; дотримання вимог техніки безпеки та екологічних стандартів; володіння елементами цифрових технологій обліку вантажопотоків; уміння працювати в команді та оперативно реагувати на зміну виробничих умов. Співпраця із стейкхолдерами дозволила забезпечити практико-орієнтований зміст навчання, залучення студентів до стажувань у портах, участь у навчаннях з реального виробничого процесу. Аналіз ринку праці показує, що випускники програми працевлаштовуються у перші 3 місяці після завершення навчання, тоді як середній показник по технічних професіях в Україні — близько 6–8 місяців. Однак ключовим викликом залишається нормативна неврегульованість професії. Відсутність державного стандарту не лише ускладнює ліцензування програм у інших закладах, але й стримує розвиток системи морської професійної освіти в цілому. Крім того, Довідник кваліфікаційних характеристик (Випуск 67) не враховує нові тенденції: автоматизацію портових процесів, використання дистанційного керування технікою, впровадження екологічних технологій. Таким чином, оновлення нормативної бази та створення сучасного освітнього стандарту є необхідною передумовою розширення системи підготовки кадрів і забезпечення конкурентоспроможності українських портів.

Висновки. Професія докера-механізатора має стратегічне значення для сталого розвитку морської галузі України. Її роль виходить за межі суто технічної — це професія, що забезпечує сталість логістичних ланцюгів, безперервність експорту і функціонування портової інфраструктури. Сучасна система підготовки фахівців потребує нормативного оновлення — розробки державного освітнього стандарту, модернізації Довідника кваліфікаційних характеристик, розширення доступу інших освітніх закладів до ліцензування цієї програми. Досвід Чорноморського морського фахового коледжу ОНМУ показує, що модель підготовки у співпраці зі стейкхолдерами є ефективною, забезпечує високу працевлаштованість випускників і відповідає реальним потребам портової галузі.

Для формування кадрової стабільності портів необхідно забезпечити державну підтримку професійної освіти морського спрямування, включно з оновленням матеріально-технічної бази та розширенням дуальної освіти. Підготовка докерів-механізаторів є не лише професійною потребою, а й елементом національної економічної безпеки, оскільки саме ці фахівці стоять на передньому краї логістичних процесів, що забезпечують економічну життєдіяльність держави.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вакансії працівників морського транспорту в місті Одеса. robota.ua. URL: <https://robota.ua/zapros/doker/odessa>.
2. Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. випуск 67. водний транспорт. перелік. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/n0001699-09#Text> (дата звернення: 05.11.2025).
3. Освітня програма професії 8333 «Механізатор (докер-механізатор) комплексної

бригади на навантажувально-розвантажувальних роботах». ЧМФК ОНМУ, 2024

4. Стратегія сталого розвитку морського транспорту України до 2035 року. К.: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023

5. Logistics industry: the lack of staff is the main challenge. Mind.ua. URL: <https://mind.ua/en/openmind/20260079-logistics-industry-the-lack-of-staff-is-the-main-challenge> (date of access: 05.11.2025).

6. Marine sector provides food security for Ukraine -Maritime Risk International. Maritime Risk International. URL: <https://www.maritime-risk-intl.com/international/europe/marine-sector-provides-food-security-for-ukraine-158601.htm> (date of access: 05.11.2025).

CARGO OPERATIONS BY USING THE SHIP'S CRANES AND SHIP'S STABILITY

V. Zhmur

Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

Introduction. Heavy-lift cargo operations are usually high-risk procedures. Normally, before loading or unloading heavy cargo, the vessel must be at even keel with the lowering ship's center of gravity and therefore increasing metacentric height. In this article, general procedures before loading and discharging heavy-lift cargo will be considered, and also whilst the vessel has an initial angle of heel. Main ship's stability aspects during heavy-lift operations will be pointed out.

Main material. The nowadays analysis of ship's operations shows that heavy-lift cargo operation by using the ship's cranes, especially during their simultaneous work, can be dangerous, causing sometimes serious circumstances for the ships and even capsizing due to large heeling angles in general. Before carrying out cargo operations, particularly when loading heavyweight cargoes, special attention must be paid to the proper stowage to prevent excessive moments leading to accidents. In this case effect of cargo shifting on the ship's stability is well-known and must be checked continuously during operations.

While loading/discharging of heavy lifts by using the ship's cranes, the following points have to be considered.

1. The vessel's initial stability corrected for free surfaces is radical reduced when: opening the hatch covers (especially if the vessel is provided with folding system); hoisting the jib(s) from sea stowing position; hoisting the cargo from the berth (in that moment the vertical centre of gravity of the unit is fixed in the rope wheel at the jib's end up to 60m above the baseline dependent on the size of ship and cranes).

2. The vessel gets a list which should not exceed 50 max (in this case sound alarm will be started) when:

- turning the jib over the berth in connection with the jib's outreach;
- hoisting the cargo from the berth.

The reason for that is suspending a cargo by a ship's crane so that the cargo just suspended transforms itself from a fixed (fastened) weight to an unfixed one with the sequent negative consequences. In addition, the procedure of lifting the heavy weights by the ship's cranes requires the accurate and proper calculation of the changes in the ship's stability and heeling. Such a calculation should be performed before such operations, and it should be based on the real figure of the ship's metacentric height GM cor.

When cargo is loaded or discharged from a ship, the numerical changes in the ship's stability and heeling are different; therefore, the processes of loading and discharging heavyweight units will be discussed separately. Thus, before heavy-cargo loading operations commenced, normally, if the vessel is berthed port side

alongside, such general precautions must be carried out:

- take ballast in the double bottom tanks and also in some cases in the wing tanks, but keep in mind the arising heeling moments due to free surfaces;
- if possible, tween deck panels must be put down in the holds tank top to make the center of gravity as low as practicable;
- pump the ballast water from the heeling tanks' starboard side to portside as much as possible;
- not fully open hatch covers giving space required only for heavy cargo operations;
- hoist the gangway and keep mooring lines tightened, avoiding any slack;
- if necessary, order port tugs or drop the starboard anchor;
- after connection of lifting wires/slugs with the unit, it's necessary to make an initial

load on the crane's hooks (just a few tons) and find the correct direction of lifting gear;

- heavy cargo must be as close as possible to the ship's side (depending on unit dimensions and presence of pier fenders);
- constant communication by walkie-talkie must be performed between the chief officer (captain) and the crane operators;
- all deck crew must be familiar with crane operations and the use of signals;
- before lifting of cargo, it's recommended to leave some welded plates or stoppers at the bottom of the heavy piece to prevent its shifting in any longitudinal and transverse direction, also guy-lines must be used at each cargo unit corner to keep them tight while hoisting up;
- start pumping ballast from the port side heeling tanks to the starboard side, checking load on hooks;
- lift up the cargo unit only by the ship's hooks, controlling load steps continuously;
- swing cranes very slowly and all the time be in contact with crane drivers;
- commence pumping ballast from the starboard side to port side and check that heeling will not exceed 1° (if the angle of heel is 2.5° sound alarm in the cranes will be raised, and after 5° heel, cranes automatically switch off);
- stow heavy cargo in the hold in accordance with to stowage plan and slowly decrease the load on the hooks to

Take off all lifting accessories:

- make lashing meet the requirements of Cargo Securing Manual.

Discharging of a heavy-cargo unit from the ship is usually carried out vice-versa of above above-described procedures. Special attention must be paid to the movement of the cargo piece inside the hold and, therefore, arising additional heeling moments.

In this case, loss of ship's stability is not usually caused by changing of metacentric height value, as the distance between the metacenter and the center of gravity of the vessel. For that reason, it's necessary to input a correction, named SWC (Suspended Weight Correction).

Free suspended weight influenced the ship's stability as the cargo center of gravity is situated in the lifting point. In other words, at the moment of lifting up cargo unit, its weight is instantly raised to the lifting point.

In this very moment ship's stability is reducing. After further hoisting or lowering of freely suspended cargo due to changing the length of suspension will not affect the stability. Taking into consideration all the information mentioned above, we can make a conclusion that if a free suspended unit is secured against the transverse movement (using guy-lines, for example), then loss of stability in the moment of lifting cargo will not arise.

Let's consider one case of loading/discharging heavy cargo based on the non-zero conditions, when the ship has an initial angle of heel caused, for example, by strong wind or waves of passing by small vessels, and sometimes the heeling may appear due to unsymmetrical positioning of cargo inside the holds in view of the centerline.

This may cause an additional heeling moment which may be found from below formula:

$$GG' \times \cos \phi = GM \times \sin \phi,$$

where GG' — distance between centers of gravity when the ship is on the even keel and after heeling [m]; ϕ — angle of heel [°]; GM — metacentric height [m].

If the cargo unit shifts from point A to point A1, then the ship's center of gravity will be moved from point G' to point $G'1$, and the metacentric height will be decreased.

Angle of heel will increase to the value ϕ_1 , and the new stability formula will be:

$$G_1G'1 \times \cos \phi_1 = (GM - GG_1) \times \sin \phi_1;$$

$$GM \times \frac{\sin \phi}{\cos \phi} = (GM - \frac{w \cdot \delta z}{\Delta}) \times \frac{\sin \phi_1}{\cos \phi_1};$$

$$\phi_I = \arctan\left(\frac{\tan \phi}{1 - \alpha}\right); \alpha = \frac{w \cdot \delta z}{\Delta \cdot GM} = \frac{GG_1}{GM};$$

α is a coefficient equal to dividing the distance of vertical shifting the ship's center of gravity to its metacentric height [1].

Further, the example of a heavy-lift procedure will be given down below.

Cargo description is as follows: 316 mt turbine to be loaded in the US port Houston with destination to the Argentinian port Zarate.

It should be noted that the position of the center of gravity (c.o.g.) can have a great impact on the lifting possibilities and lifting safety. And all parts (mounted inside or outside) of a cargo item that could move or rotate during loading/discharging/sea transport must be secured properly by the shipper.

The main vessel's technical data: Deadweight (Summer draft): 17000 mt; GT/NT: 12974/5334; Max summer draft: 9.7 m; Length o.a.: 143.14 m; Breadth molded: 22.8 m; Depth to main deck: 13.3 m; Height above keel: 41.4 m.

There are some port operations restrictions.

Loading/discharging operations of heavy lift will not start in cases:

- 1) the wind speed perpendicular to the direction of the ship is over Bf6 (Beaufort scale);
- 2) the wind speed in the direction bow/stern of the ship is over Bf7;
- 3) significant wave height 0.5 m; swell is over 1 m, or if the captain considers the planned operation as unsafe due to the movement of the crane hook/cargo;
- 4) current is over 6 kn in case a moored/anchored transshipment is performed;
- 5) light when working in poor lighting conditions;
- 6) visibility is less than 50 m daylight;
- 7) temperature is less than -15°C / above $+50^{\circ}\text{C}$;
- 8) heavy-lift operations during hours of darkness are not allowed;
- 9) walkie-talkie hand-radios will be used for communication;
- 10) each morning prior to operations, a toolbox meeting will be held with all involved parties in order to review local weather conditions and all scheduled operations for that particular day.

The following criteria can be used as a guideline, although the final decisions are at the discretion of the vessel's Master for sea voyage:

- 1) rolling angle over 15 degrees, the ship must change wave heading and/or speed;
- 2) safe haven or sheltered region or area in case the captain considers the risk for men or the ship too high to continue the sea voyage due to heavy weather conditions;
- 3) master to ensure that instructions regarding navigation in reduced visibility are made up and complied with, notably when visibility reduces to 3Nm. When visibility was reduced to 6 Nm, activities included additional radar equipment.
- 4) adjust the vessel's speed as navigational circumstances require;
- 5) posting extra lookout/re-organize bridge team/orders full watch complement;
- 6) sounding of appropriate signals;
- 7) further measures to ensure safe navigation under specific situations [2].

At the beginning of discharging and hoisting the weight, the rope of the crane is gradually tensed up so that some portion of the weight mass belongs to the crane, but not to the deck on which this weight was originally placed. Finally, the entire mass of the weight will be applied to the rope of the crane, and the weight will become a freely suspended one by the rope.

Thus, during discharging a weight unit by a ship's crane, the ship's stability might be changed. The most dangerous moment is the first one at which the weight is just suspended from the deck, and the moment when the luffing angle of the jib is increased and, as a result, the point of suspension moves upward.

In the case of loading, the moment of suspending the weight is more dangerous than in the case of discharging the same weight. It happens because, in the first case, both the loss in the ship's stability and the heeling of the ship are much larger.

During lifting operations, if some unforeseen accidents occur (for instance, an abrupt and sudden heeling of a ship happens), the weight that is suspended by the jib's rope must be immediately lowered and placed on the deck, the berth, or discharged into the outside water as soon as possible [3].

For the safe heavy-lift procedures, preliminary calculations must be done in accordance with all stability criteria adopted by IMO (International Maritime Organization).

Normally, onboard the vessel, there are some stability computer programs.

But to make any conclusion regarding the degree of trust in such program, it's necessary to carry out own calculations using information regarding heeling the vessel with "non-zero" stability parameters, which is mentioned above (having an initial angle of heel).

For instance, let's describe this particular case:

The vessel has a portside angle of heel (ϕ): 1.20; Displacement (Δ): 16065.2 mt; Cargo weight (w): 316 mt; Length of suspension (l): 45 m; Metacentric height corrected (GM): 3.11 m.

When cargo situated on board on the tank top is lifted up to its maximum vertical position ship's angle of heel will be changed.

Distance between centers of gravity when the ship is on the even keel and after heeling:

$$GG_1 = \frac{w \cdot l}{\Delta} = \frac{316 \cdot 45}{16065.2} = 0.885 \text{ m.}$$

Non-dimensional coefficient is:

$$\alpha = \frac{GG_1}{GM} = \frac{0.9}{3.11} = 0.289$$

Thus new angle of heel will be:

$$\phi_1 = \arctan\left(\frac{\text{tg } \phi}{1 - \alpha}\right) = \arctan\left(\frac{\text{tg } 1.2}{1 - 0.289}\right) = 1.69^\circ$$

In conclusion.

