



Науково – теоретична конференція

СУДНОВОДІННЯ, МОРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

NST-2025

19-20 листопада 2025 р.

Одеса 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

МАТЕРІАЛИ

науково-теоретичної конференції

**СУДНОВОДІННЯ,
МОРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

NST-2025

19-20 листопада 2025 р.

Одеса 2025

У збірнику матеріалів конференції розміщено тези доповідей, які заслуховувались на засіданнях науково - технічної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології», що відбулась 19-20 листопада 2025 року у Національному університеті «Одеська морська академія». Розглядаються сучасні методи та засоби морської та річкової навігації; розвиток транспортних технологій морських перевезень; Інноваційні технології судноплавства; управління рухом судна; розвиток систем Е-навігації; людський фактор, підготовка фахівців.

Матеріали публікуються згідно з поданими авторами оригіналами, які є відповідальними за їх зміст. Претензії до організаторів конференції по зазначеному питанню не приймаються.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1 НАВІГАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ СУДНОМ.....	9
О.М. Волков СУЧАСНІ ЗАГРОЗИ БЕЗПЕЦІ СУДНОПЛАВСТВА В ЧОРНОМУ МОРІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ.....	9
Власенко Є.А. ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАКАТНИХ СУДЕН.....	12
Mykhaylo Matvyeyev ANALYSIS OF NAVIGATIONAL MATTERS IN THE MV SOLONG AND STENA IMMACULATE CAUSED THE COLLISION.....	14
Торський В.Г. ПСИХОСОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМИ ОПЕРАЦІЯМИ	17
Фусар І.Ю., Корнілов С.В. КВАНТОВА НАВІГАЦІЯ. НОВИЙ НАПРЯМОК В СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ	19
Дворецький В.О. ЗАСТОСУВАННЯ МОРСЬКОЇ АСТРОНОМІЇ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА МОРІ	22
Syemitko Volodymyr EMERGENCY DEPARTURE A PORT IN CASES OF SEVERE WEATHER CONDITIONS .	25
Шемонаєв В.Ю., Сурінов І.Л. ОСОБЛИВІСТЬ РОЗСЛІДУВАННЯ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД	28
Balochkin Ihor, Syemitko Volodymyr NAVIGATING IN HEAVY WEATHER.....	33
Balochkin Ihor SAFETY ON OIL TANKERS.....	35
Koval Ivan, Syemitko Volodymyr SHIP HANDLING IN ICE CONDITIONS: POLAR CODE COMPLIANCE, WATCHKEEPING AND EMERGENCY RESPONSE	38
Kuzmin Vladyslav, Syemitko Volodymyr SAFETY OF NAVIGATION IN CONFINED WATERS	41
Mikhalets Dmytro, Syemitko Volodymyr NAVIGATION IN RESTRICTED VISIBILITY	44
Nykytiuk Mykhailo, Syemitko Volodymyr NAVIGATING THE ST. LAWRENCE SEAWAY IN WINTER: CHALLENGES, STRATEGIES, AND SAFETY MEASURES	46
Nykytiuk Mykhailo, Matvyeyev M.D. NAVIGATOR’S FATIGUE AS A CAUSE OF NAVIGATIONAL ACCIDENTS	49
Sushkevych Oleksandr SAFETY MEASURES ON YACHTING FLEET.....	51
Vysokohliad Iliia FIRE FIGHTING. FIRE INSIDE DG CONTAINERS. EXTINGUISHING LITHIUM BATTERY FIRES	53

Андрушик М.Г, Маркітан В.В. ОБРАННЯ РЕЖИМУ РУХУ НА ЕКРАНІ РЛС ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ЗІТКНЕННЮ З ІНШИМ СУДНОМ.....	55
Буренко О.О., Маркітан В.В. ВІДМІННОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЖИМІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ НА ЕКРАНІ РЛС.....	57
Васильєв Д.В., Очеретний Р.М., Бінковський Г.А., Вересоцький Р. ЗНАЧЕННЯ ЗІРОК У РОЗРАХУНКУ ШЛЯХУ РЕЙСУ (СУДНА)	60
Галамутько О. О., Корбан Д.В. ІСТОРІЯ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ ЛОЦМАНСЬКОЇ СПРАВИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ.....	62
Гуцак М.М., Власенко Є.А. РОЗРАХУНОК АВАРІЙНОЇ ПОСАДКИ ТА ОСТІЙНОСТІ СУДЕН ТИПУ В-60	65
Даниленко Д.Д., Алексішин А.В., Казак О.Р. ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ВІДЕОПРОКЛАДЧИКА NC5000 ЗІ СКЛАДУ НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ NAVI-SAILOR (TRANSAS MARINE LTD)	66
Дорофєєв М.В. ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ	71
Grygorov A.D., Astaykin D.V. THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE MARITIME DOMAIN	74
Босаджи І.С., Дворецький В.О. ВИЗНАЧЕННЯ ШИРОТИ СУДНА ЗА ЗОРЯМИ В АВАРІЙНІЙ СИТУАЦІЇ БЕЗ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ.....	79
Дмитро Міхалець, БЕЗПЕКА МОРЕПЛАВСТВА АВТОНОМНИХ СУДЕН.....	80
Дулгеру М.І., Печенюк А.В. ПІДГОТОВКА ДАНИХ ДЛЯВДОСКОНАЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГРАМИ СТАТИЧНОЇ ОСТІЙНОСТІ СУДНА.....	82
Дупіков К. Г., Красота Р. В., Онищенко О. А. ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДІВ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ НА ОСНОВІ MEMS-СЕНСОРІВ.....	87
Васильєв Д.В., Кірик І.І., Серєда С.О. РОЛЬ АСТРОНОМІЇ В РОЗРАХУНКУ ШЛЯХУ СУДНА У ХХІ СТОЛІТТІ	91
Крічко В. О., Мазур О. М., Онищенко О. А. ОСОБЛИВОСТІ НАВІГАЦІЇ У КАНАДІ.....	94
Кучер Ю.П. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КРИТЕРІЇВ ОСТІЙНОСТІ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ.....	98
Лошаков М. І., Курдюк С. В., Онищенко О. А. СПРОЩЕНІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ ІНЕРЦІАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ МАЛИХ БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ.....	101

Малюга Е. Є. ВПЛИВ ТВЕРДИХ І РІДКИХ ОПАДІВ НА УТВОРЕННЯ МОРСЬКОГО ЛЬОДУ В КАНАДСЬКІЙ АРКТИЦІ	106
Маркітан В.В. РОЛЬ OPERATIONAL DESIGN DOMAIN (ODD) У БЕЗПЕЦІ АВТОНОМНИХ СУДЕН ..	108
Оборотов В. Ю., Гайченя О. В. ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	110
Перевертов Д.С., Мальцев А.С. АНАЛІЗ ФОРМИ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДАНИХ ПРО МАНЕВРЕНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОГО РОЗРАХУНКУ ШЛЯХОВИХ ТОЧОК ТА ТРАЕКТОРІЇ РУХУ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ МОРСЬКИХ ОПЕРАЦІЙ	112
Прибила О. О., Гаврилюк Т. К., Онищенко О. А. МЕМС-ТЕХНОЛОГІЇ В ІНЕРЦІАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСАХ БЕЗПІЛОТНИХ МОРСЬКИХ СУДЕН	116
Прибила О. О., Мазур О. М., Онищенко О. А. КВАНТОВА НАВІГАЦІЯ: ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОАТОМНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ ТА NV- ЦЕНТРІВ, СТРАТЕГІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ АВТОНОМНОСТІ ...	120
Райнов О.О. СУЧАСНІ МЕТОДИ АСТРОНОМІЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ СУДНА	124
Прощенко К.К., Райнов О.О. РОЗВИТОК АСТРОНОМІЧНИХ МЕТОДІВ НАВІГАЦІЇ МОРСЬКИХ СУДЕН ОСНОВІ СИГНАЛІВ ПУЛЬСАРІВ	129
СЕКЦІЯ 2 ЕЛЕКТРОННІ КОМПЛЕКСИ СУДНОВОДІННЯ ТА ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ	134
Кошевий В.М., Шишкін О.В., Харченко Р.Ю., Купровський В.І., Пашенко О.Л., Грищенко В.В. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ МОРСЬКИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ, РАДІОЗВ'ЯЗКУ, А ТАКОЖ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ І РАДІОЗВ'ЯЗКУ	134
Кошевий В.М., Пашенко О.Л. ОБРОБКА ПСЕВДОВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПОДАВЛЕННЯ СПУФІНГОВИХ СИГНАЛІВ	139
Пашенко О.Л. ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ YOLO ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА	146
Шишкін О.В., Пашенко О.Л. СКАСУВАННЯ НЕНАВМИСНОГО ЦИФРОВОГО СЕЛЕКТИВНОГО ВИКЛИКУ ЛИХА У ГМЗЛБ	149
Балалаєв Д.Д., Козаченко О.Ю. ВИКОРИСТАННЯ ВІТРУ, ЯК ДОПОМІЖНОГО РУШІЯ В МОРСЬКІЙ СФЕРІ, АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ	153
Вільганюк М.О., Козаченко О.Ю. ІННОВАЦІЇ GNSS-СЕРВІСІВ У МОРСЬКІЙ НАВІГАЦІЇ: ТОЧНІСТЬ, АВТЕНТИФІКАЦІЯ ТА ЗАХИСТ ВІД ЗАВАД	156

Кравченко С.В., Козаченко Ю.М. СУЧАСНІ ПОРТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МОРСЬКИХ ПОРТАХ	161
Кропив'янський В.С. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ У СУДНОПЛАВСТВІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ	164
Купровський В.І. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ ДЛЯ СУДНОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ РЛС X-ДІАПАЗОНУ	166
Лошаков М. І., Д.В. Корбан АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ СУДНОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ	171
Мартинов В., Алексішин А.В. АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЛОТНОГО СУДНОВОДІННЯ	175
Прибила О. О., Пашенко О. Л. ВПЛИВ ЗАВАД НА МОРСЬКІ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОТИДІЇ.....	180
Прибила О.О., Алексішин А.В. ЗАСТОСУВАННЯ ПАРАМЕТРУ КАТЕГОРІЇ ЗОН ДОВІРИ ПРИ РОЗРОБЦІ ПЛАНУ ПЕРЕХОДУ СУДНА	183
Прушинський М. ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	187
Свирідова А.В., Алексішин А.В. ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗЕКИПАЖНОГО СУДНОВОДІННЯ	189
Осмоловський А.І., Стецюк Т.Г. ВПЛИВ ДИФЕРЕНТА НА ОПІР ВОДИ РУХУ СУДНА.....	193
СЕКЦІЯ З МОРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ	196
Гайченя О.В. ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНОЇ ПРОГРАМИ СУДНА З ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄКТНО- ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ	196
Вареник І.С., Ніколаєва Л.Л. ОСНОВНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА РОЗВИТОК ТОРГОВЕЛЬНОГО СУДНОПЛАВСТВА.....	199
Омельченко Т.Ю. ВПЛИВ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ МОРСЬКИХ ПОРТІВ УКРАЇНИ	201
Петріченко Є.А. КОРПОРАТИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ СУДНОПЛАВНОЮ КОМПАНІЄЮ.....	203
Петров І.М., Рудніченко М.Д., Казак Ю.В. ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ НЕПРОДУКТИВНИХ ПРОСТОЇВ СУДЕН НА ВАНТАЖНИХ ТЕРМІНАЛАХ	205