1. In the case of loading, the moment of suspending a weight is more dangerous than in the case of discharging the same weight. It happens because, in the first case, both the loss in the ship's stability and the heeling of the ship are much larger.

2. The process of a transversal shifting a suspended weight is comparatively unsafe because a ship's stability does not reduce (on condition that the point of suspension does not rise up). On the other hand, in this period, heeling the ship occurs, but it can be preliminarily calculated and compensated by means of appropriately shifting some ballast water between heeling tanks.

3. The final period of placing the weight on a berth (or on board a ship) is comparatively unsafe because a suspended weight is converted from freely suspended to a fixed one, and the ship's stability improves. In the case of discharging a weight, the final period is especially convenient because the weight no longer belongs to the ship and, as a result, it does not affect the ship's stability and attitude at all.

4. The reduction or entire elimination of the negative effect of a freely suspended weight by means of its restriction on spontaneous transversal movement is the reserve in the ships' stability improvement that is not yet used for lifting operations performed by the ship's cranes. Preliminary assessments and calculations show that the loss in ships' stability can be reduced twice at least if this stability reserve were used, especially during heavy lift operations.

5. The most effective way to prevent loss of the ship's stability due to shifting of heavy cargo in the transverse direction is its proper securing, for example, by guy-lines or chains, and performing total control on the cargo operations, as it's a high-risk procedure.

6. One way to eliminate the problem of the stability loss during heavy-weight operations

is to change the crane construction in such a manner to prevent cargo shifting in suspended position (for example, using triple slings to fix cargo in three planes simultaneously).

REFERENCES

1. Beluga Rules for project cargo handling and stowage. Rev.0, Transport Engineering Department, Date: 08-09-2008. 85 p.
2. Technical method statement of loading/discharging heavy cargo, Houston: BBC Chartering and Logistic GmbH&Co.KG, 2013. 19 p.
3. BBC Guideline. Safe solutions for project cargo operations, Leer: BBC Chartering and Logistic GmbH&Co.KG, 2009. 76 p.

DEVELOPMENT OF OPEN MARITIME SIMULATOR DATASET (OMSD) FOR VARIOUS MACHINE LEARNING WORKFLOWS

P. Kochubei, V. Mateichuk, E. Appazov
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

Introduction. The digitalization of the maritime industry, the deployment of new onboard sensors, and the growing computational power have accelerated the adoption of Machine Learning in naval research. Regulations by the IMO on mandatory Automatic Identification System (AIS) installations, advancements in telemetry sensors and data collection capabilities, developments in computer vision, and the emergence of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) have led to the collection of massive amounts of data, opening up new research directions. Since 2014, the number of publications using computational modelling methods has increased tenfold [1].

The performance of machine learning models depends not only on algorithmic design, but also to a greater extent, on the quality of the data used for training [2]. Moreover, the availability of open-source datasets that enable benchmarking against established state-of-the-art models is crucial for ongoing algorithmic improvement. The automotive self-driving field demonstrates this principle, having advanced rapidly through extensive open-access datasets—a progress yet to be matched in the maritime domain [3].

Despite the increasing number of publicly available datasets (e.g., Piraeus AIS [4], OMTAD [5]), many authors still rely on private, inaccessible samples due to the absence of domain-specific annotations required for model training [6]. Moreover, several research areas lack open datasets altogether—for example, energy consumption analysis based on noon reports [6]—while others focus on highly specialized aspects, such as man-overboard maneuver analysis [7].

To address these gaps, this paper proposes the creation of an open-source, annotated simulator-based dataset. Such a dataset would provide a shared foundation for research in navigation, human performance, and decision-making, enabling reliable benchmarking and accelerating the integration of AI into maritime operations.

The remainder of this paper is structured as follows: Section 1 reviews existing datasets and the research areas associated with them. Section 2 outlines the proposed methodology for collecting the dataset. Section 3 discusses potential scenarios for data acquisition and identifies the research opportunities enabled by the proposed dataset.

Related Work. The following section outlines existing open-source datasets that are freely available at no cost and highlights the most common computational problems and research topics that are addressed using these datasets.

AIS tracks. To enhance maritime safety and situational awareness, the International Maritime Organization (IMO) introduced the Automatic Identification System (AIS) in the 1990s as a supplement to conventional radar-based navigation [8]. AIS-equipped vessels periodically transmit their GNSS-derived position and other navigational data to nearby ships and coastal authorities. These broadcasts support collision avoidance at sea, while onshore Vessel Traffic Services (VTS) use them for monitoring and managing maritime traffic. Following the 2002 Safety of Life at Sea (SOLAS) amendment [9,10], the installation of AIS became mandatory for vessels exceeding specified size thresholds. The integration of satellite-based AIS receivers has since expanded coverage and data availability [11]. As a result, AIS has become a key data source for multiple research directions.

Open AIS corpora have become the foundation for modeling vessel behavior at scale. The Piraeus AIS dataset (≈approximately 244 million messages collected over 2.5 years) captures traffic around one of Europe's busiest ports. It has been extensively utilized for mobility analytics, anomaly detection, and maritime traffic studies, providing detailed static and dynamic

vessel attributes suitable for spatiotemporal modeling [4]. The Open Maritime Traffic Analysis Dataset (OMTAD) aggregates AIS streams from the Australian Maritime Safety Authority, providing pre-processed trajectories designed explicitly for anomaly detection and behavioral pattern analysis. It is frequently cited as a reference for seasonal and route-aware modeling [5].

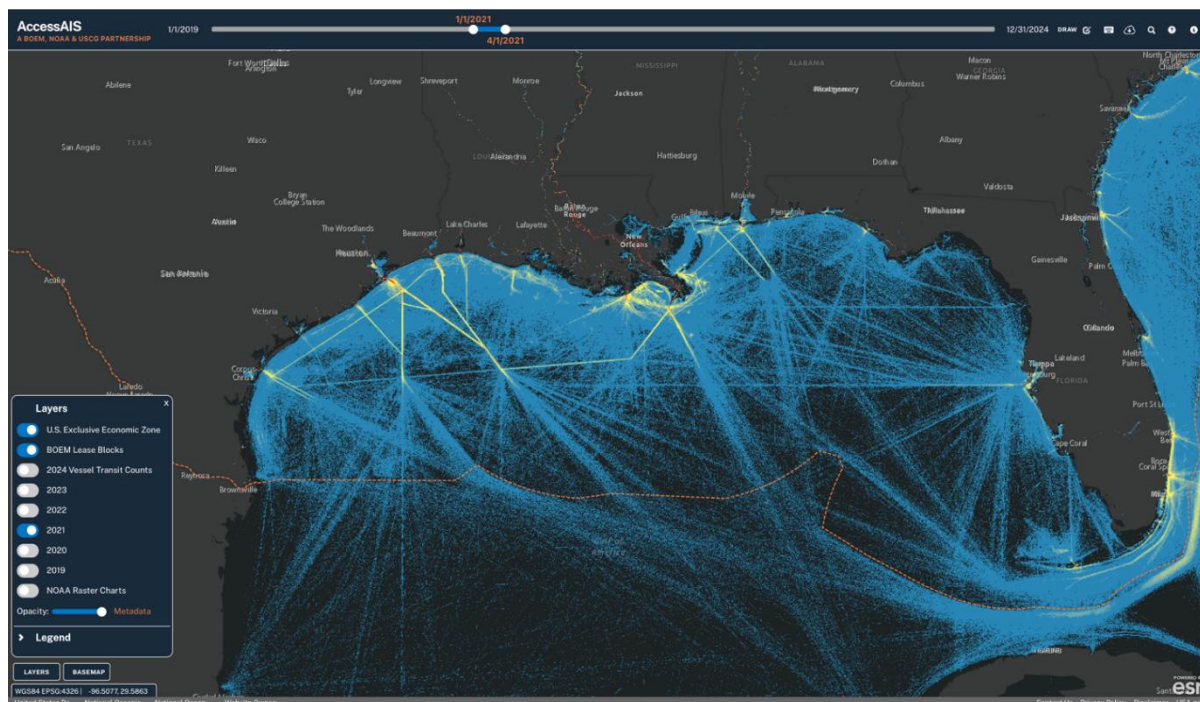


Figure 1 — Visualization of AccessAIS AIS data tracks

For broader geographical coverage, the NOAA/BOEM/USCG AccessAIS repository provides quarterly-updated, analysis-ready AIS data for U.S. coastal waters, supporting national-scale research on traffic exposure, risk assessment, and pattern mining, and serving as a valuable resource for machine learning pre-training [13]. In contrast, region-specific corpora such as the Ushant Traffic Separation Scheme (TSS) dataset capture dense maritime traffic in constrained waterways, enabling research on lane-keeping behavior, route compliance, and collision-risk estimation [14].

Trajectory prediction. Vessel trajectory forecasting plays a central role in maritime operations, enabling safer navigation, efficient route planning, and effective port coordination. Traditional models, including Kalman filters and Hidden Markov Models, have been largely superseded by modern deep learning approaches that utilize recurrent neural networks, such as LSTM and GRU. Recent studies have introduced advanced architectures such as TrAISformer [15], AIS-ACNet [16] (and various multi-factor deep learning frameworks [17]. These models utilize Transformer networks, auxiliary learning objectives, and dynamic AIS attributes, including speed over ground (SOG) and course over ground (COG), to more accurately model the complex spatiotemporal relationships inherent in vessel movement data.

Vessel Collision Risk Assessment. VCRA based on AIS data plays a vital role in enhancing maritime safety. The task generally involves estimating the probability of vessel collisions using motion-related parameters such as relative distance, velocity, and bearing, which are often summarized in a Collision Risk Index (CRI). Conventional methods rely on indicators like Distance to Closest Point of Approach (DCPA) and Time to Closest Point of Approach (TCPA) as inputs for machine learning models, including SVM, RVM, and MLP [18, 19]. More recent studies apply deep learning frameworks—such as Convolutional LSTM networks—to compute spatially dependent collision probabilities from integrated AIS and meteorological data [20].

Anomaly Detection. AIS-based maritime anomaly detection is crucial for enhancing situational awareness at sea, as it enables the identification of irregular vessel behaviors, such as sudden course alterations, deviations from planned routes, and unexpected signal losses. GeoTrackNet applies a Variational Recurrent Neural Network (VRNN) to model probabilistic AIS trajectory representations and integrates a geospatially informed a-contrario detection method to flag abnormal movements [21]. Similarly, GTRA employs a graph-based traffic modeling framework combined with evidential deep learning to jointly estimate trajectory uncertainty and anomaly probability. Both approaches have shown strong capabilities in learning complex spatiotemporal dependencies and detecting a wide range of anomalous navigation behaviors [22].

Beyond trajectory forecasting, collision risk assessment, and anomaly detection, AIS data have enabled a broad spectrum of additional research directions in the maritime domain. Studies have demonstrated the use of AIS for environmental monitoring and coastal security, where vessel tracking data support oil spill detection and emergency response operations [23]. Other research has utilized AIS analytics to map and quantify fishing activities across European waters, enabling the assessment of fleet behavior, distribution of fishing effort, and compliance with maritime regulations [24]. In the context of sustainability, AIS-derived operational parameters have been utilized to estimate and forecast greenhouse gas emissions from ships, contributing to port-level emission management and the development of decarbonization strategies [25]. Furthermore, comprehensive reviews of AIS-based methodologies emphasize its pivotal role in traffic density mapping, logistics optimization, port performance evaluation, and policy support [26]. Collectively, these studies highlight the versatility of AIS as a multi-purpose data source, underpinning advances not only in navigational safety but also in environmental protection, regulatory oversight, and sustainable maritime operations.

Vision-based datasets. In parallel with trajectory data, computer vision datasets have become crucial for advancing autonomous navigation, surveillance, and situational awareness in maritime environments. Vision-based perception plays a pivotal role in enabling Unmanned Surface Vehicles (USVs) and coastal monitoring systems to detect, classify, and track naval targets under diverse illumination and sea state conditions.

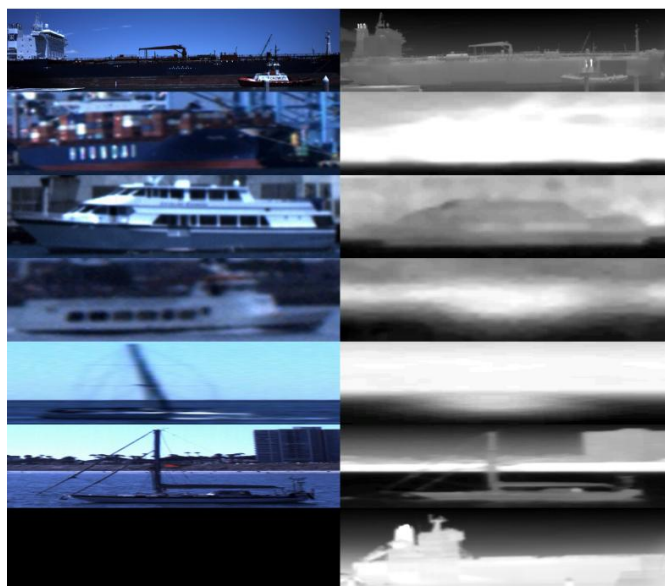


Figure 2 — Visual sample from the VAIS dataset

Several publicly available datasets have been developed to support these research directions. The Visible and Infrared Ship (VAIS) dataset combines day–night multispectral imagery (Fig. 2), facilitating research on ship detection, classification, and sensor fusion under varying visibility conditions [27]. The Singapore Maritime Dataset (SMD) and its extended

SMD-Plus version provide annotated video sequences for object detection, classification, and tracking, offering realistic coastal scenes for benchmarking maritime perception algorithms [28]. The MaSTr1325 dataset introduces pixel-level semantic annotations for obstacle segmentation from the perspective of small USVs, enabling precise modeling of the water–sky boundary and detection of floating or static obstacles [29]. The Maritime Obstacle Detection Dataset (MODD) and its successor MODD2 extend these capabilities by integrating stereo vision and IMU data, supporting research in depth estimation, obstacle avoidance, and sensor fusion [30].

To promote reproducible benchmarking, the Maritime Object Detection and Segmentation (MODS) dataset standardizes evaluation protocols across 81,000 stereo frames, featuring over 60,000 labeled instances. It provides a high-quality reference for COLREGs-compliant perception [31]. Complementary aerial perspectives are captured in the SeaDronesSee dataset, which contains UAV-based footage for human-overboard detection and small-vessel tracking, addressing search-and-rescue (SAR) use cases in open water [32]. Finally, large-scale repositories, such as MARVEL, which comprise over two million community-contributed vessel images, enable fine-grained recognition of vessel types and appearance-based classification [33].

Overall, vision-based maritime datasets have catalyzed research in object detection, semantic segmentation, obstacle avoidance, domain adaptation, and multimodal data fusion. These resources form a critical foundation for developing perception algorithms that support both autonomous navigation and coastal surveillance systems.

Remote sensing datasets. Satellite-based datasets provide a complementary large-scale perspective for maritime monitoring and have been extensively used for ship detection, surveillance, and environmental protection. Synthetic Aperture Radar (SAR) and high-resolution optical imagery allow persistent coverage of vast ocean areas regardless of weather or daylight conditions, making them essential for maritime domain awareness.

The SAR Ship Detection Dataset (SSDD) and its improved version LS-SSDD v1.0 aggregate multi-mission SAR imagery (including Sentinel-1) with expert-annotated ship locations, serving as widely adopted baselines for small-target detection and model generalization across sensors [34]. The High-Resolution SAR Images Dataset (HRSID) extends this effort by including multi-sensor, multi-resolution imagery annotated for ship detection and instance segmentation, allowing comparative evaluation across diverse SAR modalities [35]. For optical data, the HRSC2016 dataset provides fine-grained, rotated bounding box annotations for ship detection and classification. In contrast, the SeaShips dataset contributes an extensive collection of coastal CCTV images for multi-class ship recognition and domain adaptation research [36].

These datasets collectively support a variety of downstream tasks, including oriented object detection, data fusion between SAR and optical imagery, traffic density estimation, and dark-target identification. Their integration with AIS data further enhances the reliability of vessel tracking and facilitates the cross-validation of ship behavior in regions where AIS signals are missing or intentionally disabled [37]. As a result, remote sensing datasets play a crucial role in enabling large-scale monitoring, enforcing maritime regulations, and detecting environmental incidents.

Despite the steady progress in data availability, the maritime AI research landscape remains fragmented and lacks a unifying multimodal dataset comparable to those driving advances in the automotive domain. As emphasized in recent community discussions, the absence of large-scale, standardized, and openly accessible maritime datasets continues to hinder the development of reliable, explainable, and context-aware navigation systems [3]. A coordinated effort is required to establish an open, multimodal maritime dataset that integrates visual, radar, AIS, and auxiliary sensor modalities, enriched with contextual and behavioral information reflecting the principles of good seamanship. Adherence to standardized data collection protocols and the FAIR data principles would ensure interoperability and reusability across institutions and projects, thereby fostering transparent benchmarking and accelerating

innovation. In line with these recommendations, the following section presents a methodology for collecting and curating simulator-based multimodal data, aimed at creating an open, reproducible foundation for research on human–AI interaction, navigational decision-making, and operator performance in realistic maritime environments.

Dataset properties. The data collected during the proposed experiment should adhere to the following principles.

1. **Open-Source Accessibility.** The dataset will be publicly released through an open repository, such as GitHub, ensuring it is accessible to researchers, educators, and industry practitioners worldwide. Detailed documentation, pre-processing scripts, and standardized metadata will accompany all data. The intention is to establish a long-term, community-driven resource that promotes transparency and reproducibility in maritime AI research.
2. **Following FAIR principles.** In accordance with the FAIR principles (Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable) [38], each dataset release will include persistent digital identifiers, structured metadata, and a clear versioning system. The data will be stored in interoperable formats such as CSV, Parquet, and JSON, ensuring compatibility with everyday analytical environments. This approach will allow researchers to trace data provenance, replicate experiments, and integrate additional contributions while maintaining scientific rigor.
3. Using a **simulator-based environment** ensures high control over experimental variables and substantially reduces data collection costs compared to real-world measurements. The simulator reproduces vessel hydrodynamics, sensor behavior, and environmental conditions, enabling safe replication of high-risk scenarios that would be impractical or dangerous at sea. The resulting dataset will thus offer both realism and repeatability, supporting research in navigation, human performance, and decision-making.
4. **Standardization and Explainability.** To ensure coherence between institutions and projects, a unified data acquisition standard will be established. This includes fixed wheatear condition, identical scenarios, and a shared annotation schema. The dataset design will incorporate explainability features from the outset, with contextual metadata describing scenario objectives, environmental parameters, and operator intent. This structure will facilitate the development of transparent AI systems whose outputs can be traced and interpreted by maritime professionals.

Experiment design. The following section outlines potential experimental setups that can be employed for the data collection process.

Sample size. To ensure statistical robustness and adequate representation of navigational behavior, the experiment should involve a minimum sample of **at least** 100 participants (cadets) performing standardized simulation exercises. For instance, if the objective is to classify navigator behavior into characteristic patterns—such as *aggressive*, *normal*, or *cautious* driving styles, as commonly implemented in the automotive domain [39]—a dataset of this scale would allow the formation of stable clusters, each comprising approximately 20–30 participants [40]. Such a configuration supports meaningful behavioral differentiation while maintaining statistical balance across groups.

Experiment scenarios. Given a controlled simulator environment that can generate synchronized navigation and environmental data, several experiment scenarios can be defined to support future machine learning research in maritime operations. One key application is the evaluation of maneuvering performance, where the simulator records a time series of navigational parameters, control inputs, and vessel responses during tasks such as collision avoidance, docking, turning, or man-overboard maneuvers. These data can be used to train models that estimate maneuver efficiency, predict deviations from optimal paths, and classify safe versus unsafe responses under varying visibility, traffic density, and sea conditions.

Conclusion. A general maritime simulator dataset enables reproducible and ethically safe

experimentation across navigational, operational, and human-factor dimensions. The controlled variability of simulated environments allows systematic testing of machine learning methods for performance evaluation, safety prediction, and anomaly detection. Establishing standardized experimental protocols and shared data structures lays the groundwork for a scalable, open-source framework that supports future research on intelligent maritime systems.

REFERENCES

1. Thakur, Aman & Alex, Lawrence & Nighojkar, Amrita. (2025). Artificial Intelligence in Maritime Anomaly Detection: A Decadal Bibliometric Analysis (2014-2024). *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*. 106. 10.1007/s40032-025-01169-w
2. Yeung, Wang & Clemente, Riccardo & Lambiotte, Renaud. (2025). Garbage in garbage out? Impacts of data quality on criminal network intervention. *EPJ Data Science*. 14. 10.1140/epjds/s13688-025-00553-x.
3. Wirbel, J., Clemmensen, L. K. H., & Galeazzi, R. (Accepted/In press). Unlock AI Vessel Navigation Assistants: A Community Call for Open Data. *IFAC-PapersOnLine*.
4. Tritsarolis, A., Kontoulis, Y., & Theodoridis, Y. (2022). The Piraeus AIS dataset for large-scale maritime data analytics. *Data in brief*, 40, 107782.
5. Masek, M., Lam, C. P., Rybicki, T., Snell, J., Wheat, D., Kelly, L., & Smith-Gander, C. (2021). The open maritime traffic analysis dataset.
6. Wolsing, K., Roepert, L., Bauer, J., & Wehrle, K. (2022). Anomaly detection in maritime AIS tracks: A review of recent approaches. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(1), 112.
7. Ruan, Z., Huang, L., Wang, K., Ma, R., Wang, Z., Zhang, R., ... & Wang, C. (2024). A novel prediction method of fuel consumption for wing-diesel hybrid vessels based on feature construction. *Energy*, 286, 129516.
8. Munim, Z. H., Kjeldsberg, F., Bustgaard, M., Bhagat, S., Haavardtun, P., Kim, T. E., ... & Lampiola, J. (2025). Predictive Performance Assessment in Simulation Training using Machine Learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 1-31.
9. International Maritime Organization (IMO). Resolution MSC. 74 (69) Adoption of New and Amended Performance Standards; IMO: London, UK, 1998.
10. International Maritime Organization (IMO). SOLAS Chapter V-1/7/02 Safety of Navigation; IMO: London, UK, 2002.
11. International Maritime Organization (IMO). Resolution A.1106(29) Revised Guidelines for the Onboard Operational Use of Shipborn Automatic Identification Systems (AIS); IMO: London, UK, 2015.
12. Fournier, M.; Casey Hilliard, R.; Rezaee, S.; Pelot, R. Past, present, and future of the satellite-based automatic identification system: Areas of applications (2004-2016). *WMU J. Marit. Aff.* 2018, 17, 311-345.
13. NOAA Office for Coastal Management. (n.d.). AccessAIS. <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/ais.html>
14. Gloaguen, P., Chapel, L., Friguet, C., & Tavenard, R. (n.d.). Scalable clustering of segmented trajectories within a continuous time framework: Application to maritime traffic data.
15. Nguyen, D., & Fablet, R. (2024). A transformer network with sparse augmented data representation and cross entropy loss for ais-based vessel trajectory prediction. *IEEE Access*, 12, 21596-21609.
16. Shin, Y., Kim, N., Lee, H., In, S. Y., Hansen, M., & Yoon, Y. (2024). Deep learning framework for vessel trajectory prediction using auxiliary tasks and convolutional networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 132, 107936.
17. Jiao, H., Li, H., Lam, J. S. L., Gao, X., & Yang, Z. (2025). Multi-factor influence-based ship trajectory prediction analysis via deep learning. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 1-19.

18. Tritsarolis, A., Murray, B., Pelekis, N., & Theodoridis, Y. (2023, November). Collision risk assessment and forecasting on maritime data. In *Proceedings of the 31st ACM International Conference on Advances in Geographic Information Systems* (pp. 1-10).
19. Park, J., & Jeong, J. S. (2021). An estimation of ship collision risk based on relevance vector machine. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5), 538.
20. Korupoju, A. K., Kapadia, V., Vilwathilakam, A. S., & Samanta, A. (2025). Ship Collision Risk Evaluation using AIS and weather data through fuzzy logic and deep learning. *Ocean Engineering*, 318, 120116.
21. Nguyen, D., Simonin, M., Hajduch, G., Vadaine, R., Tedeschi, C., & Fablet, R. (2020, June). Detection of Abnormal Vessel Behaviours from AIS data using GeoTrackNet: from the Laboratory to the Ocean. In *2020 21st IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM)* (pp. 264-268). IEEE
22. Singh, S. K., Fowdur, J. S., Gawlikowski, J., & Medina, D. (2022). Leveraging graph and deep learning uncertainties to detect anomalous maritime trajectories. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(12), 23488-23502.
23. Schwehr, K. D., & McGillivray, P. A. (2007, September). Marine Ship Automatic Identification System (AIS) for enhanced coastal security capabilities: an oil spill tracking application. In *OCEANS 2007* (pp. 1-9). IEEE.
24. Vespe, M., Gibin, M., Alessandrini, A., Natale, F., Mazzarella, F., & Osio, G. C. (2016). Mapping EU fishing activities using ship tracking data. *Journal of Maps*, 12(sup1), 520-525.
25. Xie, W., Li, Y., Yang, Y., Wang, P., Wang, Z., Li, Z., ... & Sun, Y. (2023). Maritime greenhouse gas emission estimation and forecasting through AIS data analytics: a case study of Tianjin port in the context of sustainable development. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1308981.
26. Yang, D., Wu, L., Wang, S., Jia, H., & Li, K. X. (2019). How big data enriches maritime research—a critical review of Automatic Identification System (AIS) data applications. *Transport reviews*, 39(6), 755-773.
27. Zhang, M. M., Choi, J., Daniilidis, K., Wolf, M. T., & Kanan, C. (2015). VAIS: A dataset for recognizing maritime imagery in the visible and infrared spectrums. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 10-16).
28. Prasad, D. K., Rajan, D., Rachmawati, L., Rajabally, E., & Quek, C. (2017). Video processing from electro-optical sensors for object detection and tracking in a maritime environment: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(8), 1993-2016.
29. Bovcon, B., Muhovič, J., Perš, J., & Kristan, M. (2019, November). The MaSTr1325 dataset for training deep USV obstacle detection models. In *2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 3431-3438). IEEE.
30. Bovcon, B., Mandeljc, R., Perš, J., & Kristan, M. (2018). Stereo obstacle detection for unmanned surface vehicles by IMU-assisted semantic segmentation. *Robotics and Autonomous Systems*, 104, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2018.02.017>
31. Bovcon, B., Muhovič, J., Vranac, D., Mozetič, D., Perš, J., & Kristan, M. (2021). MODS—A USV-oriented object detection and obstacle segmentation benchmark. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 13403-13418.
32. Varga, L. A., Kiefer, B., Messmer, M., & Zell, A. (2022). Seadronessee: A maritime benchmark for detecting humans in open water. In *Proceedings of the IEEE/CVF winter conference on applications of computer vision* (pp. 2260-2270).
33. Gundogdu, E., Solmaz, B., Yücesoy, V., & Koc, A. (2016, November). Marvel: A large-scale image dataset for maritime vessels. In *Asian conference on computer vision* (pp. 165-180). Cham: Springer International Publishing.
34. Zhang, T., Zhang, X., Li, J., Xu, X., Wang, B., Zhan, X., ... & Wei, S. (2021).

SAR ship detection dataset (SSDD): Official release and comprehensive data analysis. *Remote Sensing*, 13(18), 3690.

35. Wei, S., Zeng, X., Qu, Q., Wang, M., Su, H., & Shi, J. (2020). HRSID: A high-resolution SAR images dataset for ship detection and instance segmentation. *Ieee Access*, 8, 120234-120254.

36. Liu, Z., Yuan, L., Weng, L., & Yang, Y. (2017, February). A high resolution optical satellite image dataset for ship recognition and some new baselines. In *International conference on pattern recognition applications and methods* (Vol. 2, pp. 324-331). SciTePress.