Петров І.М., Рудніченко М.Д., Казак Ю.В. КОНЦЕПЦІЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПОРТОВИХ ТЕРМІНАЛІВ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ СТОЯНКОВОГО ЧАСУ СУДЕН.....	209
Рудніченко М.Д., Шведов Д.В., Байраченко О.В. ПЕРЕВАГИ ТА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ НАВЧАННЯ БЕЗ ВЧИТЕЛЯ ПРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ВЕЛИКИХ ОБСЯГІВ ФІНАНСОВИХ ДАНИХ.....	213
Ярмолів Ю.Р. ПЕРСПЕКТИВИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ В ТОРГОВЕЛЬНОМУ МОРЕПЛАВСТВІ	215
Рудніченко М.Д., Шведов Д.В., Шибасєва Н.О. РОЗРОБКА МОДУЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ СКЛАДНОСТРУКТУРОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ ДАНИХ ВЕЛИКИХ РОЗМІРІВ У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ.....	217
Petrychenko O.O., Karaush Y. S. SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM INTEGRATION IN MODERN SHIPPING: ADVANCING MARITIME INDUSTRY DECARBONISATION	219
Бардар О.А., Козаченко О.Ю. ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ INMARSAT NEXUSWAVE - МЕРЕЖЕВА ПОСЛУГА МАЙБУТНЬОГО	222
Бродецький В.І., Петров І.М. ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВЕРИФІКАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ПРОГРАМ.....	226
Дулін О.О. БЕЗПЕКА ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ НА МОРСЬКИХ СУДАХ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА РИЗИКИ.....	229
Крат Д.І., Савчук В.Д. ПРАКТИКА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ НАВАЛЮВАЛЬНИМ ФЛОТОМ.....	232
Петриченко О.О., Козаченко О.Ю., Дімова К.І. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ЯК СУДОВОГО ПАЛИВА: ТЕХНІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ.....	235
Петриченко О.О., Козаченко О.Ю., Трегубов В.В. СКРАПЛЕНИЙ ПРИРОДНИЙ ГАЗ ЯК ПЕРЕХІДНЕ ПАЛИВО В СТРАТЕГІЇ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ: ТЕХНІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ	239
Соловйов Д. В., Гайченя О. В. ЦИФРОВІЗАЦІЯ ФРАХТОВОГО РИНКУ: ВПЛИВ ІШІ НА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАВОК ТА ОПТИМІЗАЦІЮ МАРШРУТІВ СУДЕН	242
Холчев О.І., Омельченко Т.Ю. РЕАЛІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОРТОВОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ.....	244
Буренко О.О., Савчук В.Д. ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД ПРИ ВИКОНАННІ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ НА КОНТЕЙНЕРОВОЗІ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ ТА СУДНОВОГО ЕКІПАЖУ	245
Книгін Г.В., Петров І.М. ОЦІНКА ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ВАНТАЖУ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАПОБІГАННЯ ПРИ СКЛАДАННІ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ.....	248

СЕКЦІЯ 4 ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА МОРЯКІВ.....	253
Kharkova Hanna QUALIFICATION IMPROVEMENT OF SEAFARERS	253
Shapoval O. POETICS OF NARRATIVE AND LANGUAGE PEDAGOGY: BRIDGING LITERARY THEORY AND APPLIED LINGUISTICS IN TEACHING MARITIME CADETS	254
Олінчук В.В., Тихоніна С.І., Чеснокова М.В. ENCOURAGING JUNIOR NAUTICAL STUDENTS TO LEARN ASTRONOMY AT THE ENGLISH LESSONS	255
Вихор О.Ф. PEDAGOGICAL MEDIATION IN TEACHING ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES WITH THE SUPPORT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: THE ROLE OF THE TEACHER IN ADAPTIVE LEARNING	258
Бліновська Р.І. ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОЦЕС ВИКЛАДАННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ: РОЗВИТОК ЦИФРОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ СТУДЕНТІВ	260
Карпова Д.М. HOW SAFETY CULTURE INFLUENCES THE SAFETY-RELATED BEHAVIORS OF DECK OFFICERS ABOARD SHIPS	262
Колесник М.С., Козаченко Ю. М. ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР. ПРИЧИНИ ЛЮДСЬКИХ ПОМИЛОК, ЇХ РІШЕННЯ ТА МОЖЛИВІ ВПРОВАДЖЕННЯ У МАЙБУТНЬОМУ	264
Костроміна О.В. COMMUNICATION IN PROFESSIONAL ENVIRONMENT	266
Мелентєва О.М. THE TEACHING OF ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES.....	268
Мілошунас В.В. КУЛЬТУРОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ ЯК НЕОБХІДНИЙ КОМПОНЕНТ АНГЛОМОВНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ СУДНОВОДІВ ДО РОБОТИ В БАГАТОНАЦІОНАЛЬНОМУ ЕКІПАЖІ	270
Очеретна О.Ю. BEHAVIOURAL COMPETENCY ASSESSMENT AND VERIFICATION FOR SEAFARERS	272
Савватєєва В.Д. ІНТЕГРАЦІЯ МОРСЬКОЇ АНГЛІЙСЬКОЇ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МОРЯКІВ	274
Сікірін В.Є. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХІВ УКРАЇНИ ТА ПРОФЕСІНІ МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ СУДНОВОДІВ	275
Труханова Н.Л. ВИКЛАД І НАМІР У ЗВІТІ ПРО АВАРІЮ НА СУДНІ.....	277
Хроленко О. А., Русавська О. О., Бондаренко Є. В. ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ КУРСАНТІВ ПІД ЧАС ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ МОРСЬКОЇ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ.....	280
Кульбацький А.А., Просвірнін Ю.В., Дубовик В.О., Іванов І.І. НАВІГАЦІЙНА БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА В ЗОНІ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД	282

СЕКЦІЯ 1. НАВІГАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

УДК 656.61.086.2: 341.323 (262.5) (045)

СУЧАСНІ ЗАГРОЗИ БЕЗПЕЦІ СУДНОПЛАВСТВА В ЧОРНОМУ МОРІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

О.М. Волков, доцент, к.т.н.

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Чорне море традиційно має стратегічне значення для держав Причорномор'я, оскільки є ключовим транспортним коридором, що поєднує Середземномор'я з внутрішніми водними системами Європи. Безпека судноплавства у Чорному морі в умовах сучасних геополітичних трансформацій набула виняткової актуальності. З початком повномасштабної війни Російської Федерації проти України акваторія Чорного моря перетворилася на один із найбільш ризикованих регіонів світу для цивільного судноплавства. Зміни у військово-політичній ситуації, зростання кількості морських мін, блокада портів, загрози кібернетичних атак, а також вплив на ланцюги постачання суттєво вплинули на морську транспортну галузь, поставивши під загрозу свободу судноплавства, міжнародні торговельні шляхи та безпеку цивільного флоту.

Військова активність і ризики для цивільного судноплавства

Військова присутність Російської Федерації у Чорному морі створює постійний ризик для цивільних суден. За даними NATO Maritime Command (2025), північно-західна частина моря залишається зоною високої небезпеки. Цивільні судна неодноразово зазнавали обстрілів та пошкоджень (Euromaidan Press, 2024).

Військові дії на Чорному морі радикально змінили умови морської торгівлі. За даними NATO MARCOM (2024), північно-західна частина моря вважається зоною “високого військового ризику”, де можливе ураження комерційних суден уламками ракет або дронів:

- 2023 р. торговельне судно "SIG" отримало пошкодження внаслідок удару безпілотною біля Керченської протоки.
- 2024 р. кілька турецьких і румунських суден повідомляли про уламки ракет поблизу дельти Дунаю.

Через це страхові компанії (Gard, 2024) переглянули умови страхування рейсів у регіоні. Порти України тимчасово втратили статус “safe port”.

Для зменшення ризику використовуються конвої, супутниковий моніторинг та додаткові заходи безпеки, зокрема координація з військовими силами. Впроваджуються системи прогнозування ризиків, які враховують ймовірність атак та динаміку бойових дій.

Морські міни і дрейфуючі мінні поля

Морські міни залишаються однією з найсерйозніших загроз для судноплавства. Дрейфуючі або нестабільно закріплені міни можуть з'являтися навіть за межами зон активних бойових дій. Дрейф виникає через гідрологічні умови:

- північно-західні течії від Дунаю та Дністра;
- сезонні шторми;
- зруйновані якорі старих радянських мін.

Міни поступово переміщуються до берегів Румунії, Болгарії, Туреччини, іноді потрапляючи до районів міжнародного судноплавства.

Електронні, кібернетичні та навігаційні загрози

Метою загроз до інформаційної безпеки на судні є здійснення незаконних дій, таких як витік конфіденційної інформації, втручання у систему управління судном, шахрайство, вимагання викупу за доступ до важливих даних тощо. Крім того, можуть існувати загрози,

пов'язані з ризиками кібератак на системи керування та навігації суден, що можуть призвести до серйозних наслідків, таких як аварії та загибель людей. Таким чином, метою заходів із захисту інформаційної безпеки на судні є забезпечення безпеки людей та забезпечення стабільності функціонування судна та його систем управління в умовах зростаючих загроз від кіберзлочинців.

Судна стикаються з GPS-глушінням, AIS-спуфінгом та радіоелектронними перешкодами (Euromaidan Press, 2024).

Впроваджуються резервні навігаційні системи (eLoran, інерціальна навігація) та AI-модулі для виявлення аномалій AIS. Екіпаж проходить навчання з кіберзахисту для швидкого реагування на загрози.

Іншим важливим моментом під час вирішення питань безпеки інформаційних систем судна є принцип дотримання балансу. Слід чітко розуміти, що забезпечення абсолютної безпеки практично неможливе. Захистити від усього різноманіття загроз неможливо з цілої низки причин, серед яких досить назвати лише деякі:

- абсолютний захист зробить інформаційну систему практично недоступною та непридатною для використання;
- не всі можливі шляхи подолання системи забезпечення безпеки можуть бути відомі і, отже, не всім загрозам може протистояти застосована система забезпечення безпеки;
- безпека комп'ютерних систем судна залежить від "людського фактору".

Таким чином ще раз за необхідне підкреслити, що будь-які заходи не можуть гарантувати абсолютну безпеку.

Страхування, логістика та правовий статус портів

Зниження суднопотоку через українські порти склало понад 70%. Експорт зерна, металів та нафтопродуктів значно скоротився. Румунія та Болгарія стали основними «транзитними воротами» для українського експорту через Дунай та порт Констанца. Міжнародні страхові компанії підвищили ставки ризику для рейсів у Чорному морі, що збільшило вартість фрахту на 30–50%, страхові премії для суден, що прямують до українських портів, зросли до 5% вартості вантажу (Interlegal, 2024), терміни 'safe port' та 'war risk zone' стали ключовими у фрахтових контрактах (Gard, 2023).