37. Milios, A., Bereta, K., Chatzikokolakis, K., Zissis, D., & Matwin, S. (2019). Automatic fusion of satellite imagery and AIS data for vessel detection. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Information Fusion (FUSION)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.23919/FUSION43075.2019.9011339>

38. Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., ... & Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*, 3(1), 1-9.

39. Ma, Y., Li, W., Tang, K., Zhang, Z., & Chen, S. (2021). Driving style recognition and comparisons among driving tasks based on driver behavior in the online car-hailing industry. *Accident Analysis & Prevention*, 154, 106096.

40. Ernst, D., & Dolnicar, S. (2018). How to avoid random market segmentation solutions. *Journal of Travel Research*, 57(1), 69-82.

ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ЗАНЯТТЯХ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ

Мельникова А.С.

*Відокремлений структурний підрозділ «Морський фаховий коледж Херсонської
державної морської академії»
(Україна)*

Вступ. Морська індустрія є основою в економіці України, яка забезпечує значний обсяг експортно-імпорتنих операцій та працевлаштування кваліфікованих фахівців. Дивлячись на сьогоднішнє, яке постійно знаходиться в реформах, приходимо до того, що роль викладача та методика викладання потребує змін. Англійська мова – мова сьогоднішнього, яка заповнює усі отвори нашого життя, а знання з цієї мови є необхідністю. Англійська відкриває безліч можливостей, розширення кола спілкування, доступ до інформації. Важливість вивчення мови закладається ще з юнацьких років. Тому, викладач іноземної мови має завжди розвиватись, вивчати новітні підходи та вміти мотивувати учнів до активної роботи. Інноваційна методика вимагає від викладача бути інструктором, організатором та помічником для здобувачів освіти.

Як зазначила Шевченко І.: наразі спостерігається активний розвиток технологій штучного інтелекту, який стає необхідним в різних сферах, включаючи освіту. Для нашої країни надзвичайно важливо продовжувати фундаментальні й прикладні дослідження в галузі штучного інтелекту, адже в майбутньому досягнення з даного напрямку будуть однією з невід'ємних складових будь-якої держави та її успіху на міжнародному ринку новітніх технологій [8]. Використання штучного інтелекту (ШІ) під час занять з англійської мови надає можливість трансформувати методи навчання й викладання під сучасні умови та нове покоління, яке завжди на чолі відкриттів. За допомогою ШІ ми переходимо від стандартного навчання до індивідуалізованого. ШІ аналізує навчальні потреби, дає персоналізовані завдання й матеріали. Ця технологія є потужним інструментом створення нового сучасного освітнього простору, який базується на унікальних й індивідуальних методиках подання матеріалу й навчання, орієнтується на побажання студентів і відповідає вимогам сьогоднішнього.

Практичні посібники, граматичні довідники й словники стали стандартними елементами аудиторних занять, де граматики й словниковий запас займають центральне місце. Проте значна увага на граматичних правилах і перекладі текстів може виявитися неефективним для розвитку комунікативних умінь курсантів, що особливо відчутно в сучасних умовах, коли англійська є міжнародною мовою спілкування. Традиційна методика викладання передбачає усну (діалогову) та письмову взаємодію (твори) здобувачів освіти та викладачів під час вивчення англійської [9]. Ось чому необхідно запровадити нові методи викладання, які сприятимуть не лише розумінню граматичних аспектів, а й розвитку іншомовної комунікативної компетентності. Світ змінюється та англійська мова набуває сталу позицію у комунікації та професійному розвитку, тому використовуючи ШІ навчання стає більш вмотивованим, ефективним та результативним.

Термін «штучний інтелект» є доволі комплексним та може мати доволі різні інтерпретації. Сама галузь є дуже молодою, термінологія та принципи були сформовані на науковій конференції у Принстонському університеті у 1956 році [2, с. 64]. Досить часто, термін «штучний інтелект» тлумачиться як здатність автоматизованих систем виконувати функції людського інтелекту, здатність вибирати та приймати рішення на основі попереднього накопиченого досвіду та раціонального аналізу зовнішніх факторів [7, с. 8]. В Україні поняття «штучний інтелект» і його цілі, принципи та завдання визначено в Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні від 2 грудня 2020 р. № 1556-р. Згідно з

цією Концепцією, штучний інтелект — організована сукупність інформаційних технологій, із застосуванням якої можливо виконувати складні комплексні завдання шляхом використання системи наукових методів досліджень і алгоритмів обробки інформації, отриманої або самостійно створеної під час роботи, а також створювати та використовувати власні бази знань, моделі прийняття рішень, алгоритми роботи з інформацією та визначати способи досягнення поставлених завдань [4].

Розвиток технологій штучного інтелекту в освітньому середовищі є важливим напрямком сучасного розвитку. Застосування штучного інтелекту в освітньому середовищі має великий потенціал для покращення ефективності навчання та персоналізації освітнього процесу [6, с. 252]. Наразі важливою науковою задачею є вивчення інноваційних методів навчання та викладання англійської мови у закладах фахової передвищої освіти, що підвищить конкурентоспроможність під час відбору здобувачів освіти до кріюінгових компаній.

Зубенко О. вважає, що використання ШІ здатне зробити заняття з вивчення іноземної мови більш ефективними (завдяки покращенню інтенсивності навчального процесу), мотиваційними (сформувати зацікавленість до пізнавальної діяльності й залучити до роботи навіть пасивних студентів) наочними й цікавими (з використанням абстрактного й логічного мислення). Однак дискусійним залишається питання безпеки й ризиків, які можуть виникнути внаслідок застосування цієї технології. Дослідник переконаний, що лише зваження на всі ризики від впровадження ШІ в навчальний процес дозволить ефективно опановувати іноземну мову [3]. Косова Т. наголошує на важливості впровадження штучного інтелекту, зокрема чат-бота GPT, у навчання англійської мови із застосуванням інтерактивних методів і необхідності індивідуалізації навчальних підходів до кожного здобувача освіти. Проте допускає й ряд недоліків, пов'язаних із цим [5]. Акоп'янц Н., ґрунтуючись на проведеному дослідженні можливостей, переваг і недоліків використання ШІ в навчанні англійської мови, експериментально доводить, що його застосування в освітньому середовищі сприяє підвищенню показників продуктивності навчання [1].

Таким чином, ШІ поліпшує освіту, але все ж таки основу складає взаємодія між людьми, тому викладач — посередник, який формує інтелект, етичні цінності здобувачів освіти, а інноваційні технології допомагають вдосконалити та надати якісну освіту. Основними плюсами штучного інтелекту є полегшення роботи викладача, забезпечення широких можливостей для оптимізації навчального матеріалу та підвищення ефективності викладання. В чому користь ШІ в освітньому процесі?

По-перше, використовуючи ШІ під час індивідуалізованого навчання йде врахування темпу навчання кожного студента, його рівня знань, надається завдання для швидкого засвоєння матеріалу. Ефективно використовувати для тих студентів, які є здобувачами освіти у закордонному вузі та українському вузі одночасно й не мають змоги відвідувати навчальні заняття на постійній основі.

По-друге, ШІ полегшує та адаптує час викладача, адже він виконує рутинні завдання, такі як перевірка домашніх завдань чи організація розкладу. Завдяки цьому викладач може перейти до творчої чи індивідуальної роботи зі здобувачами освіти.

По-третє, створивши інтерактивні матеріали за допомогою ШІ відчувається залученість учнів та поліпшення розуміння англійської мови за професійним спрямуванням.

Використання цікавих ігор, віртуальних нагород та конкурсів за допомогою ШІ може стимулювати учнів і підвищити їх мотивацію до навчання. Системи можуть створювати індивідуалізовані мотиваційні стратегії, враховуючи інтереси та потреби кожного учня.

До інноваційних методів навчання й викладання можна віднести: застосування інтелектуальних чат-ботів, організацію мультимедійних лекцій з індивідуальним

трекінгом, створення віртуальних мовних лабораторій, розробку проектних завдань на основі інтелектуальних систем, проведення аудіо-лінгвістичних імітаційних сесій, впровадження мобільних смарт-додатків, застосування технологічних ігор. Розглянемо на прикладах:

1) Інтелектуальні чат-боти для здобувачів освіти стають мовленнєвими наставниками, які надають завдання для покращення комунікативних навичок, коригуючи помилки. Як результат є персоналізована підтримка й взаємодія, автоматизоване оцінювання, стимулювання активності, аналіз прогресу.

2) Студент слухає мультимедійні лекції й бере участь у віртуальних дискусіях. Система ШІ аналізує реакції й рівень розуміння, підлаштовує матеріал під індивідуальні потреби. Таким чином, відбувається оптимізація складності матеріалу, гнучкість навчання, індивідуальне відстеження прогресу.

3) Студенти працюють у віртуальних мовних лабораторіях, де штучний інтелект аналізує їхню вимову, граматику й лексику. Інтерактивні вправи дозволяють практикувати мовні навички в реальних ситуаціях. Це сприяє вдосконаленню мовленнєвих навичок, аналізуючи сильні та слабкі сторони студентів, розпочинається відстеження прогресу, що впливає на інтерактивний спосіб подання матеріалу.

4) Студенти працюють над мовними проектами, використовуючи інтелектуальні системи для аналізу й оптимізації результатів. Відбувається розвиток критичного мислення й практичних навичок спілкування, командна робота, креативне рішення проблем, звітність і презентації, вміння застосовувати набуті знання у реальних комунікативних ситуаціях.

5) Студенти беруть участь в імітаційних сесіях, де ШІ аналізує їхню вимову й акцент. Завдання полягає в точному відтворенні англійських текстів, озвучених носіями мови. Це має позитивні сторони для покращення вимови й розвитку слухового сприймання тексту з різними акцентами.

6) Студенти використовують мобільні смарт-додатки для коротких експрес-уроків і вправ, які адаптуються до їхнього розкладу й предметів, які вивчаються. Приходимо до висновку, що мобільність і зручність навчання, адаптивні вправи й матеріали, моніторинг часу вивчення матеріалу дає можливість гнучкої роботи студентів та їх уважності й зацікавленості до вивчення предмету.

7) Студенти грають у віртуальні ігри, де вони вирішують інтелектуальні завдання, спрямовані на розвиток мовлення й лексики. У результаті маємо командну роботу, розвиток соціальних і комунікаційних навичок, практичне вдосконалення іншомовного мовлення.

Висновки. Отже, освіта, підтримувана штучним інтелектом, відкриває нові перспективи для покращення навчання та готовності молодого покоління до викликів сучасного світу. Студенти ж, на відміну від викладачів, не тільки вправно володіють передовими технологіями, а й швидко виробляють цифрові навички. Їхня готовність до інновацій виявляється в швидкій адаптації до різноманітних онлайн-ресурсів і мобільних додатків для вивчення мови. Молодь комфортно використовує ШІ, оскільки вона розуміє, як застосовувати технології – від інтерактивних асистентів, які коригують вимову, до інтелектуальних систем адаптивного навчання, що пристосовуються до індивідуальних потреб, полегшуючи їх навчальний процес. Це сприяє покращенню контролю за успіхами та самодисципліні, збільшенню автономії, розширенню простору для творчості та індивідуальності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Акоп'янц, Н. М.(2023). Використання ChatGPT в процесі вивчення англійської мови: переваги та можливості. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Актуальні проблеми розвитку українського суспільства, с.69–72.

2. Дубчак А. О. Напрямки використання штучного інтелекту в сучасних умовах / А. О. Дубчак, Я. В. Литвиненко // Матеріали міжнародної наукової конференції «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України» (до 175-ліття від дня народження), 28–30 вересня 2020 року. Т. : ФОП Паляниця В. А., 2020. С. 64–65.
3. Зубенко, О. В.(2023). Штучний інтелект і вивчення іноземної мови. Закарпатські філологічні студії 27, с.80–85.
4. Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 02.12.2020 р. № 1556-р).
5. Косова, Т.(2023). Роль штучного інтелекту та чату GPT у навчанні англійської мови:плюси та мінуси. В Г. Л. Єфремова (Ред.),Інноваційні технології розвитку особистісно-професійної компетентності педагогів в умовах післядипломної освіти (с.204–208).
6. Мельник А.В. Застосування штучного інтелекту в освітньому середовищі: потенціал та виклики. Розвиток педагогічної майстерності майбутнього педагога в умовах освітніх трансформацій : матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції. 7 квітня 2023 р. Глухів, 2023. С. 250–253
7. Фратавчан В.Г., Фратавчан Т.М., Лукашів Т.О., Літвінчук Ю.А., Методи та системи штучного інтелекту: навчальний посібник. Чернівці: ЧНУ,2023, – 114 с.
8. Шевченко І. Дослідження штучного інтелекту в Україні: здобутки та перспективи. URL: <https://cutt.ly/DwDHeR3M> (дата звернення: 21.12.2023)
9. Ямполь, Ю. В., Косенюк, Г. В., Жукова, Г. В., Булгакова, Т. М.(2023). Розвиток комунікаційного простору закладу освіти: світовий досвід розвитку професійного спілкування в умовах цифровізації освітнього процесу. Академічні візії. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7808348>

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНІК АУГМЕНТАЦІЇ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ЗОРУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ РАКУРСУ СУДНА

Пашенко О.Л.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Розвиток штучного інтелекту та комп'ютерного зору відкриває нові можливості для автоматизації процесів у морській навігації. Одним із важливих завдань є визначення ракурсу судна, що сприяє підвищенню безпеки руху та точності навігаційних рішень. Моделі штучного зору, зокрема YOLOv8, демонструють високу ефективність у розпізнаванні об'єктів [1], проте їхня продуктивність значною мірою залежить від різноманіття навчальних даних. У морському середовищі точність моделі знижується через змінне освітлення, погодні фактори та відбиття від поверхні води [2,3]. Використання аугментації даних дозволяє підвищити узагальнюючу здатність моделей, однак окремі трансформації можуть спотворювати орієнтацію об'єкта, знижуючи точність. Тому актуальним є аналіз впливу технік аугментації на продуктивність моделі штучного зору при визначенні ракурсу судна.