Перевезення вантажів у Чорному морі має ключове значення для економіки України. Через воєнні ризики цей маршрут потребує страхування. Держава вже зробила перші кроки, працюють приватні страховики, але цього недостатньо. Значення морського коридору для економіки України є дуже важливим. Торік морський шлях забезпечив експорт 87,2 млн тонн продукції при загальному обсягу 129 млн тонн. Тобто близько 70% експорту забезпечується морським шляхом тому, що це найбільш дешевий варіант логістики для «дальніх ринків». Обстріли портової інфраструктури та міни у територіальних водах України створюють серйозні виклики для роботи морського коридору. Бізнес-рішенням для пом'якшення цих ризиків є страхування вантажів та суден. На сьогодні вантажі у Чорному морі страхують "ІНГО", ARX, Colonnade та ряд інших. Механізм "Єдність" Воєнні ризики в акваторії Чорного моря завеликі для того, щоб їх взялися страхувати лише приватні компанії на ринкових засадах. Потрібні структури, які зможуть взяти частину ризиків на себе. Особливо актуально це питання постало з виходом Росії із "зернової" угоди у липні 2023 року. Тому в листопаді 2023 року Кабмін створив спеціальний страховий механізм – "Єдність". До механізму "Єдність" був залучений пул із 14 провідних британських компаній у сфері страхування та перестрахування, наприклад, Marsh McLennan та представники найбільшого у світі ринку страховиків Lloyd's of London. Цей пул з грудня 2023 року по грудень 2024 року здійснював страхування торгових суден, але не вантажів, а також їх перестрахування – забезпечував виплати страховим компаніям, якщо останні понесли витрати вище їх лімітів та очікуваних ризиків. Британські фінансові компанії забезпечували перший рівень механізму "Єдність" і дали можливість реалізувати страхування суден у Чорноморському коридорі. Другий рівень – це перестрахування вже від української держави. Для цього Кабмін виділив окремі кошти на відшкодування послуг британських компаній у випадку настання страхових випадків.

Вплив на ланцюги постачання і глобальну торгівлю

Закриття портів та затримки перевезень призвели до збільшення маршрутів та витрат (UNCTAD, 2024; Reuters, 2025).

Нинішня ситуація на польсько-українському кордоні змушує український уряд та бізнес серйозно замислитися над пошуком альтернативних логістичних шляхів для експорту вітчизняної продукції.

Адже в умовах великої війни експортно орієнтована економіка України не може залежати від політичних процесів та електоральних ігор у сусідніх країнах, поведінка яких не повною мірою відповідає принципам послідовності, передбачуваності та добросусідства.

В такій ситуації оптимальною альтернативою є транспортування через українські морські та річкові порти. Цей механізм залишається привабливим навіть попри закриття портів Бердянська, Маріуполя, Скадовська та Херсона, а також зупинення навігації до портів Миколаївщини.

Український коридор діє лише для торговельних суден цивільних судновласників.

Натомість він не передбачає жодних обмежень щодо видів вантажу, за винятком військових. Також забороняється заходження до морських портів України суден-порушників, суден під прапором РФ та пов'язаних з фізичними і юридичними особами з РФ або тих, що перебувають у власності підсанкційних осіб. Щодо суден-порушників найбільш поширеними порушеннями наразі є відхилення від визначеного маршруту та недотримання швидкісних обмежень.

Скористатися Українським коридором можна за умови включення судна до каравану за заявкою агента судна в порту та відповідно до погодженого ВМС плану формування каравану на відповідну добу.

Порти Дунайського кластера

Після початку повномасштабного вторгнення обсяги перевалки вантажів у портах Ізмаїл, Рені та Усть-Дунайськ збільшилися у 2, 6 та 12 разів відповідно.

Попри успішне функціонування Українського коридору, розвиток портів Дунайського кластера був і залишається одним із пріоритетних напрямків розвитку.

Для забезпечення безперебійного експорту активно працює Українське Дунайське пароплавство (УДП) – державна судноплавна компанія, що здійснює морські та річкові перевезення. Основна номенклатура вантажів до перевезення річковим транспортом – залізнична сировина, вугілля та кокс, зернові вантажі, метали, добрива, нафтопродукти, вантажі в контейнерах, машини та устаткування, великогабаритні та великовагові вантажі.

Пароплавство активно займається модернізацією та будівництвом барже-буксирного флоту. Від початку блокади польського кордону УДП розробило три лінії для баржевих караванів за маршрутами Україна – Галац, Румунія, Україна – Регенсбург, Німеччина та Україна – Констанца, Румунія. Звісно, для певних груп товарів річкові перевезення не зможуть повноцінно замінити автомобільний та залізничний транспорт, проте варто розуміти, що суднова партія є альтернативою 2-5 тисячам вантажівок.

Висновки

Чорне море є регіоном із високим рівнем морських ризиків. Основні загрози: військова активність, мінна небезпека, кібер- та електронні атаки, підвищені страхові витрати та порушення ланцюгів постачання. Інноваційні підходи: впровадження безпілотних систем моніторингу, цифрових платформ аналізу ризиків, кіберзахисту та міжнародного центру безпеки.

Військова активність у Чорному морі створила безпрецедентні ризики для цивільного судноплавства, економіки та глобальної продовольчої безпеки. Безпека морських шляхів можлива лише за умови: відновлення контролю України над своїми водами; міжнародного моніторингу акваторії; розмінування та страхового захисту суден; нової угоди про свободу судноплавства під егідою ООН.

ЛІТЕРАТУРА

1. Allianz Commercial. (2023). Maritime Risk Report. <https://www.allianz.com>
2. Euromaidan Press. (2024). Security Challenges in the Black Sea Region.
3. Gard. (2023). War Risk Zones in Maritime Trade.
4. Interlegal. (2024). Legal Aspects of Safe Ports under Wartime Conditions.
5. Kyiv Post. (2024). Insurance and Freight in the Black Sea.
6. NATO Maritime Command. (2025). Maritime Security Overview.
7. Reuters. (2025). EU Proposes Black Sea Maritime Security Hub.
8. UNCTAD. (2024). Maritime Transport Review.
9. IMO. (2023). Resolution on Maritime Safety in the Black Sea.
10. AP News. (2025). Joint Mine Clearance Agreement in Black Sea.

УДК 629.545.2-048.18

ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАКАТНИХ СУДЕН.

Власенко Є.А., кандидат технічних наук, доцент кафедри “Теорія та устрій судна”

Національний університет «Одеська морська академія», Україна.

Вступ. Накатні судна, або судна с горизонтальним способом вантажообробки, відіграють важливу роль у вантажообігу нашого регіону. Висока швидкість вантажних операцій, зменшення паливних затрат на доставку певної одиниці вантажа, використання скороченої дистанції переходу (а в деяких випадках і єдиної можливої) – основні переваги, які призвели до значної популяризації даного типу суден.

Актуальність теми. З точки зору підвищення ефективності морських перевезень найбільш перспективним і доцільним шляхом є будівництво нових одиниць флоту з урахуванням динамічного розвитку специфіки перевезень. Проте накатне судно є край складним морським об’єктом, оснащеним багатьма системами та пристроями, що приводе до значних витрат на його будівництво. Тому використання існуючих одиниць даних суден з метою підвищення їх економічних показників є достатньо актуальною задачею.

Постановка задачі. Наявність декількох безперервних палуб забезпечує накатні судна значними запасами загальної повздовжньої міцності. Система набору палуб, як правило, повздовжня. Це пояснюється не скільки необхідністю забезпечення загальної повздовжньої міцності, скільки характером навантаження від коліс – вона близька до зосереджених зусиль, які динамічно змінюються вздовж судна.

Для накатного судна важливим фактором є наявність великої площини палуб для розміщення колісної техніки (бажано без наявності вертикальних підкріплюючих елементів, що ускладнюють процес завантаження). У рамках цієї роботи представлені варіанти підвищення економічної ефективності шляхом збільшення довжини судна. Додаткову площу отримаємо шляхом вставки секції в районі циліндричної вставки. Простота геометрії перерізу дозволяє заощадити на модернізації. Наявні попередні запаси загальної повздовжньої міцності дозволяють виконати секцію зі збереженням існуючих товщин та профілів. Розглянути варіанти збільшення довжини на прикладі судна з наступними характеристиками:

Клас судна, РСУ	КМ ✦ Ice2 R2 Ro-ro passenger ship
Довжина між перпендикулярами, м	103.00
Ширина, м	16.50
Висота борта, м	10.90
Кількість вантажних палуб, од.	2
Кількість вантажівок, що перевозяться, од.	42*

* - прийняті габаритні розміри вантажівок $l \times b \times h = 16.50 \times 2.50 \times 4.00$ м.

Характеристики судна з урахуванням збільшення довжини наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики судна з урахуванням збільшення довжини.

Приріст довжини судна, м	Вага додаткових конструкцій, т (% від D_0)	Кількість вантажівок, що перевозяться, од.	Резерв за загальною повздовжньою міцністю, %	Приріст рентабельності, %
+ 12.00	276 (+12)	49	59	16
+ 24.00	552 (+24)	52	36	23
+ 36.00	828 (+36)	62	18	46

Наведені три варіанти збільшення довжини судна (кратна розміру стандартного листа та довжині балки для спрощення виготовлення секцій). Виконані розрахунки по визначенню необхідної ваги конструкцій, що встановлюються та збільшенню ваги судна порожнем. Згідно загального розміщення та досвіду завантаження вантажівок на накатні судна визначена можлива кількість авто, що можуть бути перевезені при нових габаритах вантажних палуб. Згідно вимог [3] визначені необхідні параметри еквівалентного бруса з урахуванням нових значень: довжини, коефіцієнта загальної повноти, водотоннажності, зусиль на тихій воді, нормативного зносу к кінцю терміну служби. Сукупність загальних витрат на проведення модернізації та підвищення прибутки за рахунок більшої кількості авто, що перевозяться, дозволяють прогнозувати приріст рентабельності. На рис.1 наведено схему поперечного перерізу судна (еквівалентний брус) в районі циліндричної вставки. На рис.2. представлена схема судна після модернізації. Заштрихована зона – район збільшення довжини судна.

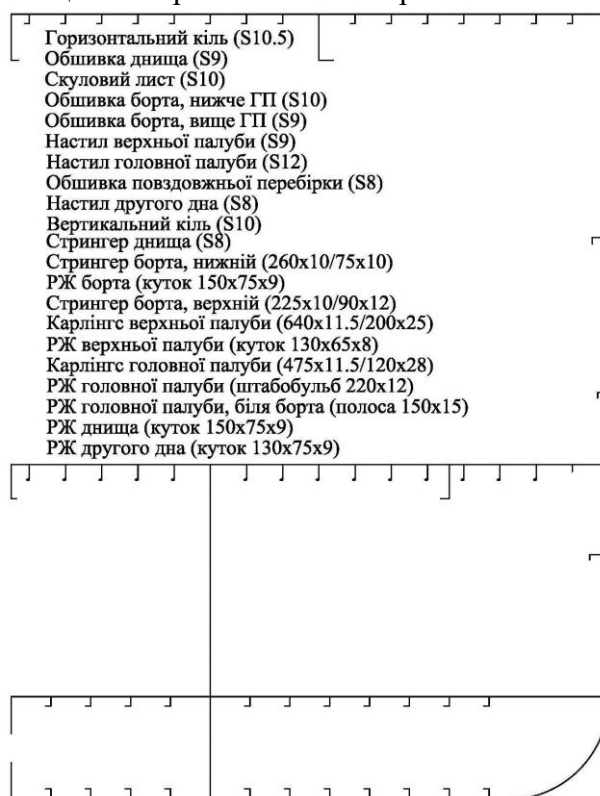


Рис.1. Схема поперечного перерізу судна (еквівалентний брус).