Аугментація — це багатофункціональний засіб для збільшення різноманіття навчальних зразків. Застосування аугментації дозволяє створювати модифіковані копії наявних зображень (наприклад, шляхом обертання, відображення чи зміни кольору), що сприяє кращому узагальненню моделей на нових даних. В роботі були розглянуто три групи аугментацій, а саме: аугментації кольорового простору, геометричні трансформації та просторово-локальні перетворення. Інші стандартні види аугментації можуть знижувати якість навчання. При виборі аугментації зображень варто враховувати характер морського середовища: завжди присутній горизонт, море знаходиться унизу, а небо зверху. Як зазначено в [4], при невеликому обсязі даних і специфічних умовах знання специфіки навколишнього середовища є критичним при виборі аугментацій. Тому такі види аугментації як обертання, віддзеркалення, композиційні трансформації, було виключено, оскільки вони можуть змінювати просторову структуру або напрямок об'єкта, що є критичним у задачах визначення ракурсу [5].

Під час навчання моделі було застосовано кольорові аугментації, зокрема випадкове регулювання відтінку (Hue Shift), насиченості (Saturation Shift) та яскравості (Brightness Shift). Регулювання відтінку виявляється особливо ефективним для задач штучного зору в умовах змінного природного освітлення, коли зовнішній вигляд об'єктів може суттєво варіюватися. Зміна насиченості допомагає моделі краще адаптуватися до різних умов зйомки — наприклад, при зміні погоди чи параметрів камери. Зміна яскравості дозволяє зменшити залежність моделі від рівня освітлення сцени, забезпечуючи стабільність розпізнавання як у надмірно освітлених, так і в затемнених зображеннях. На рис.1 представлені приклади кольорової аугментації.

Одним із ключових методів аугментації даних під час навчання моделей штучного зору є геометричні трансформації. Основні прийоми включають зсув (translate), масштабування (scaling), зсув по осі (shear) та перспективне викривлення (perspective) (рис. 2). У задачах розпізнавання суден на морській поверхні зсув (translate) дозволяє моделі ефективно адаптуватися до зміни положення об'єкта в кадрі, що є типовим при зйомці з борту судна. Це імітує зміщення судна в полі зору камери. Зміна розміру (scaling) допомагає моделі розпізнавати судна на зображеннях незалежно від їхньої відстані до камери, забезпечуючи адаптацію до різних масштабів. Зсув по осі (shear) і перспективне викривлення (perspective) імітують реальні геометричні трансформації суден, що

виникають через зміну кута огляду або рух камери, підвищуючи стійкість моделі до таких спотворень [6].



Рисунок 1 — Приклади аугментацій кольорового простору

Випадкове стирання фрагментів зображення (erasing) (рис. 2) є одним з розповсюджених методів просторово-локальної аугментації. Метод полягає у маскуванні прямокутної ділянки зображення випадковим чином, що моделює втрату частини візуальної інформації через перекриття об'єктами один одного, часткове потрапляння у кадр, опади та інші завади [7].

Для проведення навчання моделі штучного зору, в початковій конфігурації, було сформовано власний набір даних, що включав 1742 зображення, 115 з яких є negative examples, тобто зображення морського середовища, що не містили об'єктів для розпізнавання. Кожен об'єкт на зображеннях віднесений до одного з восьми ракурсів: forward, port bow, port side, starboard bow, starboard quarter, starboard side, stern, port quarter. Дані були розподілені на три групи: тренування, перевірка та тестування (табл.1) [7].

Навчальний набір даних відображає реальні сцени на воді, відповідно на одному зображенні могли містити декілька суден в різних ракурсах, через що підібрати однакову кількість об'єктів по кожному класу доволі важко. Для компенсації дисбалансу у вибірці були використані вагові коефіцієнти, розраховані відносно найбільш представленого класу port side (494 приклади), зокрема: 1.86 для класу 0, 1.70 для класу 1, 1.00 для класу 2, 1.73 для класу 3, 2.22 для класу 4, 1.11 для класу 5, 3.29 для класу 6 та 2.32 для класу 7.

Для тренування моделі штучного зору використано компактну і швидку модель YOLOv8n, оптимізовану для обмежених обчислювальних ресурсів, що робить її придатною для роботи на борту суден. Вона забезпечує конкурентоспроможну точність виявлення об'єктів у режимі реального часу та підтримує донавчання на власних даних.

Навчання моделі при використанні одного типу аргументації відбувалося протягом 60 епох. У дослідженні для реалізації процесу аугментації використано бібліотеку Albumentations, яка є високопродуктивним інструментом для обробки зображень у Python

та забезпечує широкий спектр різних трансформацій. Результати дослідження зібрані в таблицю 2:



Рисунок 2 — Приклади геометричної та просторово-локальної аугментації

Таблиця 1 — Розподіл даних для тренування, перевірки та тестування

№ класу	Назва класу	Тренування	Перевірка	Тестування
0	forward	266	70	29
1	port bow	291	77	64
2	port side	494	166	63
3	starboard bow	285	66	37
4	starboard quarter	223	65	33
5	starboard side	443	84	50
6	stern	150	49	22
7	port quarter	213	55	32
	negative examples	68	33	14
		2433	665	344

Отримані результати свідчать про підвищення показників розпізнавання ракурсів суден завдяки використанню аугментації порівняно з навчанням без неї. Модель, натренована без аугментації, продемонструвала середні показники точності ($\text{precision} = 0.66866$, $\text{recall} = 0.52828$, $\text{mAP50} = 0.61229$), що свідчить про обмежену здатність узагальнювати ознаки при зміні умов спостереження. Додавання різних типів аугментацій призвело до помітного поліпшення показників. Зокрема, регулювання масштабування виявилось найефективнішим: mAP50 зріс до 0.64649, а mAP50-95 – до 0.52609, при одночасному підвищенні recall до 0.60364. Це свідчить, що масштабування забезпечує найкращу адаптацію моделі до зміни відстані та розміру суден у кадрі, що є критично важливим у морських умовах.

Колірні аугментації (відтінок, насиченість, яскравість) також покращили результати, але в меншій мірі, тоді як перспективне викривлення та випадкове стирання виявилися неефективними. Отже, масштабування та колірні трансформації є найбільш доцільними видами аугментації.

Таблиця 2 — Порівняння основних параметрів моделі при використанні різних типів аугментацій

Параметр	Початкові параметри моделі [7]	Тренування моделі без додаткової аугментації	Регулювання відтінку	Регулювання насиченості	Регулювання яскравості	Регулювання зсуву	Регулювання масштабування	Регулювання зсуву по осі	Регулювання перспективного викривлення	Регулювання випадкового стирання
epoch	25	19	31	36	12	44	57	52	47	19
train/box_loss	0.0045	0.00192	0.00157	0.00147	0.00241	0.0022	0.00249	0.00309	0.00875	0.00192
train/cls_loss	0.69631	0.53541	0.45063	0.42623	0.77714	0.65095	0.71796	0.68118	5.74881	0.53541
train/dfll_loss	0.93709	0.67876	0.65252	0.64642	0.72514	0.7162	0.73957	0.8066	1.96891	0.67876
precision	0.3964	0.66866	0.65382	0.6307	0.64021	0.70257	0.6617	0.66745	0.28919	0.66866
recall	0.41739	0.52828	0.5677	0.56586	0.57797	0.5388	0.60364	0.54362	0.12445	0.52828
mAP50	0.37135	0.61229	0.61404	0.60985	0.61082	0.63799	0.64649	0.60522	0.1013	0.61229
mAP50-95	0.30399	0.4918	0.49507	0.48686	0.49069	0.51033	0.52609	0.40495	0.03576	0.4918
val/box_loss	0.00585	0.00335	0.00339	0.00344	0.00337	0.00326	0.0031	0.00521	0.00874	0.00335
val/cls_loss	2.1155	1.87315	1.91049	1.90416	1.82186	2028194	1.65527	2.06874	4.46031	1.87315
val/dfll_loss	1.12038	0.83368	0.87164	0.88611	0.83792	0.83175	0.80121	1.022	1.77471	0.83368

Висновки. Аугментація даних є потужним інструментом для покращення навчання моделей комп'ютерного зору та підвищення їх стійкості до варіативності даних. Однак її застосування слід ретельно адаптувати до конкретного завдання та середовища. Для розпізнавання ракурсу суден доцільно обирати такі трансформації, які зберігають фізичний сенс сцени (горизонт, напрям руху), і уникають нереалістичних спотворень. Використання лише одного виду аугментації не дає найкращі результати, комбінування декількох відповідних методів аугментації має кращий ефект.

ЛІТЕРАТУРА

1. J. R. Terven and D. M. Cordova-Esparaza, A Comprehensive Review of YOLO: From YOLOv1 to YOLOv8 and Beyond, arXiv preprint arXiv:2304.00501, Apr. 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2304.00501>
2. Wang, H., Deng, Z., Jiang, C., Ren, J., & Zhang, S. (2022). A review of deep learning techniques for maritime object detection from optical remote sensing images. *Sensors*, 22(14), 5383. <https://doi.org/10.3390/s22145383>.
3. Li, Y., Zhang, X., Zhang, Y., Wang, R., & Li, J. (2024). YOLO-SEA: An enhanced detection framework for multi-scale maritime targets in complex sea states and adverse weather. *Sensors*, 24(1), 243. <https://doi.org/10.3390/s24010243>
4. Tan, M., Langenkämper, D., & Nattkemper, T. W. (2022). The impact of data augmentations on deep learning-based marine object classification in benthic image transects. *Sensors*, 22(14), 5383. <https://doi.org/10.3390/s22145383>
5. Wang, Z., Wang, P., Liu, K., Wang, P., Fu, Y., Lu, C. T., Aggarwal, C. C., Pei, J., & Zhou, Y. (2024). A comprehensive survey on data augmentation. arXiv preprint arXiv:2405.09591.
6. Ultralytics. (n.d.). *YOLO: Data augmentation guide* — Shear. Retrieved September 14, 2025, from <https://docs.ultralytics.com/ru/guides/yolo-data-augmentation/#shear-shear>.
7. Cauli, N., & Reforgiato Recupero, D. (2022). *Survey on Videos Data Augmentation for Deep Learning Models. Future Internet*, 14(3), 93. <https://doi.org/10.3390/fi14030093>.
8. Пашенко О. Л., Піпченко О. Д. Розробка моделі штучного зору на базі алгоритму YOLO для визначення ракурсу судна. *Судноводіння (Shipping & Navigation)*. 2025. Вип. 38.

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СТОРОННЬОГО ПЗ З ECDIS ПРИ НАВЧАННІ У ДИСТАНЦІЙНОМУ РЕЖИМІ

Петровський А.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Сучасний світ все більш потребує переміщень товарів внаслідок зростання економік після COVID 19. Розширюється географія портів, в Азії ще й кількість терміналів обслуговування суден; збільшуються дистанції перевезень внаслідок різних порушень/військових дій (рис.1). Все це вимагає від майбутнього судноводія приділення уваги до розгляду навігаційних перешкод всіх типів при побудові попередньої та реалізації виконавчої прокладки з ECDIS. Однак, сучасні ECDIS ще й досі не набули достатнього розвитку з автоматизації деяких функцій, тим більше це стосується учбових та демонстраційних версій. Розвинутий функціонал комерційних та обмежений для інших версій скорочує можливості потенційної підготовки судноводіїв, що особливо відчувається в умовах дистанційного навчання.

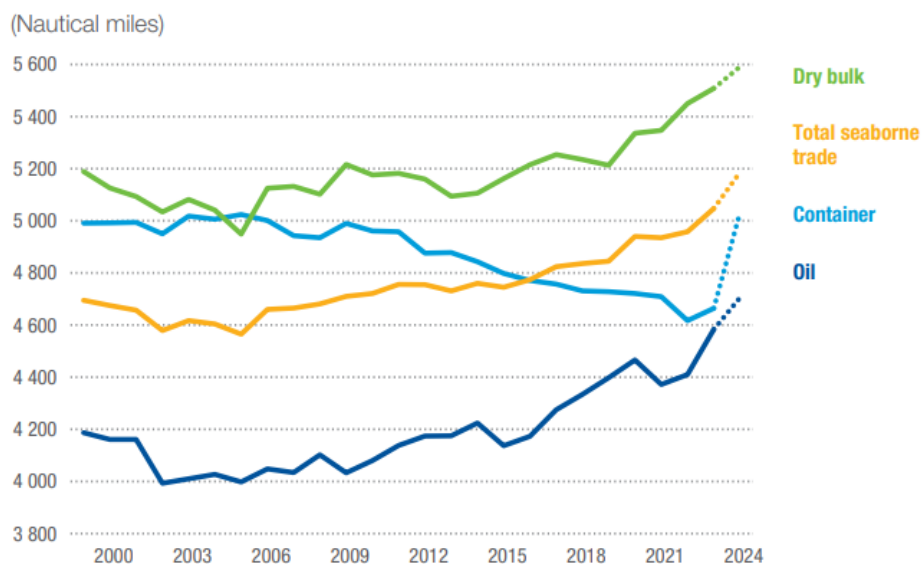


Рисунок 1 — Збільшення середньої довжини для переходів через Чорне море, Панамський канал, Червоне море [1]

Основна частина. Обмеженість розповсюдження у закладах вищої освіти відповідної спрямованості хмарних технологій для симуляторів при навчанні курсантів вимагає появи програмного забезпечення сторонніх розробників. Втілення в учбовий процес відповідного програмного забезпечення може мати декілька етапів. Першим етапом може стати візуалізація результатів автоматизації деякого функціоналу ECDIS, який відсутній на даний час і на комерційних версіях. Прикладами такої візуалізації може бути відображення на VNC картах можливого місцезнаходження об'єктів, до яких застосовуються категорії Zone Of Confidence [2] (рис. 2), вплив погодних умов на значення поправки для UKC[3] (рис. 3), підсвічування Overlap — зон (перехресного накладання декількох полігонів з різним пріоритетом наданої інформації для штурмана) і т.д. Другий етап — використання додаткового програмного забезпечення для аналізу екрана і використання вказаних розробок одночасно з учбовим ECDIS, оскільки отримання дозволу від правовласників програмного забезпечення ECDIS, наданого у заклади вищої освіти на основі учбової ліцензії — проблематичне питання. Реалізація навіть першого етапу вже надасть можливості курсанту наочно побачити:

- зміни геометрії навігаційного простору з урахуванням навігаційних перешкод;

- розподіл значень поправки UKC по плечах переходу, як результат дії погодних умов;
- необхідність вибору пріоритету інформаційних повідомлень у Overlap – зонах.