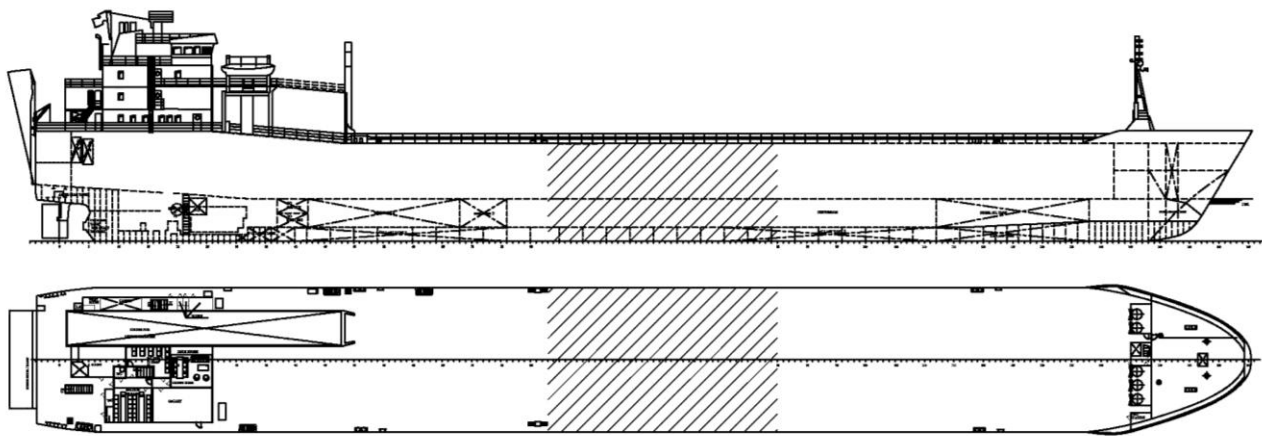


Рис. 2. Загальне розміщення після розмірної модернізації.

Висновки. Розглянуто приклад модернізації накатного судна шляхом збільшення довжини. Значні запаси загальної повздовжньої міцності, які обумовлені конструктивними особливостями, дозволяють збільшити довжину судна та отримати додаткові площі вантажних палуб з використанням існуючих товщин та профілів, що дає високий економічний ефект. Використання “донора” зі збереженням: головного двигуна, механізмів, пристроїв, систем, надбудов та складних у виготовленні кінцевостей дозволяє отримати судно з покращеними тактико-технічними характеристиками за відносно невеликі вкладення. Звичайно ж, збільшення довжини судна, окрім розрахунків морехідних якостей, зазнає потреби в перерахунках характеристик систем (пожежогасіння, баластної, осушення) та пристроїв (якірне, швартове) та приведення їх параметрів до необхідних за вимог Правил.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кандель Ф. Г., Раскін Ю. Н., Беляк Ю. Л. Проблеми міцності суден змішаного плавання. Під редакцією Чувіковського В. С. Суднобудування. – с 223 - 262.
2. Максимаджи А. І. Капітану о міцності корпусу судна: Довідник: Суднобудування. – 224 с.
3. Правила класифікації та побудови морських суден, Том 2, Корпус. Київ. 2020 р. Регістр судноплавства України.
4. Вашедченко А.Н., Каменецький Ю.Т., Цибенко Б.А. Визначення елементів суден з горизонтальним завантаженням. Праці Миколаївського кораблебудівного інституту. Миколаїв, 1975, вип.99, - с.7-9.
5. D.G.M.Watson. Practical ship design. Elsevier.UK.1998.Vol.1.,p.371.

УДК 656.61.052.42

ANALYSIS OF NAVIGATIONAL MATTERS IN THE MV SOLONG AND STENA IMMACULATE CAUSED THE COLLISION

Mykhaylo Matvyeyev, Senior Lecturer

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

1.1 Overall Scope

A maritime collision between the feedermax container vessel Solong and the oil and chemical tanker Stena Immaculate unfolded in the North Sea on March 10, 2025, approximately 12 nautical miles off East Yorkshire's coast. The high-impact incident caused severe structural damage, ignited fires aboard both ships, and resulted in the presumed death of one crew member. It has since drawn the scrutiny of regulators, insurers, and fleet operators across the commercial maritime sector. The

Stena Immaculate, a 183-meter U.S.-flagged tanker, was anchored in a designated offshore area, awaiting clearance to berth at the Port of Killingholme. Carrying a substantial load of aviation-grade jet fuel, the vessel remained stationary in moderate visibility conditions under early spring fog and haze.

At around 09:47 GMT, the container vessel Solong, a 140-meter Portuguese-flagged feeder ship en route from Scotland to the Netherlands made direct contact with the tanker's port side. Investigations indicate the Solong was traveling at roughly 16 knots when it collided with the anchored Stena Immaculate, breaching one of the tanker's cargo tanks.

Jet fuel began leaking immediately, igniting shortly thereafter. Fire spread rapidly across exposed surfaces and affected both ships. Despite the onboard emergency response measures, the scale and speed of the fire necessitated full crew evacuation from both vessels.



Figure 1. Passage of mv Solong and collision

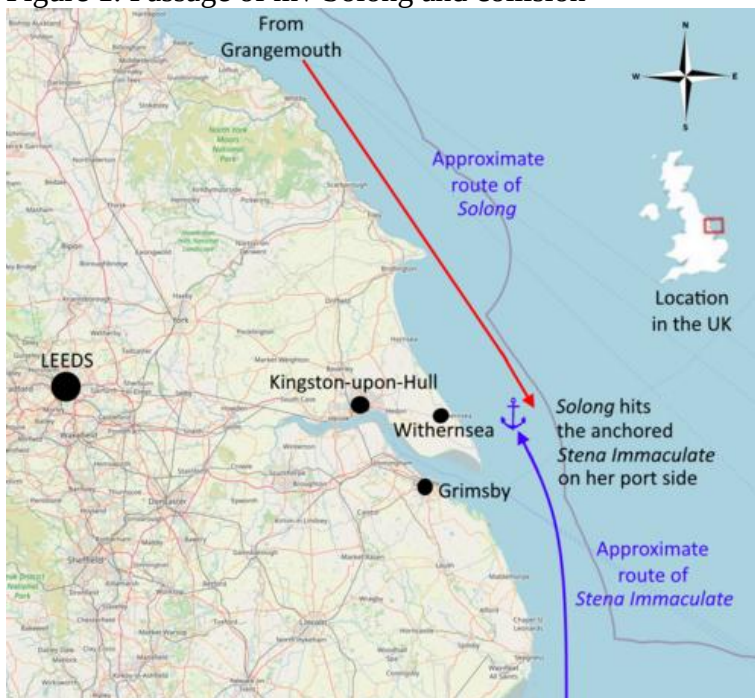


Figure 2. Area schematic description

1.2 Background

Mv Solong is a feeder container vessel 140 metres long, with a capacity of 804 twenty-foot equivalent units TEU's. She was built in 2005 and owned by Ernst Russ AG a publicly-traded Hamburg-based shipping firm. Her cargo included alcohol, and early reports also indicated that she

was also transporting 15 containers of sodium cyanide, a toxic chemical. However, Ernst Russ subsequently described this as "misrepresentation", saying that although it had previously carried the chemical, there were only four empty tanks that had contained it on board. The captain was a Russian national, and the remaining 13 crew were Russian and Filipino nationality.

In July 2024 Mv Solong was reported in Irish safety checks to have ten outstanding issues including emergency steering compass not readable, inadequate alarms, poorly maintained survival craft and fire door deficiencies. In October 2024 a Scottish inspection noted lifebuoys were inadequately marked. Ernst Russ reported that all identified safety issues had been rectified. Similar issues had been reported in previous inspections, but this is not considered unusual in ships of this age and faults were not sufficient to prevent the ship sailing, rather being advisory to carry out repairs. The ship had taken an almost identical route through the anchorage where the collision occurred several times in the last few months. Mv Solong was towed in to Aberdeen in late March.

MV Stena Immaculate an IMOIIIMAX-class chemical products carrier (also described as an oil tanker) and is 183 metres long with a beam of 32 metres, a deadweight tonnage of 49,729 and a gross tonnage of 29,666. She was built in 2017 at the Guangzhou Shipyard International with the yard number 12130009, and is owned by Stena AB and operated by Crowley Maritime of Florida. She was on a short-term charter to the US government as part of the US Government Tanker Security Program and was transporting 220,000 barrels (35,000,000 L; 9,200,000 US gal)[24] of Jet A-1 aviation fuel in 16 secure tanks to the Port of Killingholme, Lincolnshire, for the use of the United States Air Force. All 23 crew were USA nationals. Stena Immaculate was towed in to Great Yarmouth, Norfolk on 11 April.

1.2 Lessons Learned

Ship collisions such as that between the Solong and Stena Immaculate highlight several common causes relating to navigational safety, manning and fatigue management, maintenance of vessels, and the environmental conditions during collisions. Several international regulations provide necessary guidance to ship operators, but compliance alone is not enough to avoid incidents. Careful navigation is required in very busy shipping zones such as the North Sea. For many decades the North Sea's oil and gas fields have contributed to the energy needs of the region, however with the winding down of the hydrocarbon sector, a renewed focus has been placed on energy transition and the development of the region's offshore wind resources as new offshore energy installations are being installed at a fast rate. The whole North-East Atlantic region has indeed become a crowded place with the high level of shipping and offshore energy developments. Ships are further required to comply with MCA guidance on the use of modern technology on board vessels and remotely operated unmanned vessels (ROUVs), which present the latest risks and challenges to navigational safety in the North Sea. Ship operators, and mariners, including the captain and officer of the watch, should always be on extra alert as the number of ships and marine traffic globally is growing constantly, which increases the risks for more incidents in the future. Comprehensive understanding and application of the national and international collision regulations is paramount to ensuring safety of navigation and to avoid collisions such as that between the Solong and Stena Immaculate.

REFERENCES

1. <https://gcaptain.com/investigation-reveals-navigation-miscalculation-in-american-mariner-grounding/>
2. <https://uscgboating.org/library/accident-statistics/Recreational-Boating-Statistics-2022.pdf>
3. <https://www.equasis.org/EquasisWeb/restricted/DetailsPSC?fs=ShipInspection>
4. <https://www.dco.uscg.mil/Our-Organization/Assistant-Commandant-for-Prevention-Policy-CG-5P/Inspections-Compliance-CG-5PC-/Office-of-Investigations-Casualty-Analysis/Marine-Casualty-Reports/>
5. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MSC-105th-session.aspx>
6. <https://www.nepia.com/industry-news/uscg-identifies-pilot-distraction-in-grounding-casualty>
7. https://search.usa.gov/search?affiliate=uscg_uscg&query=groundig

8. <https://www.lloydslist.com/LL1136825/Grounding-seen-as-biggest-cause-of-bulk-carrier-losses>
9. <https://intelligence.marinelink.com/vessels/vessel/american-mariner-312710>
10. <https://www.workboat.com/coastal-inland-waterways/ntsb-bulk-carrier-grounded-with-master-overburdened>

УДК 656.61.052

ПСИХОСОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМИ ОПЕРАЦІЯМИ

Торський В.Г., к.т.н., професор кафедри судноводіння

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

У сучасних умовах вважається, що безпека мореплавства визначається такими чинниками:

- технічним станом флоту;
- організацією та забезпеченням управління безпекою мореплавства;
- умінням виявляти потенційні ризики при виконанні морських операцій та захищатися від них;
- особистими якостями, рівнем професійної підготовки та компетентністю морських фахівців.