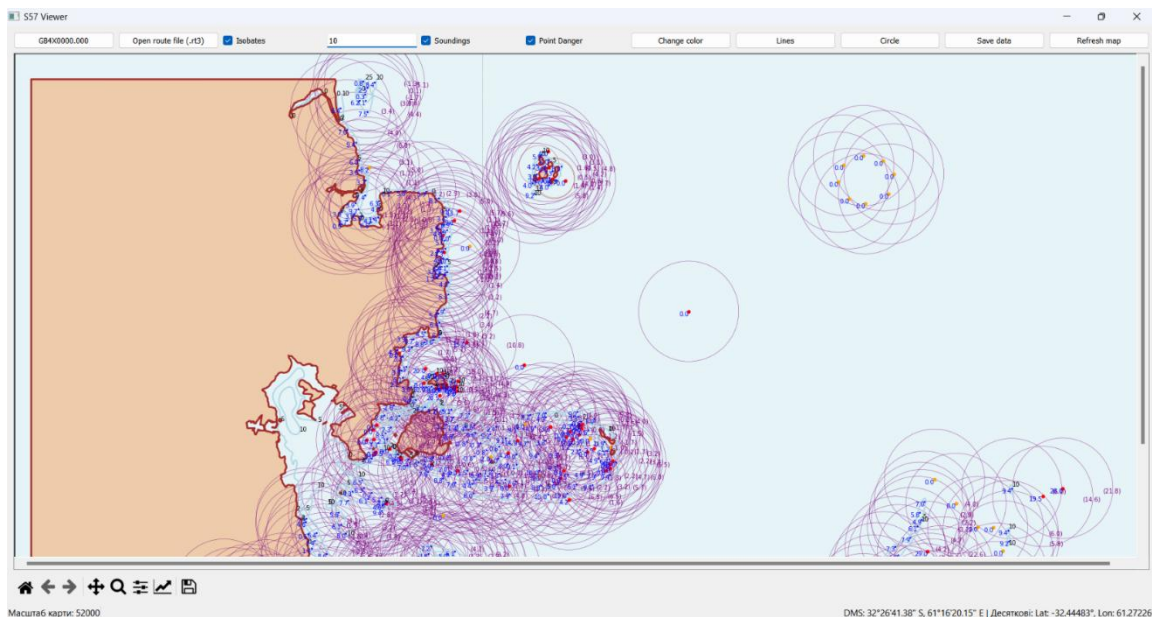


Рисунок 2 — Візуалізація CATZOC на карті VNC

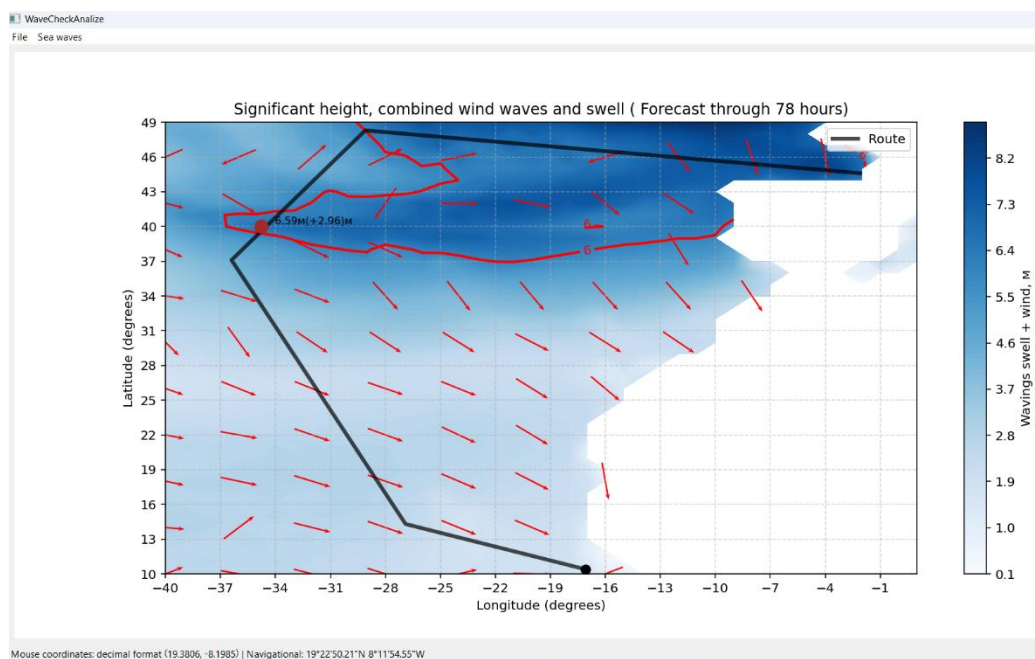


Рисунок 3 — Візуалізація зон небезпечного хвилювання та надання рекомендованої поправки до UKC у відповідній WayPoint переходу

Звісно, запропонований функціонал можливо реалізувати вручну, але для цього потрібно буде використовувати Manual Correction з ECDIS, деся отримувати векторні карти погоди, розраховувати точки на переході, що відповідають крокам погодних карт, а якщо це перехід з ортодромією, то розрахунки значно ускладняться.

Висновки. Не маючи можливості працювати з повнофункціональними ECDIS в очному форматі навчання, реалізація першого етапу для учбових/демонстраційних версій дозволить підвищити рівень свідомості майбутнього судноводія при здійсненні прокладки на прикладах результатів роботи додаткового програмного забезпечення. Подальший

перехід до другого етапу повинен поєднати результати роботи як ECDIS, так і стороннього програмного забезпечення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Review of maritime transport 2024 Navigating maritime chokepoints 2024, https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2024_en.pdf
2. Петровський А.В., Авторське свідоцтво №133972, Комп'ютерна програма «S57ViewerVisualCatzocPointEnc», видане 03.03.2025 УКРНОІВІ.
3. Петровський А.В., Авторське свідоцтво №134311, Комп'ютерна програма «WeatherCheckRoute», видане 12.03.2025 УКРНОІВІ.

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ПРИПОРТОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В ЗАКЛАДАХ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ

Ткач Н.А.

*Чорноморський морський фаховий коледж
Одеського національного морського університету
(Україна)*

Вступ. Воєнний стан в Україні, спричинений широкомасштабним вторгненням Росії, суттєво змінив умови функціонування транспортної інфраструктури, включаючи водний транспорт. Україна має вихід до Чорного моря та розвинуту річкову систему, що до війни забезпечувала значні обсяги міжнародних і внутрішніх перевезень, особливо в аграрному секторі, енергетиці та металургії. Однак бойові дії, окупація частини територій і блокада морських портів суттєво ускладнили організацію транспортної логістики на водному транспорті.

Розвиток припортової інфраструктури є стратегічним чинником конкурентоспроможності національної економіки України, особливо в умовах євроінтеграційних процесів і воєнних викликів. Порти виступають центрами транспортно-логістичних систем, забезпечуючи зовнішньоекономічну діяльність держави, формуючи робочі місця та сприяючи розвитку регіонів [3].

У цьому контексті важливою умовою сталого функціонування портового комплексу є підготовка кваліфікованих фахівців, здатних ефективно управляти сучасними логістичними процесами, забезпечувати безпечну експлуатацію обладнання, дотримання екологічних стандартів і цифровізацію виробничих операцій [2].

Мета дослідження — визначити сучасні підходи до підготовки фахівців припортової інфраструктури з урахуванням вимог сталого розвитку та потреб морської галузі на прикладі соціального партнерства. Для досягнення мети дослідження необхідно:

1. Визначити перелік професій припортової інфраструктури та компетенції, необхідні для сталого розвитку галузі.

2. Охарактеризувати систему підготовки кадрів у закладах фахової передвищої освіти морського профілю.

3. Обґрунтувати важливість соціального партнерства освітніх закладів і портових підприємств, зокрема на прикладі ДП «Морський торговельний порт Чорноморськ».

Основна частина. Сталий розвиток припортової інфраструктури передбачає збалансоване поєднання економічної ефективності, соціальної відповідальності та екологічної безпеки. За даними Міжнародної морської організації [2], основними критеріями сталості портів є енергоефективність, скорочення викидів, управління відходами та «зелена логістика».

Отже, сучасний фахівець має володіти не лише технічними та фаховими, а й управлінськими, аналітичними, комунікативними та екологічними компетентностями. Формування таких компетентностей вимагає інтеграції вимог представників припортової інфраструктури у професійні стандарти та навчальні програми закладів морського профілю [2].

З огляду на вищезазначене сучасні підходи та технології у професійній підготовці фахівців припортової інфраструктури мають наступні напрями співпраці.

Компетентнісний підхід є базовим у сучасній системі професійної освіти. Він спрямований на формування практичних навичок, необхідних для вирішення реальних виробничих завдань як на виробничому навчанні в лабораторіях закладу освіти, так й на виробничій практиці в порту [1]

Вважається одним із найефективніших сучасних підходів дуальна форма навчання, яка поєднує теоретичну підготовку в навчальному закладі з практичною діяльністю на підприємствах портової галузі [5]. Така система забезпечує відповідність між запитами ринку праці та освітніми результатами, зменшує розрив між теорією і практикою, а також

підвищує конкурентоспроможність випускників.

Цифровізація освітнього процесу, а саме інтеграція цифрових технологій у підготовку фахівців припортової морської галузі стає стратегічним напрямом модернізації освіти. Використання платформ для віртуального моделювання портових процесів (наприклад, PortSim, Marine Traffic) дає змогу студентам відпрацьовувати навички управління транспортними потоками та оптимізації логістики [6].

У сучасній професійній освіті набуває значення інтеграція STEM-освіти (Science, Technology, Engineering, Mathematics) з екологічними дисциплінами. Вона формує системне мислення та здатність проєктувати інноваційні рішення для зменшення негативного впливу портових операцій на довкілля [8].

Основні професії, пов'язаних із припортовою інфраструктурою, відповідно до ДК 003:2010 представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 — Перелік кодів та класів професій припортової інфраструктури

№	Назва професії	Код КП за ДК 003:2010	Примітки
1	Технік з експлуатації та ремонту портового устаткування	8112 «Робітники з обслуговування та ремонту устаткування»	Клас «Робітники з обслуговування, експлуатації...»
2	Фахівець з логістики та транспортного менеджменту	3114 «Технічні фахівці в галузі електроніки та телекомунікацій» — або 3113/3115 «Технічні фахівці-механіки»	Професія технічного напрямку
3	Оператор перевантажувальних машин (кранівник)	8114 «Оператори кранів, підйомників, лебідок, конвеєрів»	Професія технічного напрямку
4	Технік з морського та річкового транспорту	3115 «Технічні фахівці — механіки» або 4112 «Технічні службовці, що обслуговують транспортні засоби»	Професія технічного напрямку
5	Диспетчер порту / Агент з морських перевезень	3412 «Диспетчери транспорту»	Професії адміністративно-логістичного характеру

Ці фахівці мають володіти інтегрованими компетентностями: цифровими, екологічними, комунікативними, інженерно-технологічними та правовими [3]. Для деяких з них необхідно продовження навчання та отримання вищої освіти за фахом.

В Україні підготовку кадрів для морської галузі здійснюють:

- Чорноморський морський фаховий коледж ОНМУ (ЧМФК ОНМУ);
- Одеський морський фаховий коледж технічного флоту;
- Херсонський морський фаховий коледж НУК ім. адмірала Макарова;
- Миколаївський фаховий коледж морського транспорту;
- Маріупольський морський фаховий коледж (переміщений заклад, працює дистанційно).

Більшість закладів освіти активно впроваджують соціальне партнерство, дуальну форму навчання, симуляційні тренажери, міжнародні сертифікації та партнерські програми [6].

Розглядаючи соціальне партнерство у системі фахової передвищої освіти слід зазначити що це взаємодія закладів освіти, роботодавців і місцевої влади для створення єдиного освітньо-виробничого простору [1]. Для припортової інфраструктури така взаємодія є не лише освітнім, а й економічним інструментом розвитку регіону. Порти

виконують роль **замовників освітніх послуг**, надаючи інформацію про потребу у фахівцях певних кваліфікацій, а коледжі — виступають **виробниками людського капіталу**, забезпечуючи галузь компетентними працівниками

ДП «МТП Чорноморськ» є провідним партнером освітніх закладів Одеської області. Порт надає студентам місця практики, проводить спільні семінари та екологічні ініціативи («Green Port»), бере участь у формуванні змісту освітніх програм [9]. Це дозволяє студентам засвоювати реальні технологічні процеси, а підприємству — формувати кадровий резерв і підвищувати ефективність підготовки персоналу.

Серед основних напрямків соціального партнерства можна виділити:

- **Спільну розробку освітніх стандартів і програм.** Представники портів беруть активну участь у формуванні навчальних планів, визначають компетентності, необхідні для сучасного працівника припортової інфраструктури.

- **Професійна орієнтація молоді.** ДП «МТП Чорноморськ» є активним учасником профорієнтаційних заходів — «Днях кар'єри», ярмарках вакансій, днях відкритих дверей, тощо.

- **Соціальна відповідальність і сталий розвиток.** Порти підтримують екологічні та освітні програми, спрямовані на формування екологічної свідомості студентів і викладачів, розвиток корпоративної культури безпеки праці.

У практичній площині соціальне партнерство ДП «МТП Чорноморськ» реалізується через:

- **укладання угод про співпрацю** між ЧМФК ОНМУ та портовими підприємствами;

- **участь представників підприємств у кваліфікаційних комісіях**, проведення тренінгів, сертифікаційних курсів;

- **систематичне стажування викладачів та майстрів виробничого навчання** на виробництві, що забезпечує актуалізацію змісту освіти

Застосування таких підходів дозволяє створити стійку модель взаємодії між освітою, наукою та виробництвом, що забезпечить конкурентоспроможність українських фахівців у міжнародному морському середовищі.