Іншими словами — тим, що нині називають «людським фактором».

Судно як система є «людино центричною» системою, і саме людські помилки найчастіше спричиняють аварійні ситуації. Очевидно, що проблема «людського фактору» є складною, багатоаспектною і включає численні напрями досліджень та розробок, покликаних мінімізувати негативний вплив судового та берегового персоналу шляхом компенсації притаманних людині слабкостей і максимально ефективного використання її знань, досвіду, творчих та інших здібностей.

Сучасне розуміння людського фактору охоплює все, що пов'язано з поведінкою та діями людей на борту судна: дизайн обладнання, робоче середовище, тренування, освіту, технології, процеси мислення та прийняття рішень.

Попри зростаючу увагу до вивчення ролі та значення людського фактору у судноплаванні, далеко не всі його аспекти досліджені достатньо глибоко й всебічно. Окрім недоліків у професійній підготовці та дипломування членів екіпажу, існують й інші чинники, що сприяють аваріям, які також потребують ретельного аналізу та врахування — зокрема: міжособистісна комунікація на борту, особистісні якості, культура, втома, здоров'я, стрес та умови праці.

Результати розслідувань аварій засвідчують, що часто їх «винуватцями» є саме особистісні якості судових офіцерів. На вахтового офіцера впливає сукупність факторів — як сприятливих, так і дестабілізуючих. Перші посилюють здатність людини адекватно оцінювати ситуацію та приймати правильні рішення: це висока професійна підготовка, належний відпочинок, добрі стосунки в екіпажі. Негативні ж чинники знижують функціональні можливості, підвищують імовірність помилкових дій, що можуть призвести до інциденту чи аварії.

Крім того, на людину впливають і суб'єктивні чинники, зумовлені її інтелектом та специфічними психологічними якостями — вродженими та набутими: волеволі та емоційні якості, риси характеру, темперамент, звички, схильності, інтереси. Ці фактори важко піддаються вимірюванню через недостатні знання законів поведінки людини та суб'єктивного механізму прийняття рішень. Очевидно, що розуміння особистісних факторів, які впливають на судового офіцера, дозволить запобігти помилкам у його діях і рішеннях.

Аналіз причин аварій на судах засвідчує, що найчастішими дестабілізуючими факторами для вахтових офіцерів є втома та стрес.

Факторів, що сприяють втомі на судні, дуже багато, і вони змінюються залежно від виробничих умов. Деякі з них — природні або пов'язані з технологією — не можуть бути усунуті (погодні умови, вібрація, стоянка в порту), але мають враховуватися при комплектуванні екіпажу (фізичні дані, медичні показники) і при організації праці та відпочинку на борту, щоб запобігти перевтомі, особливо вахтових на містку й у машинному відділенні.

Щодо інших факторів, які викликають втому, слід уживати заходів, щоб мінімізувати їхній негативний вплив. Наприклад, при доборі екіпажу необхідно звертати увагу на психологічну сумісність, міжособистісні стосунки — особливо в малочисельних екіпажах. У кожній виробничій ситуації для запобігання втомі важливо підтримувати сприятливий психологічний клімат, взаєморозуміння й відчуття єдиної команди, яка вирішує спільне завдання.

Щоб знизити рівень втоми на борту судна, необхідно:

- забезпечити дотримання чинних норм щодо мінімального відпочинку / або максимального робочого часу;
- сформувати атмосферу відкритості в екіпажі, щоб моряки не боялися повідомляти про втому;
- встановити оптимальний графік роботи та відпочинку, що відповідає вимогам МОП і ІМО;
- підтримувати комфортні умови на судні (температура, вологість, вентиляція тощо);
- аналізувати випадки, пов'язані з втомою, і усувати їхні причини;
- уникати монотонності при плануванні робіт, чергувати фізичне та розумове навантаження.

Єдиним надійним заходом усунення помилок, викликаних перевтомою офіцерів, є збільшення кількості кваліфікованих офіцерів на борту. Втомлений офіцер зі зниженою пильністю, реакцією та увагою може припуститися фатальних помилок.

Слід також зазначити, що в документах ІМО з безпеки мореплавства не враховано сучасний високий темп портових та судових операцій, фізичне й емоційне перенапруження екіпажів, особливо командного складу.

Особливої актуальності набуває підготовка офіцерського складу до дій в умовах емоційного стресу, зокрема під час аварій або нападів піратів чи терористів. У таких ситуаціях все залежить від психологічної стійкості офіцера — здатності зберігати самовладання, адекватно оцінити ситуацію й діяти швидко й рішуче. Неординарна обстановка потребує неординарних рішень.

Прийшов час навчальним закладам та центрам підвищення кваліфікації моряків звернути особливу увагу на розвиток професійна важливих особистісних і психологічних якостей. Для цього потрібна ретельна міждисциплінарна робота фахівців з психології, соціології, медицини щодо визначення переліку вимог до особистості судового офіцера та методів їх оцінки з урахуванням особливостей морської праці.

До необхідних якостей судноводія належать:

1. Сильна нервова система;
2. Розвинена увага (концентрація, розподіл, переключення);
3. Висока сенсомоторна координація — здатність швидко і правильно реагувати на зміну ситуації;
4. Висока емоційна стійкість.

Ці показники мають враховуватись при відборі кандидатів у судноводії, а також розвиватись у процесі навчання. Доцільно застосовувати тренажерні програми з моделювання критичних ситуацій та їх наступного аналізу. Психологічна стійкість дозволяє офіцеру зберігати професійні якості протягом усього рейсу.

Психологічно стійким вважається оператор, здатний працювати під психічним навантаженням без значного зниження ефективності. Для офіцера, навантаження якого є тривалим і повторюваним, це має першочергове значення.

Основні завдання командного складу на борту:

- формування й підтримка оптимального психологічного клімату в екіпажі;
- розуміння та вирішення психологічних проблем, що виникають у рейсі.

Поводження всього екіпажу в екстремальній ситуації визначається діями кожного члена команди. Психологічна стійкість усього екіпажу допоможе уникнути паніки, згуртувати людей і знайти вихід із кризи. Проблема підготовки суднових офіцерів до дій в екстремальних умовах потребує подальшого вивчення й обговорення на сторінках наукових та професійних видань.

ЛІТЕРАТУРА

1. В. Г. Торский, В. П. Топалов, В. В. Торский. «Культура безопасности в судоходстве» — Одесса: Астропринт, 2012. — 104 с. — (Серия «Библиотека моряка» (БМ): вып. 24).
2. В. П. Топалов, В. Г. Торский. Человеческий фактор в судоходстве = Human factor in shipping: [учебно-практическое пособие] /— Одесса: Астропринт, 2015. — 244 с. — (Серия «Библиотека моряка» (БМ): вып. 27)
3. T. Crowch, Navigation the Human Element. MLB Publishing, Kent, UK, 2013, 233 p.
4. К проблеме «человеческого» фактора в судовождении. / Судовождение: Сб.науч.трудов./ОНМА.Вып.15- Одесса: ИздатИнформ, 2008.-с.197-212(в соавторстве).
5. К вопросу о надежности работы вахтенного офицера на ходовом мостике судна / Судовождение: Сб. научных трудов/ ОНМА, Вып. 21. - Одесса «ИздатИнформ», 2012 г., -с. 228-238.
6. Помилки судноводіїв-причина морських аварій/Судноводіння: Зб. наукових праць / НУОМУ, Вип. 29.- Одеса «ИздатИнформ», 2019 р., - С. 211-229.

УДК 629.5.056.8-043.2(045)

КВАНТОВА НАВІГАЦІЯ. НОВИЙ НАПРЯМОК В СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ

Фусар І. Ю., доцент кафедри судноводіння, к.т.н., **Корнілов С. В.**, капітан 2 рангу

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

1. Квантова навігація. Погляд у майбутнє.

1.1 Квантова навігація. Сфери застосування.

Квантова навігація – новий напрямок в розвитку систем навігації. Квантова навігація - це інноваційна технологія, яка базується на принципах квантової фізики, яка обіцяє зробити навігаційні системи більш точними та стійкими до перешкод. На відміну від традиційних GPS-систем, квантова навігація не залежить від супутників і може працювати в будь-яких умовах. Ця новітня ситсема базується на квантових сенсорах, які зчитують найменші зміни магнітного поля Землі, що змінюється у процесі її обертання.

По суті йдеться про атоми. Коли супутникова навігація покладається на сигнал, що відображається з космосу, квантова навігація фокусується на русі одного атома, що відстежується в криогенних умовах. Замість супутника, що плаває в космосі, квантова навігаційна система знаходиться всередині кожного окремого транспортного засобу, а вимірювання виробляються "у точці використання". "Це означає, що сигнал "не дрейфує", що значно ускладнює перехоплення", - говорить Річард Кларідж, фізик із RA Consulting Group. У травні 2025 року Великобританія провела два окремих випробування квантової навігації - одне на борту корабля Королівського флоту, а інше - на невеликому реактивному літаку. Наступного місяця лондонська підземна транспортна система стала випробувальним

полігоном для цієї технології. Випробування успішно продемонстрували, що квантова навігація "не схильна до перешкод", а дослідження Великобританії прокладають шлях до ширшого впровадження цієї технології в майбутньому. Підраховано, що один день відключення супутникового зв'язку коштуватиме Великобританії більш ніж 1,3 млрд доларів. Тому уряди та підприємства, безумовно, зацікавлені у пошуку рішення. Але квантові навігаційні системи навряд чи замінять GNSS найближчим часом. Для квантової навігації потрібні надхолодні атоми, а устаткування нині має великі розміри.

1.2 Першопроходці в галузі квантової навігації. Q-CTRL (Австралія).

Австралійська компанія Q-CTRL вперше публічно продемонструвала власну квантову навігаційну систему під назвою Ironstone Opal, яка працює повністю автономно і не потребує GPS. У Q-CTRL звертають увагу на серйозні наслідки від глушення GPS, яке стало особливо поширеним у періоди воєнних конфліктів та кібератак. Ironstone Opal ґрунтується на квантових сенсорах, які зчитують найменші зміни магнітного поля Землі, що змінюється у процесі її обертання.

Крім квантових сенсорів, Ironstone Opal включає програмне забезпечення з елементами штучного інтелекту, яке фільтрує зовнішні перешкоди — зокрема вібрації та електромагнітний шум. Компактність системи дозволяє встановлювати її на дрони, автомобілі, літаки та інші автономні платформи. У польових та авіаційних випробуваннях Ironstone Opal продемонструвала 11-кратну перевагу над звичайними системами навігації.

Q-CTRL обіцяє, що нова система може суттєво змінити підхід до навігації у світі, де залежність від супутникових сигналів стає дедалі ризикованішою. Австралійська компанія Q-CTRL вперше продемонструвала власну захищену квантову систему навігації, здатну працювати незалежно від GPS. Зазначається, що систему, що отримала назву «Ironstone Opal», неможливо заглушити і вона у 50 разів точніша за GPS. За словами розробників, глушіння сигналів GPS становить велику проблему, оскільки призводить до порушень у роботі транспортних засобів, які на неї покладаються для визначення даних про власне місцезнаходження. Особливо це помітно в умовах військових конфліктів та кібератак.

З огляду на це в Q-CTRL розробили систему, що використовує квантові датчики для навігації. Система продемонструвала високу точність, а головне — вона не випромінює сигналів, які можна виявити та перехопити або заглушити. «Ironstone Opal» використовує магнітне поле Землі, яке трохи змінюється у процесі обертання планети. Вимірюючи ці зміни за допомогою магнітометрів, система здатна визначити місцезнаходження конкретного об'єкта.

«Ironstone Opal» окрім квантових датчиків включає в себе спеціальне програмне забезпечення на базі штучного інтелекту, що фільтрує перешкоди, включно із вібраціями та електромагнітним шумом. Система має компактний розмір і теоретично може бути встановлена на безпілотики, автівки і навіть літаки.

Розробники Q-CTRL провели низку випробувань на землі та у повітрі. Було продемонстровано, що система здатна працювати абсолютно незалежно від GPS. У компанії запевняють, що «Ironstone Opal» у 50 разів точніша за GPS. Навіть на борту літака обладнання цієї системи виявилось у 11 разів ефективнішим за традиційні навігаційні системи.

Квантова система навігації Q-CTRL використовує квантові датчики для виявлення крихітних, інакше непомітних сигналів, що виникають у структурі Землі, які слугують магнітними «орієнтирами» для навігації - лише квантові датчики забезпечують чутливість та стабільність, необхідні для постійного «бачення» цих орієнтирів з автомобіля, що рухається. «На відміну від квантової переваги [у квантових обчисленнях], ця технологія є справді інноваційною і відповідає висхідним потребам ринку в аерокосмічній, оборонній промисловості та автономних автомобілях», - сказав Жан-Франсуа Боб'є (Jean-Francois Bobier), партнер і віцепрезидент підрозділу Deep Tech у Boston Consulting Group. Він зазначив, що, за оцінками BCG, до 2030 року квантове зондування стане галуззю вартістю 3 млрд дол. і додав: «Q-CTRL прокладає шлях до розкриття цього потенціалу за допомогою доведеної квантової переваги». Q-CTRL пропонує нове рішення зверху донизу, побудоване на концепції «програмно-зміцненого обладнання». Ця перевірена концепція використовує запатентоване

програмне забезпечення квантового управління на основі AI для захисту чутливих квантових датчиків від перешкод, що зустрічаються в реальному світі, та дає змогу мініатюризувати системи шляхом заміни апаратного забезпечення на програмне, що дає змогу встановлювати їх практично на будь-які транспортні засоби. *Магнітометр Q-CTRL*

Команда Q-CTRL провела випробування як на наземних транспортних засобах, так і в польоті. В обох випадках вона домоглася квантової переваги, забезпечивши перевагу над альтернативою GPS стратегічного класу, відомою як інерціальна навігаційна система (INS) - золотий стандарт резервної системи GPS, яка працює на основі вимірювання руху транспортного засобу. У цих випробуваннях інформація про магнітні карти була взята із загальнодоступних баз даних, що не вимагало проведення спеціальних досліджень перед випробуваннями. Під час льотних випробувань система Q-CTRL досягла 99,97% часу безвідмовної роботи й успішно функціонувала в широкому діапазоні умов експлуатації, температур, висот і маневрів. Команда домоглася максимально 50-кратного зниження похибки позиціювання під час польоту на відстань ~500 км порівняно з INS, водночас похибка позиціювання становила всього ~0,03% від загальної відстані, пройденої за допомогою зовнішніх квантових датчиків. У найкращих випробуваннях було досягнуто кінцевої невизначеності позиціювання ~0,01%; таким чином, продуктивність нового рішення MagNav перевершує загальнодоступні показники низки інших резервних систем GPS, включно з доплерівським радаром, доплерівським швидкісним лідаром та візуальною одометрією, без потреби випромінювати зовнішні сигнали, які видають ваше становище супротивникові (як у радарі) або піддаються погодним умовам у польоті. Магнітна навігація в польоті була успішною під час використання різних конфігурацій датчиків і перевершила INS принаймні в 11 разів, коли вся система повного стека була розташована всередині літака, де магнітні перешкоди від авіоніки та іншого обладнання в десять разів більші, ніж у типових точках кріплення зовнішніх датчиків. Це свідчить про ефективність технології програмного захисту Q-CTRL. Квантово-гарантована магнітна навігаційна система Q-CTRL також успішно забезпечила навігацію в наземному транспортному засобі з системою, закріпленою у вантажному відсіку фургона. Як і в льотних випробуваннях, положення визначалося за магнітною картою, отриманою із загальнодоступних баз даних. У цих випробуваннях технологія Q-CTRL перевершила INS більш ніж у 6 разів і являє собою першу в історії успішну демонстрацію магнітної навігації в наземному транспортному засобі.

SB Quantum, першопроходець у галузі квантового зондування, революціонує навігаційні технології завдяки своєму новому квантовому магнітометру. Базуючись у центрі квантових технологій у Шербруку, Канада, компанія є піонером у використанні алмазів з азотними вакансіями для картографування магнітного поля Землі з безпрецедентною точністю. Ця технологія є особливо трансформаційною в середовищах, де традиційні системи GPS не працюють, наприклад, під землею, під водою або в щільно забудованих міських районах.

Відкрита квантова наука. Наріжним каменем технології SB Quantum є алмаз з азотними вакансіями. Ці спеціально сконструйовані алмази руйнують вуглецеву решітку атомами азоту, наділяючи їх унікальними магнітними властивостями. Коли ці алмази збуджуються зеленим лазером, вони випромінюють червоне світло у відповідь на навколишнє магнітне поле. Це випромінювання світла безпосередньо корелює з напруженістю магнітного поля, що дозволяє проводити детальне і точне картування. Цей квантовий ефект використовується для високоточних векторних вимірювань амплітуди та орієнтації магнітного поля Землі.

Широкий спектр застосування. Квантовий магнітометр SB Quantum має різноманітне застосування, пропонуючи значний прогрес у кількох галузях:

- **видобуток корисних копалин:** підвищує ефективність розвідки корисних копалин, надаючи детальні магнітні дані, що мають вирішальне значення для оцінки потенціалу гірничодобувних ділянок;

- **автономна навігація транспортного засобу:** в умовах відсутності GPS, наприклад, у підземних тунелях або під водою, ця технологія забезпечує надійні навігаційні дані, гарантуючи безпеку та ефективність роботи;

- **оборона:** у військових операціях точне визначення місцезнаходження та класифікація об'єктів за допомогою магнітних сигналів є життєво важливими. Технологія SB Quantum пропонує нові можливості в цій галузі;

- **безпека:** традиційні металодетектори є нав'язливими та обмеженими у своїй інформативності. Неінтрузивна, детальна технологія виявлення металів SB Quantum являє собою значне поліпшення заходів безпеки;

- **дослідження космосу:** роблячи свій внесок у глобальний збір магнітних даних, технологія SB Quantum допомагає переосмислити світову магнітну модель, яка є критично важливим компонентом для різних навігаційних систем на Землі.

SB Quantum отримала значне визнання за свою новаторську роботу. Компанія була відібрана для участі у фінальній фазі MagQuest Challenge, престижного конкурсу, що проводиться Національним агентством геопросторової розвідки США. Цей вибір підкреслює потенціал технології SB Quantum у переосмисленні магнітної моделі світу. Очікується, що квантовий магнітометр забезпечить більш часті та точні вимірювання магнітного поля Землі в космосі, а термін його служби значно перевищить сучасні технології.

Технічні характеристики магнітометра:

Тип датчика: Удосконалений квантовий магнітометр на основі алмазів.

Вимірювальні можливості: Забезпечує векторні вимірювання амплітуди та орієнтації магнітного поля з квантовою точністю.

Унікальні особливості: Використовує квантові властивості для зменшення спотворень зчитування, спричинених такими факторами навколишнього середовища, як температура.

Галузі, що застосовуються: Видобуток корисних копалин, навігація автономних транспортних засобів, оборона, безпека та освоєння космосу.

Висновки

Квантові технології, включаючи квантову навігацію, є стратегічно важливою сферою розвитку для сучасних держав у недалекому майбутньому. Квантова навігація може бути використана для створення більш точних та надійних систем автоматичного керування усіх видів транспорту, технологічної та промислової галузі. Одною з головних переваг систем квантової навігації є здатність до безперебійної роботи в умовах сильних перешкод, що робить ці системи перспективно невразливими.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://sbquantum.com/media/>
2. <https://agtecher.com/uk/product-uk/sb-quantum-magnetometer/>
3. <https://itc.ua/ua/novini/u-50-raziv-tochnisha-za-gps-stvoreno-pershu-kvantovu-systemu-navigatsiyi-yaka-zekonomyt-do-1-mlrd-na-den/>
4. <https://q-ctrl.com/our-work/positioning-navigation-and-timing>

УДК 629.5.052.3-52-049.5

ЗАСТОСУВАННЯ МОРСЬКОЇ АСТРОНОМІЇ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА МОРІ

Дворецький В.О. *к.т.н., доцент кафедри судноводіння*

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Морська астрономія, історично один з ключових методів навігації, базується на спостереженні небесних тіл для визначення положення судна на морі. В епоху супутникової навігації, такої як GPS, її роль здається другорядною, проте в аварійних ситуаціях — при відмові електроніки, втраті сигналу або катастрофах — вона стає життєво важливою. Аварійні сценарії включають корабельні аварії, втрату орієнтації в шторм або відключення систем через електромагнітні перешкоди. Морська астрономія дозволяє визначати широту і довготу за допомогою Сонця, Місяця, зірок і планет, використовуючи прості інструменти, такі як секстант, хронометр і таблиці.

У цій статті розглядаються принципи застосування морської астрономії в аварійних ситуаціях, її переваги та обмеження. Представлено практичні методи, інструменти та приклади, підкріплені ілюстраціями. Мета — продемонструвати, що цей метод залишається актуальним для забезпечення безпеки на морі.

Основні методи та застосування в аварійних ситуаціях

Принципи, визначення, положення.

Морська астрономія використовує тригонометрію та астрономічні таблиці для розрахунку координат.

Основні методи:

* Визначення широти: вимірюється висота сонця опівдні або зірок над горизонтом. Широта φ розраховується за формулою: $\varphi = 90^\circ - \delta - h$, де δ — схилення сонця (з таблиць), h — виміряна висота. Це дозволяє визначити Північну або Південну широту з точністю до 1-2 морських миль.