Висновки. Підготовка фахівців припортової інфраструктури є ключовим чинником сталого розвитку морської економіки України, особливо Одеського регіону.

Сучасна освіта має бути практикоорієнтованою, цифровізованою та екологічно відповідальною. Соціальне партнерство між ЧМФК ОНМУ та ДП «МТП Чорноморськ» — є прикладом ефективної взаємодії освіти і виробництва, що формує професійно компетентних, екологічно свідомих і мобільних фахівців нового покоління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Концепція розвитку професійної (професійно-технічної) освіти України на 2020–2027 роки. МОН України, 2020.
2. IMO. *World Maritime Report 2023*. International Maritime Organization, London, 2023.
3. UNCTAD. *Sustainable Port Development Report*. Geneva, 2023.
4. Коваль О.В. Підготовка кадрів морської галузі в контексті сталого розвитку. *Економіка транспорту і логістика*, 2022.
5. Сірик І. Сучасні підходи до дуальної освіти в системі професійної підготовки. *Професійна освіта*, 2021.
6. EMSA. *Maritime Education Standards in Europe*. Brussels, 2024.
7. Smart Ports Initiative. *Global Smart Port Trends*. Rotterdam, 2023.
8. Green Ports Initiative. *Environmental Management Standards for Seaports*. Hamburg, 2023.
9. Офіційний сайт ДП «Морський торговельний порт Чорноморськ» <https://www.port.gov.ua>.

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

A

M. Ahieiev, 208
I. Afanasiievskia, 272
E. Appazov, 164, 297

B

Yu. Bevzenko, 284

D

O. Diahyleva, 284
O. Doroshenko, 57

K

Khazhmuradov M.A., 134
P. Kochubei, 297
O. Kovalenko, 126
O. Kondratenko, 126
O. Kononova, 284
O. Koretsky, 164

L

Lytvynenko V.V., 134

M

V. Mateichuk, 297

N

Gojko Nizić, 97
P. Nosov, 26, 30, 36, 64, 92, 97, 102, 172
A. Nosov, 30

P

Tina Perić, 97
Prokhorenko E.M., 134
Prokhorenko T.G., 134
H. Prokofiev, 208

R

A. Romanov, 36
A. Romancha, 51
O. Rubel, 143

S

Samoilov O.O., 54
Samoilov S.O., 54
Seliversova S.R., 54
A. Sharko, 57
O. Sharko, 57
M. Shumskiy, 64
A. Simanenkova, 51
I. Skalyha, 36
D. Stepanchikov, 57

T

V. Tinkova, 208
Tovstokory O. M., 108
Tovstokory K. O., 108

V

D. Volkov, 92

Y

A. Yurzhenko, 284

Z

Zakharchenko A.A., 134
V. Zhmur, 292

А

Агєєв М.С., 269
Александровська Н. І., 7
Акімов О.В., 212
Алексенко В.Л., 215
Ананьєва В.Ю., 183, 186

Б

Бень А. П., 275
Бєляєв М.О., 117
Бойчура М.В., 60
Бугаєнко В.І., 120
Бенедюк В.В., 217
Букетов А. В., 221

В

Варбанець Р. А., 7
Веселовський Б.М., 112
Врублевський Р.Є., 222

Г

Газетов Є.І., 150
Гаценко Л. В., 280

Головань А.І., 8
Гончарук І.П., 8
Грицук І.В., 130
Гордієнко Ю.В., 215
Голотенко С.М., 221

Д

Дзигар А.К., 269
Дімова С. М., 237
Доценко Г.Г., 12
Добровольська В.А., 179, 183
Домашевський А.Д., 191
Дромашко О.А., 289
Дудкін Є.В., 124

Ж

Жищинський Ю.С., 194

З

Зайцева Т.В., 16
Захарченко О.В., 20
Зінченко С. М., 71, 75

І

Ібрагім А.М., 198

Й

Йовва В. М., 237

К

Калашиник Г.А., 117, 156
Калашиник-Рибалко М.А., 156
Калейніков Г.Є., 225
Кирилаш О. І., 7

Крамський С.О., 20
Козачок Ю. А., 71, 75
Кушнір Д.В., 150
Клевцов К.М., 198
Кучерявий А.Р., 201
Куропятник О.А., 229, 245
Коновалова Г.В., 260
Корбан Д.В., 23
Кучеренко Ю. М., 7

Л

Літтих М.С., 170
Лебідь Є.М., 204
Лебідь І.Г., 204

М

Матигін О.С., 150
Мінчев Д. С., 7
Маменко П. П., 233
Маркова Є.Ю., 160
Марков М.М., 160
Мазуренко О.О.
Мельникова А.С., 305

Н

Наговський Д.А., 12
Нагрибельний Я.А., 212

О

Онишко Д.М., 41
Оберто Сантана Л.Е., 87

П

Панченко І.М., 120, 124, 148, 191, 201
Пашенко О.Л., 309
Пелихівський Л.О., 79
Петровський А.В., 275, 313
Пізніцалі Л. В., 237
Поливода В. В., 83
Пошивалов В.П., 46
Прокопчук Ю.О., 46
Погорлецький Д.С., 130

Р

Рабоча Т. В., 237
Разінкін Р.О., 242, 264
Реут Д.Т., 60

Россомаха О. І., 237
Россомаха О. А., 237
Руснак Д.Ю., 249

С

Сагін С.В., 245, 249
Самарін О.Є., 254, 257
Самойлов С. О., 83
Сапронов О.О., 215
Сарсенбаєв Б.С., 269
Сидор А.І., 60

Соценко В.В., 260
Степанян А.А., 179
Стовба Т.А., 187
Стулій І.О., 198
Стрельченко В. Ю., 221

Т

Ткач Н.А., 315
Товстокорій О. М., 71
Товстокорій К. О., 71
Томчаковський Г. Г., 138
Таксіс А.В., 148
Тучковенко Ю.С., 150

Ф

Фостик П.П., 215

Худяков І.В., 130

Ч

Чепурна В.Ю., 150
Черненко В.В., 130
Чимишир В.І., 264
Чичужко М.В., 225

Ш

Шатна А.В., 60
Шатний С.В., 60
Шиикін О.В., 112
Шульга В.В., 215

Щ

Щедролосєв О.В., 260

Ю

Юренін К. Ю., 221

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
FOREWORD	5
СЕКЦІЯ:	
ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЗАСОБИ НА МОРСЬКОМУ	
ТРАНСПОРТІ	
SECTION	
INFORMATION AND INTELLIGENT TOOLS IN MARITIME TRANSPORT	
МЕТОД ПАРАЛЕЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ В ЦИЛІНДРІ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ (ТИСК У ЦИЛІНДРІ + ВІБРОАКУСТИКА)	7
<i>Варбанець Р. А., Мінчев Д. С., Кучеренко Ю. М., Кирилаш О. І.,</i> <i>Александровська Н. І.</i> <i>Одеський національний морський університет (Україна)</i>	
ДИФЕРЕНЦІЙНЕ ШЕСТИБІТНЕ КОДУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕФЕКТИВНОГО ОБМІНУ ДАНИМИ В АВТОНОМНОМУ СУДНОПЛАВСТВІ	8
<i>Гончарук І.П., Головань А.І.</i> <i>Одеський національний морський університет (Україна)</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ	12
<i>Дощенко Г.Г., Наговський Д.А.</i> <i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА СУДНІ	16
<i>Зайцева Т.В.</i> <i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	
ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ВРЯДУВАННЯ У ВИМІРІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ	20
<i>Захарченко О.В.¹, Крамський С.О.²</i> <i>¹Східноєвропейський університет імені Рауфа Аблязова (Україна)</i> <i>²Одеський національний університет імені І. І. Мечникова (Україна)</i>	
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ СЕЛЕКЦІЇ НАВІГАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ У СУДНОВОМУ РАДІОЛОКАЦІЙНОМУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОМУ КОМПЛЕКСІ	23
<i>Корбан Д.В.</i> <i>Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)</i>	
AUTOMATED DIGITIZATION AND ANALYSIS OF SHIP'S LOGS VIA OCR & NLP: OPERATIONAL ANALYTICS	26
<i>P. Nosov</i> <i>Odessa National Maritime University (Ukraine)</i>	
FORMAL APPROACHES TO DATA MANAGEMENT IN MARITIME TRANSPORT SAFETY ANALYSIS PROJECTS	30

P. Nosov¹, A. Nosov²

¹Odessa National Maritime University (Ukraine)

²Outlaw Eagle Manufacturing, Designer and Draftsperson (Canada)

INTELLIGENT IDENTIFICATION OF SHIP TYPES FROM VISUAL-GEOMETRIC FEATURES IN MARITIME SAFETY PROJECTS 36

P. Nosov, A. Romanov, I. Skalyha

Odessa National Maritime University (Ukraine)

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ДЛЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ НА СУДНІ ТА В МОРСЬКИХ СИСТЕМАХ: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 41

Онишко Д.М.

Херсонська державна морська академія (Україна)

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ, РОЗВИТКУ ТА УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ДИНАМІЧНИМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ 46

Прокончук Ю.О., Пошивалов В.П.

Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України (Україна)

COMPARATIVE ANALYSIS OF SENSOR DATA FILTERING METHODS IN SHIP TECHNICAL MONITORING SYSTEMS 51

A. Romancha, A. Simanenkova

Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

AI IN SHIPS TECHNICAL INSPECTION: ANALYSIS OF REAL CASES 54

Samoilov O.O., Samoilov S.O., Seliversova S.R.

Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

ADAPTATION OF THE FORD-FULKERSON ALGORITHM TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF MARITIME TRANSPORTATION UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY 57

O. Sharko¹, D. Stepanchikov², Sharko A.³, O. Doroshenko¹

¹Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

²Kherson National Technical University (Ukraine)

³Technical University of Liberec (Czech Republic)

ОПТИМІЗОВАНИЙ СІТКОВИЙ АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ МОРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ У НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ З ОБМЕЖЕНИМИ РЕСУРСАМИ 60

Шатна А.В., Шатний С.В., Бойчура М.В., Сидор А.І., Реут Д.Т.

Національний університет водного господарства та природокористування (Україна)

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ANALYTICAL SYSTEM FOR THE LEVEL OF CYBERSECURITY IN THE MARITIME SECTOR 64

M. Shumskiy, P. Nosov

Odessa National Maritime University (Ukraine)

**СЕКЦІЯ:
АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ МОРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ ТА
АВТОНОМНІ СУДНА
SECTION**

AUTOMATION OF MARITIME TRANSPORT MANAGEMENT AND AUTONOMOUS VESSELS

ЦЕНТР БОКОВОГО ОПОРУ, ЦЕНТР ОБЕРТАННЯ І ПОЛЮС ПОВОРОТУ 71

Зінченко С. М.¹, Товстокорий О. М.¹, Товстокорий К. О.¹, Козачок Ю. А.²

¹*Херсонська державна морська академія (Україна)*

²*Software development Company N-IX LTD (Україна)*

ІНТЕГРАЦІЯ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В AI-МОДЕЛЬ АВТОНОМНОГО СУДНА 75

Козачок Ю. А.¹, Зінченко С. М.²

¹*Software development Company N-IX LTD (Ukraine)*

²*Херсонська державна морська академія (Україна)*

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗЕКІПАЖНОГО АВТОНОМНОГО СУДНА В УМОВАХ ЧАСТКОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ НАВІГАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА 79

Пелихівський Л.О.

Херсонська державна морська академія (Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА СУДНОВИМ ДИЗЕЛЬНИМ ГЕНЕРАТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРПОЛЯЦІЙНОГО МНОГОЧЛЕНА ЛАГРАНЖА 83

Самойлов С.О., Поливода В. В.

Херсонська державна морська академія (Україна)

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УТРИМАННЯ СУДНА НА КУРСІ 87

Оберто Сантана Л.Е.

Одеський національний морський університет (Україна)

СЕКЦІЯ: СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

SECTION DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR MARITIME TRANSPORT OPERATORS

MULTICRITERIA SELECTION OF A PORT-APPROACH TACTIC UNDER SENSOR DEGRADATION: THE DOVER CASE (DIGRAPH3/RUBIS) 92

D. Volkov, P. Nosov

Odessa National Maritime University (Ukraine)

DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT SYSTEMS BASED ON DIGRAPH3 PYTHON FOR SHIPPING SAFETY PROJECT MANAGEMENT TASKS 97

P. Nosov¹, Tina Perić², Gojko Nizić²

¹*Odessa National Maritime University (Ukraine)*

²*Faculty of Maritime Studies, University of Split (Croatia)*

PROJECT MANAGEMENT APPROACHES TO NAVIGATION SAFETY IN

NARROW PASSAGES BASED ON DIGRAPH 3 METHODS	102
<i>P. Nosov</i>	
<i>Odessa National Maritime University (Ukraine)</i>	

MOTION OF A LARGE SAILING VESSEL TAKING INTO ACCOUNT OF THE NEW CONCEPT OF TURNING	108
<i>O. Tovstokory, K. Tovstokory</i>	
<i>Kherson State Maritime Academy (Ukraine)</i>	

ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ СУДНА В УМОВАХ ГЛУШИННЯ СИГНАЛІВ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ	112
<i>Шишкін О.В., Веселовський Б.М.</i>	
<i>Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)</i>	

СЕКЦІЯ:
БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В МОРСЬКІЙ ГАЛУЗІ ТА МОРСЬКА ЕКОЛОГІЯ
SECTION
LIFE SAFETY IN THE MARITIME INDUSTRY AND MARINE ECOLOGY

НАПРЯМКИ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА АВІАПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ	117
<i>Беляєв М.О., Калашник Г.А.</i>	
<i>Українська державна льотна академія (Україна)</i>	

ЗАБРУДНЕННЯ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА СУДНОВИМ СМІТТЯМ: АНАЛІЗ ПРОГАЛИН ДОДАТКУ V КОНВЕНЦІЇ MARPOL ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ	120
<i>Бугаєнко В.І., Панченко І.М.</i>	
<i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	

РЯТУВАННЯ СУДЕН ТА ІНШОГО МАЙНА	124
<i>Дудкін Є.В., Панченко І.М.</i>	
<i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	

ANALYSIS OF ASPECTS OF POLLUTION OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS FROM APPLICATION OF PAINT MATERIALS ON SHIPS OF THE SEA AND RIVER FIREFIGHTING FLEET, AS WELL AS DOCK AND PIER ENGINEERING STRUCTURES OF SES OF UKRAINE	126
<i>O. Kondratenko, O. Kovalenko</i>	
<i>National University of Civil Protection of Ukraine of SES of Ukraine (Ukraine)</i>	

СПОСОБИ ПОКРАЩЕННЯ ЗАСОБІВ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВМІСНИХ ВОД НА НАФТОНАЛИВНИХ СУДНАХ	130
<i>Погорлецький Д.С.¹, Грицук І.В.², Худяков І.В.¹, Черненко В.В.¹</i>	
<i>¹Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	
<i>²Національний університет Чернігівська політехніка (Україна)</i>	

CHARACTERISTICS OF POLYSTYRENE-STEEL COMPOSITE MATERIALS INTENDED FOR RADIATION SHIELDING	134
<i>Prokhorenko E.M.¹, Lytvynenko V.V.¹, Zakharchenko A.A.², Khazhmuradov M.A.²,</i>	

Prokhorenko T.G. ³

¹*Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine (Ukraine)*

²*NSC «Kharkov Institute of Physics and Technology» (Ukraine)*

³*Kharkiv National Automobile and Highway University (Ukraine)*

ФАКТОРНА МОДЕЛЬ АВАРІЇ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ EVER GIVEN У СУЕЦЬКОМУ КАНАЛІ 138

Россомаха О. І., Томчаковський Г. Г., Россомаха О. А.

Одеський національний морський університет (Україна)

MEASURES FOR LOWER DANUBE IN CONTEXT OF JOINT STATEMENT ON GUIDING PRINCIPLES FOR THE DEVELOPMENT OF INLAND NAVIGATION AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN THE DANUBE RIVER BASIN 143

O. Rubel

Institute of market and Economic-Ecological researches of NAS Ukraine (Ukraine)

ПІРАТСТВО У ГВІНЕЙСЬКІЙ ЗАТОЦІ: АКТУАЛЬНІ ВИКЛИКИ МОРСЬКОЇ БЕЗПЕКИ ТА СТРАТЕГІЇ ПРОТИДІЇ 148

Таксіс А.В., Панченко І.М.

Херсонська державна морська академія (Україна)

ОПЕРАТИВНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ОКЕАНОГРАФІЧНИХ УМОВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ 150

Тучковенко Ю.С.^{1,2}, Кушнір Д.В.¹, Матигін О.С.³, Газетов Є.Р³, Чепурна В.Ю.³

¹*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (Україна)*

²*Інститут морської біології НАН України (Україна)*

³*Гідрометцентр Чорного та Азовського морів (Україна)*

СЕКЦІЯ:

ЕКОНОМІКА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ:

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

SECTION

ECONOMICS OF MARITIME TRANSPORT: CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

SWOT-АНАЛІЗ СТАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АВІАПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ У ПОВОЄННИЙ ПЕРІОД НА ПРИКЛАДІ ДП «АНТОНОВ» 156

Калашник Г.А., Калашник-Рибалко М.А.

Українська державна льотна академія (Україна)

ІННОВАЦІЙНА ОРІЄНТАЦІЯ РОЗВИТКУ ПОРТІВ 160

Маркова Є.Ю.¹, Марков М.М.²

¹*Херсонський морський фаховий коледж рибної промисловості (Україна)*

²*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)*

СЕКЦІЯ:

ЛЮДСЬКІ РЕСУРСИ МОРСЬКОЇ ІНДУСТРІЇ ТА ВПЛИВ ЛЮДСЬКОГО ЧИННИКА

SECTION

HUMAN RESOURCES IN THE MARITIME INDUSTRY AND THE IMPACT OF THE HUMAN FACTOR

MATHEMATICAL MODEL OF THE FATIGUE INDEX

O. Koretsky, E. Appazov

164

Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

ПСИХОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ ЛЮДСЬКОГО ЧИННИКА В МОРСЬКІЙ ГАЛУЗІ

170

Лімміх М.С.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Україна)

CONCEPTUAL MODEL «GYROCOMPASS-PM» FOR SAFETY PROJECT MANAGEMENT IN MARITIME TRANSPORT

172

P. Nosov

Odessa National Maritime University (Ukraine)

СТАВЛЕННЯ ДО ЧАСУ У МІЖКУЛЬТУРНІЙ КОМУНІКАЦІЇ МОРСЬКИХ ФАХІВЦІВ

179

Степанян А.А., Добровольська В.А.

Херсонська державна морська академія (Україна)

СЕКЦІЯ:

МЕНЕДЖМЕНТ РИЗИКІВ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ЛОГІСТИКА SECTION

RISK MANAGEMENT IN MARITIME SHIPPING AND LOGISTICS

СЕРЕДЗЕМНЕ МОРЕ: УНІКАЛЬНІСТЬ ГЕОГРАФІЧНОГО ПОЛОЖЕННЯ ТА РОЛЬ У СВІТОВІЙ МОРСЬКІЙ ТОРГІВЛІ

183

Ананьєва В.Ю., Добровольська В.А.

Херсонська державна морська академія (Україна)

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРИ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

187

Ананьєва В.Ю., Стовба Т.А.

Херсонська державна морська академія (Україна)

ЧАРТЕР ТА КОНОСАМЕНТ: КОЛІЗІЇ УМОВ ТА ПРАВОВІ МЕХАНІЗМИ ЇХ УЗГОДЖЕННЯ

191

Домашевський А.Д., Панченко І.М.

Херсонська державна морська академія (Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ МОРСЬКИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МОТОДОМ MONTE CARLO

194

Жищинський Ю.С.

Херсонська державна морська академія (Україна)

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИБОРУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МОРСЬКИХ ПОРТІВ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В УКРАЇНІ

198

Ібрагім А.М., Стулій І.О., Клевцов К.М.

Херсонська державна морська академія (Україна)

МОРСЬКЕ СТРАХУВАННЯ <i>Кучерявий А.Р., Панченко І.М.</i> <i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	201
ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ <i>Лебідь Є.М.¹, Лебідь І.Г.¹, Мазуренко О.О.²</i> ¹ Національний транспортний університет (Україна) ² Український державний університет науки і технологій (Україна)	204
СЕКЦІЯ: ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ SECTION ISSUES OF ENERGY EFFICIENCY AND RESOURCE CONSERVATION IN MARITIME TRANSPORT	
FLAME SPRAYING PARAMETERS AS A FACTOR IN THE RELIABILITY OF RESTORED SURFACES OF SHIP MACHINERY PARTS <i>М. Ahieiev¹, Н. Prokofiev¹, V. Tinkova²</i> ¹ Kherson State Maritime Academy (Ukraine) ² University of Žilina (Slovakia)	208
НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ CARBON INTENSITY INDICATOR (CII): ПЕРЕВІРКА ВІДПОВІДНОСТІ SEEMP PART III <i>Акімов О.В., Нагрибельний Я.А.</i> <i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	212
ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ <i>Алексенко В.Л., Сапронов О.О., Фостик П.П., Гордієнко Ю.В., Шульга В.В.</i> <i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	215
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ СУДНА <i>Бенедюк В.В.</i> <i>Інститут Військово-Морських Сил національного університету «Одеська морська академія» (Україна)</i>	217
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТИФІКОВАНОЇ ЕПОКСИДНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ <i>Букетов А.В.¹, Стрельченко В.Ю.¹, Юренін К.Ю.¹, Голотенко С.М.²</i> ¹ Херсонська державна морська академія (Україна) ² Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)	221
СТРУКТУРА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ОЧИЩЕННЯ ПАЛИВА НА МОРСЬКИХ СУДНАХ <i>Врублевський Р.Є.</i> <i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	222
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СУДЕН	

ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ LIFERO4 АКУМУЛЯТОРІВ ТА СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ	225
<i>Калейніков Г.Є., Чичужко М.В.</i> <i>Черкаський державний технологічний університет (Україна)</i>	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ РОБОТИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ ПЕРЕПУСКУ ВИПУСКНИХ ГАЗІВ	229
<i>Куропятник О.А.</i> <i>Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)</i>	
ПОВЕРНЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В СУДНОПЛАВСТВО. ЕКОНОМІЧНИЙ ТА ОПЕРАЦІЙНИЙ ОГЛЯД	233
<i>Маменко П. П.</i> <i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	
СВІТОВЕ СУДНОБУДУВАННЯ: АНАЛІЗ РИНКУ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	237
<i>Пізінцалі Л. В.¹, Россомаха О. І.², Александровська Н. І.¹, Россомаха О. А.², Дімова С. М.¹, Рабоча Т. В.³, Йовва В. М.³</i> ¹ Навчально-науковий морський інженерно-технічний інститут (Україна) ² Навчально-науковий інститут морського флоту (Україна) ³ Одеський національний морський університет, Військова академія (Україна)	
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ МАЩЕННЯ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ	242
<i>Разінкін Р.О.</i> <i>Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія» (Україна)</i>	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ У СПЕЦІАЛЬНИХ РАЙОНАХ КОНТРОЛЮ ЗА ВИКИДАМИ	245
<i>Сагін С.В., Куропятник О.А.</i> <i>Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)</i>	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ МІЖНАРОДНИМ ЕКОЛОГІЧНИМ НОРМАМ ЩОДО ВИКИДІВ ОКСИДІВ СІРКИ	249
<i>Сагін С.В., Руснак Д.Ю.</i> <i>Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)</i>	
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ	254
<i>Самарін О.Є.</i> <i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	
СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ	257
<i>Самарін О.Є.</i> <i>Херсонська державна морська академія (Україна)</i>	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИСТРОЇВ КЕРУВАННЯ ПОТОКОМ	260
<i>Щедролоєв О.В., Соценко В.В., Коновалова Г.В.</i> <i>Херсонський навчально-наукового інститут Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова (Україна)</i>	

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МОТОРНИХ
МАСТИЛ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ** 264

Чимиш В.І., Разінкін Р.О.

*Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)*

**СЕКЦІЯ:
СУЧАСНІ ПІДХОДИ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ
ІНДУСТРІЇ ДЛЯ ЇЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ
SECTION**

**MODERN APPROACHES TO THE TRAINING OF MARITIME INDUSTRY
SPECIALISTS FOR ITS SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

**ІНЖИНІРИНГ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ СУДНОРЕМОНТУ У
ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ
ГАЛУЗІ** 269

Агєєв М.С.¹, Дзигар А.К.¹, Сарсенбаєв Б.С.²

¹*Херсонська державна морська академія (Україна)*

²*Морська академія Каспійського державного університету технології та
інжинірингу ім. Ш. Єсєнова (Казахстан)*

**REASONING THE USING AUTHENTIC VIDEOS AND AI VIDEO MAKER
ON MARITIME ENGLISH LESSONS** 272

I. Afanasiievskia

Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

**ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НПП
ХДМА В УМОВАХ РЕЛОКАЦІЇ** 275

Бень А.П., Петровський А.В.

Херсонська державна морська академія (Україна)

**МОВНА ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ
ВОЄННИХ ВИКЛИКІВ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА СТРАТЕГІЯ СТАЛОГО
РОЗВИТКУ** 280

Гаценко Л. В.

Національний транспортний університет (Україна)

**ENHANCING LANGUAGE INSTRUCTION EFFECTIVENESS WITH THE
HELP OF MARITIME ENGLISH TEACHERS' LIFELONG LEARNING** 284

O. Diahyleva ¹, A. Yurzhenko¹, O. Kononova ², Yu. Bevzenko ²

¹*Kherson State Maritime Academy (Ukraine)*

²*Maritime Applied College of Kherson State Maritime Academy (Ukraine)*

**ПІДГОТОВКА ДОКЕРІВ-МЕХАНІЗАТОРІВ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ
НАПРЯМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОРТІВ
УКРАЇНИ** 289

Дромашко О.А.

*Чорноморський морський фаховий коледж Одеського національного морського
університету (Україна)*

**CARGO OPERATIONS BY USING THE SHIP'S SKANES AND SHIP'S
STABILITY** 292

V. Zhmur

Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

**DEVELOPMENT OF OPEN MARITIME SIMULATOR DATASET (OMSD)
FOR VARIOUS MACHINE LEARNING WORKFLOWS** 297

P. Kochubei, V. Mateichuk, E. Appazov

Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

**ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З
ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ЗАНЯТТЯХ
АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ** 305

Мельникова А.С.

*Відокремлений структурний підрозділ «Морський фаховий коледж Херсонської
державної морської академії» (Україна)*

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНІК АУГМЕНТАЦІЇ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ
МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ЗОРУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ РАКУРСУ СУДНА** 309

Пашенко О.Л.

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

**МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СТОРОННЬОГО ПЗ З ECDIS ПРИ
НАВЧАННІ У ДИСТАНЦІЙНОМУ РЕЖИМІ** 313

Петровський А.В.

Херсонська державна морська академія (Україна)

**ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ПРИПОРТОВОЇ
ІНФРАСТРУКТУРИ В ЗАКЛАДАХ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ** 316

Ткач Н.А.

*Чорноморський морський фаховий коледж Одеського національного морського
університету (Україна)*

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК 319
ЗМІСТ 322

Редакція не несе відповідальності за професійно-змістовну та методичну коректність матеріалів, що публікуються, а також за коректність посилань.

Збірка матеріалів

V Міжнародної науково-практичної конференції

ПРОБЛЕМИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ

PSDMI – 2025

Відповідальний за випуск *Аппазов Е. С.*
Технічний редактор, комп'ютерна верстка *Радул Т. О.*
Херсонська державна морська академія, 2025

Підписано до друку 01.12.2025 р. Формат 84×108/32.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 20,75.

Видавець і виготовлювач ХДМА
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20