* Визначення довготи (Рис.2): вимагає точного часу. Довгота $\lambda = (T - T_0) \times 15^\circ$, Де T — місцевий час, T_0 — час GMT. В аварійних ситуаціях використовується хронометр або радіо для синхронізації.

Визначення часу за зірками. Спостерігаючи Північні навколополярні сузір'я (рис 1) можна подумки розділити небо на 24 годинних поділу, як це показано на рисунку. Далі слід окомірно оцінити часовий кут зірки Кафф (β Кассіопеї). Якщо для зірки Фекда (γ Великої Ведмедиці), то $t_m^\gamma = t_m^{\text{Фекда}} - 12^h$. Для переходу від зоряного часу t_m^γ до середнього часу меридіана місця за датою вибирається "зоряне число" R , з виразом його в часовій мірі і обчислюється $T^m = t_m^\gamma - R$

Далі по T^m отримаєм судновий час $T^c = T^m \mp \lambda_w^E \pm N_w^E$.

Довгота місця спостерігача може бути визначена тільки при відомій поправці годин, за допомогою якої обчислюють Всесвітній час в момент вимірювання висоти світила або в момент настання астрономічного явища, при якому відомий t_m або ж відомо. Якщо t_m світила відомий або обчислений по виміряній висоті, то $\lambda_o^E = t_m^W - t_{zp}^W$. Якщо відомо T_m явища, то $\lambda_o^E = T_m - T_{zp}$.

У надзвичайних ситуаціях, коли GPS недоступний, ці методи забезпечують базову навігацію. Наприклад, при корабельній аварії на безлюдному острові спостереження за сонцем допомагає визначити напрямок до найближчого берега.

Інструменти та техніки

Ключові інструменти:

- * Секстант: для вимірювання кутової висоти небесних тіл (Рис.2).
- * Хронометр: для точного часу.
- * Астрономічні таблиці: такі як Nautical Almanac.

Техніки включають "сонячну лінію" (визначення широти за Сонцем) та зоряну навігацію вночі. У шторм або туман використовуються місяць і планети.

Приклади аварійних ситуацій

- Корабельна аварія: у 2017 році яхтсмени в Тихому океані використовували астрономію після відмови GPS, орієнтуючись по зірках.

- Шторм: в умовах електромагнітних перешкод від блискавок Астрономія дозволяє уникнути дрейфу.

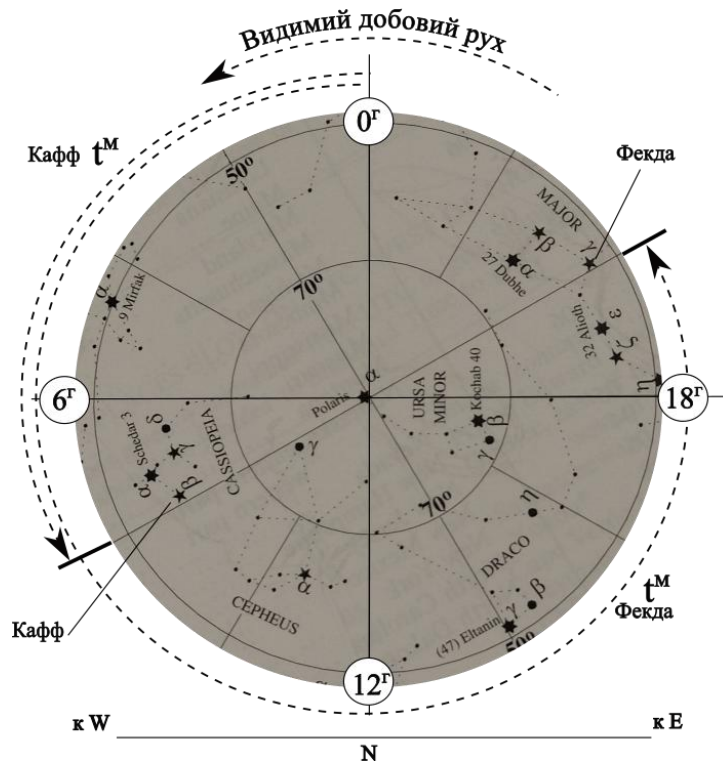


Рисунок 1. Карта зірок для визначення довготи і курсу в аварійній ситуації.

Обмеження: вимагає ясного неба, навичок і часу. Точність нижче GPS (до 10-20 миль), але достатня для порятунку.



Рисунок 2. Вимірювання висот секстантом.

Висновок

Морехідна Астрономія залишається надійним резервним методом навігації в аварійних ситуаціях, коли сучасні технології підводять. Її простота і незалежність від електроніки роблять її цінною для моряків. У майбутньому інтеграція з цифровими інструментами (додатки на смартфонах) може підвищити точність. Рекомендується включати навчання цього методу в програми підготовки капітанів. Подальші дослідження можуть фокусуватися на автоматизації розрахунків. Порівняння точностей навігації для різних методів навігації представлена на Рис. 3.

Висока		GPS (висока)
Середня		Астрономія (середня)
Низка		Компас (низка)

Рисунок 3: Порівняння методів навігації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bowditch, N. (2002). *The American Practical Navigator*. Bethesda: National Imagery and Mapping Agency.
2. Cutler, T. J. (2003). *Navigation and Astronomy*. London: Adlard Coles Nautical.
3. Hinds, A. (2011). *Celestial Navigation for Yachtsmen*. Seafarer Books.
4. Maloney, E. S. (2003). *Chapman's Piloting & Seamanship*. Hearst Books.
5. Nautical Almanac Office. (Ежегодно). *The Nautical Almanac*. US Naval Observatory.
6. Raper, H. (2010). *Coastal Navigation*. Wiley-Blackwell.
7. Smith, D. (2008). *Emergency Navigation*. Fernhurst Books.
8. Sturdy, D. (2006). *The Nautical Almanac*. Royal Greenwich Observatory.

UDC 656.6.071.4:656.61.052.5(045)

EMERGENCY DEPARTURE A PORT IN CASES OF SEVERE WEATHER CONDITIONS

Syemitko Volodymyr, senior lecturer National University “Odessa Maritime Academy”, Ukraine.

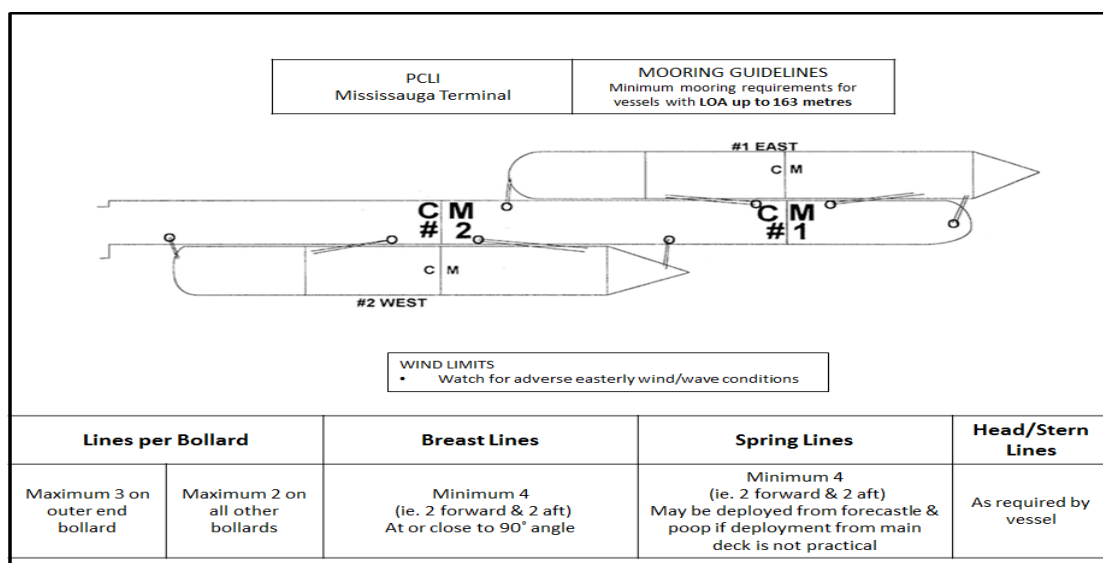
Abstract. Severe meteorological phenomena or sudden changes in weather conditions causing e.g. wind gusts, as well as serious accidents within seaport areas, such as fires and explosions may pose a significant threat to the safety of moored ships. Being alongside a berth in port is not a guarantee of safety; on the contrary, it may be more hazardous to be alongside in the event of heavy weather since the potential of damage to vessel / berth is large in such instances. Emergency conditions in a port request special precaution measures taken by ships when in the majority of cases they necessitate leaving port waters in the shortest time. Good management, awareness and timely actions can help with avoiding difficulties encountered by ships under emergency conditions at ports [1].

Keywords: seaport, ship, emergency departure, severe weather conditions, ship's contingency plan.

Weather has been a critical aspect of life at sea from times immemorial. With the advancement in technology and improved communication systems, weather forecasting has radically improved, becoming more detailed, accurate and extending further out in time. However, climate change in recent times has brought about a change in weather patterns and more unusual and severe weather phenomena are being witnessed. Adverse weather conditions can have serious consequences for vessels in port if during loading operations. If deteriorated weather is expected, the Master should make prompt decisions to ensure the vessel is prepared for immediate action. This includes ensuring the vessel is fully manned, appropriately ballasted, and has engines ready for maneuvering [2]. Close communication with terminal and port authorities is crucial to coordinate timing and availability for necessary actions such as halting cargo operations, deploying additional storm moorings, and arranging for tug assistance and pilotage. The Master must also evaluate whether it is safer to remain alongside the berth or to depart for the open sea or a safe anchorage, considering the risks associated with staying moored during adverse conditions. It is important to note that even with additional precautions like extra mooring lines, there is no guarantee that a ship will not break free from her moorings in severe weather. It is also essential to recognize that mooring stations can become hazardous environments during bad weather conditions. Therefore, delaying departure from the berth until the weather conditions become dangerous should be avoided at all costs. The consequences of incidents involving moored vessels breaking away from berths range from personal injury, significant damage to the vessel, including damage from impact with the berth and grounding, damage to

neighboring vessels, shore/terminal facilities, to environmental pollution. Most such incidents occur in adverse weather conditions when vessels with a large wind resistance area are exposed to strong winds. Emergency conditions in a port request special precaution measures taken by ships when in the majority of cases they necessitate leaving port waters in the shortest time. Assistance for ships by port pilots and port tugs is limited in emergency situations because of urgent necessity to leave the port. Although pilot assistance in emergencies could be provided sometimes, but frequently the shipmaster is the only person who takes full responsibility for safely leaving from a terminal or port taking into consideration ship maneuverability and environmental conditions. Risk assessment in a port can be defined as the identification of potential risks, the calculation of their probability of occurrence and the assessment of the consequences they may have. An emergency on the ship must be handled with confidence and calmness, for haste decisions and “jumping to conclusions” can make matters even worse [2]. If weather conditions get worse a timely decision must be made whether to stay, and adjust the moorings accordingly, or leave the berth for the open sea or anchorage – this decision must not be dictated by commercial considerations. Decisions must be made and appropriate action taken before the bad weather sets in or it might be too late to act. Ports in regions prone severe weather generally have additional procedures to send ships out to sea when severe weather is forecast. Therefore, all ports have implement emergency procedures to send ships to sea in advance of severe weather; do not wait for an incident before developing an emergency plan. Efficient tackling of emergencies can be achieved by continuous training and by practical drills onboard vessels. It is strongly recommended that the Master conduct a thorough risk assessment tailored to the specific mooring conditions and loadings, taking into account the characteristics of the vessel and the location, under both normal and adverse weather conditions. Historical information concerning local weather phenomena, such as winds or irregular tidal effects should be included in risk assessment. The Master should take a proactive approach by actively seeking information from port authorities, pilots, and agents to understand how warnings will be communicated and to stay informed about changing conditions. The procedures and measures to be taken by the port in cases of severe weather conditions should be part of a Contingency plan. [3]. All vessels on board have an emergency action plan. This plan includes a scenario entitled "BREAK AWAY FROM JETTY DURING CARGO TRANSFER PROBABLE CAUSES FOR A BREAK AWAY FROM JETTY." This scenario considers the possible causes of a vessel breaking away from the berth and the necessary countermeasures that allow the crew to be prepared for action in an emergency through training drills [4].

The Petro Canada Marine Terminal in the port Clarkson has been taken as a case study for ships



Pic. 1 Mooring Guideline diagram at Petro Canada Marine Terminal

breaking away from berths. The port experiences a temperate maritime climate characterized by moderate seasonal variations, with navigation typically unimpeded throughout the year. Several incidents involving Nordic Tankers vessels have occurred at this terminal. Strong crosswinds affecting the increased sail area of the vessel led to the breakage of several bow mooring ropes, minor damage to the hull and, ultimately, forced the vessels to leave the berth in an emergency. Emergency conditions in a port request special precaution measures taken by ships when in the majority of cases they necessitate leaving port waters in the shortest time. The facility is exposed to lake winds and wind driven waves. This is a potential problem to vessels with wave action causing movement at the berth and for contact to occur with the dock. Adverse conditions can develop very quickly, mainly due to easterly weather. Masters should closely monitor the weather and marine weather forecasts and maintain a state of readiness to permit evacuation of the berth at full power at short notice. Surface currents generally move counter clockwise around Lake Ontario at an average rate of 0.1 knot. Surface current is however significantly affected by winds, especially from the east, and currents can reach in excess of 0.5 knots in sustained winds. During prevailing Westerly winds for a period of 24 hours or more, currents were reported to be excess of 1 knot and water level decreased by 30-40 cm. [5]. The berth is exposed to winds and lake wind wave action and this is quite prevalent in the east berths in easterly winds (Pic.1). Cable breaking and fender failure are frequently reported for the traditional moored ship at open berths. An effective mooring system is necessary to optimize the distribution of cable tension and reduce the impact force acting on the fender. Masters are advised that in adverse or impending adverse conditions, it may be advisable to evacuate the berth and sail to safer conditions in the open lake. When planning the berthing manoeuvre due consideration should be given to the advantage of being berthed bow out if an emergency evacuation is required Vessels will be required to evacuate the berth when easterly winds of 15 knots are developing,

Conclusions

Masters should be alert to the relatively exposed nature of the dock. Easterly winds can quickly give rise to wave action at the dock sufficient to cause vessels berthed there to move and make contact with the dock structure. Vessels will have to evacuate the berth to avoid contact damage at moderate easterly wind speeds i.e. 15 knots. The vessel's main engines, steering machinery and other equipment essential for manoeuvring shall be maintained in a state of readiness for vacating the berth under full engine power at short notice not exceeding 15 minutes [6]. Vessel's personnel must frequently monitor and carefully tend the vessels moorings to ensure that the vessel is safely secured having regard for the weather and current conditions. Watchkeepers should guard against "passing vessel effect" especially when the under keel clearance is low.

REFERENCES

1. Vytautas Paulauskas, Valdas Lukauskas, Birute Plačiene, Raimondas Barzdžiukas Ships leaving a port under emergency conditions Dept of Shipping, Klaipėda University, H. Manto g. 84, LT-92294 Klaipėda, Lithuania
<https://journals.vilniustech.lt/index.php/Transport/article/download/4951/4263/10730>
2. Heavy weather precautions https://shp-13383-s3.s3.eu-west-2.amazonaws.com/media/9516/8631/7291/Heavy-Weather-Precautions_080623.pdf
3. Robert J. Fischer, Edward P. Halibozek, David C. Walters Contingency Planning Emergency Response and Safety <https://www.sciencedirect.com/topics/social-sciences/contingency-planning>
4. Lessons learned: Tense mooring lines present a risk to life <https://safety4sea.com/lessons-learned-tense-mooring-lines-present-a-risk-to-life/>
5. Toward modeling emergency unmooring of manned and autonomous ships – A combined FRAM+HFACS-MA approach
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753524002662>
6. Petro-Canada Clarkson Marine Terminal- information to vessels
https://s29.q4cdn.com/769728925/files/doc_downloads/marine_manuals/2020/Clarkson-Marine-Terminal-English-2020-rev4.pdf

ОСОБЛИВІСТЬ РОЗСЛІДУВАННЯ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

Шемонаєв В.Ю.¹, к.ю.н., к.д.п., Сурінов І.Л.², к.т.н.¹Національний університет «Одеська Морська Академія», Україна²Nordic Hamburg, Германія

Вступ. Соціально-політичні процеси, що відбуваються в нашій країні з початку 90-х років минулого століття, внесли найсерйозніші зміни в усі сфери діяльності та життя нашої держави і суспільства. Відмова від державної монополії власності на засоби виробництва, на зовнішню торгівлю, в тому числі і в сфері транспорту, закріпленої в Конституції України, спричинило докорінну зміну законодавства нашої держави.

Приватизація державних морських пароплавств, рибодобувних підприємств призвели до втрати найкращого транспортного, рибодобувного та переробного флоту. У країні виникли сотні судноплавних компаній, які часто володіють одним судном. Відсутність державної підтримки та існуюча податкова система призвели до старіння флоту, з одного боку, з іншого - до виведення флоту українських судновласників під чужий прапор.

Водночас за останні 35 років значно підвищилися міжнародні вимоги та технічні стандарти до морських суден щодо забезпечення безпеки мореплавства та запобігання забрудненню навколишнього середовища. Під егідою Міжнародної морської організації (далі ІМО) було розроблено та прийнято значну кількість кодексів і правил перевезення різних видів вантажів (Міжнародний кодекс морського перевезення небезпечних вантажів, Кодекс безпечного перевезення навалювальних вантажів, Кодекс безпечного перевезення зерна тощо); технічних вимог до конструкції суден, судових машин і механізмів, засобів зв'язку та навігації. Все це вимагає від осіб, які керують морськими суднами та здійснюють їх експлуатацію, або експлуатацію окремих судових машин та обладнання, доброго знання цих правил і, в цілому, доброї професійної підготовки, що було закріплено в нормах Міжнародної конвенції з підготовки, дипломування моряків та несіння вахти (1978 р.) із поправками 1995 р. (далі ПДНВ 78/95).

Встановлення на судах сучасного навігаційного обладнання, що підвищує точність визначення місця судна до декількох метрів, радіолокаторів з автоматичними засобами радіолокаційної прокладки і можливістю вибору оптимального маневру для запобігання зіткнення, за задумом розробників і морських організацій, повинні були знизити аварійність світового флоту, незважаючи на постійне зростання його тоннажу і чисельності суден, але цього не сталося.

На думку фахівців, збереженню аварійності, незважаючи на значне зростання технічної оснащеності суден, сприяє радикальне зменшення чисельності їх екіпажів, що має головною метою судновласників скорочення експлуатаційних витрат. Як наслідок цього підходу зростають фізичні та психологічні навантаження на командний склад суден. В останні 15 років моряки і береговий персонал постійно повинні були освоювати нові правила і положення.

«Прийнята велика кількість змін до правил і постійно зростаючий рівень відповідальності моряків вже стали становити загрозу безпеці мореплавства через неможливість їх виконання, хоча вони приймалися для підвищення безпеки мореплавства».

Зростання навігаційної аварійності за період з 2020 по 2024 рік до 70% порівняно з 46% за п'ятирічний період з 2015 по 2020 рік прямо підтверджує існування цієї проблеми.

Актуальність теми. Міжнародна морська громадськість в даний час стурбована проблемою криміналізації моряків. Так, дослідження, проведені Балтійською та Міжнародною морською конференцією (БІМКО) за даними застосування кримінальних санкцій проти моряків, виявили 44 випадки за період з 2015 по 2020 рр. У 9 випадках з них моряки затримувалися до того, як їх визнавали винними у вчиненні протиправних дій.

Велике занепокоєння світової громадськості викликають саме ці 9 випадків, коли моряки затримувалися до того, як інцидент був доведений. У 28 випадках моряки затримувалися і піддавалися покаранню після того, як порушення були підтверджені. З 28 випадків 25 мали місце в США, по одному - на Мальті, у Франції та Сінгапурі 4. Наявність іноземного елемента визначає особливі вимоги до розслідування таких справ.

Особливістю розслідування морських транспортних пригод є, як правило, відсутність фізичних слідів руху транспортних засобів у просторі, що передують пригоді. Вони мають опосередкований вигляд і можуть бути збережені тільки за допомогою технічних засобів або в судових документах. Їх успішний пошук безпосередньо залежить від рівня теоретичної розробки методики розслідування, наявності в розпорядженні слідчого науково обґрунтованих рекомендацій для отримання необхідної слідчої інформації.

Особливе значення при розслідуванні злочинів проти безпеки руху та експлуатації морського транспорту має питання дослідження суб'єкта та суб'єктивної сторони злочину з огляду на те, що розвиток аварійної ситуації може лежати за межами його психофізіологічних можливостей.

Все вищевикладене обумовлює актуальність обраної теми.

Постановка завдання. Метою роботи є всебічне вивчення методики розслідування злочинів проти безпеки плавання та експлуатації морського транспорту, в першу чергу на початковому етапі розслідування, аналіз законодавчих норм і практики їх застосування, розробка пропозицій щодо подальшого вдосконалення теоретичних і практичних заходів щодо проведення невідкладних слідчих дій і попереднього розслідування.

Для досягнення зазначеної мети були визначені такі завдання:

1) проаналізувати норми чинного кримінального та кримінально-процесуального законодавства, визначити проблеми, що виникають під час розслідування та судового розгляду за даною категорією справ, і сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення законодавства, практиці його застосування, що мають на меті підвищити ефективність розкриття та розслідування злочинів проти безпеки плавання та експлуатації морського транспорту;

2) дослідити розвиток поглядів на поняття криміналістичної характеристики даного злочину, слідчих ситуацій та використання спеціальних знань при розслідуванні;

3) розробити методику проведення судової судноплавної експертизи з використанням повномасштабного тренажера ходового містка при розслідуванні злочинів проти безпеки плавання, пов'язаного зі зіткненням суден;

Зміст. Розглядаючи питання кримінально-правової характеристики порушення правил безпеки плавання та експлуатації морського транспорту, варто звернути увагу на правове регулювання безпеки плавання та експлуатації морського транспорту в історичному аспекті розвитку законодавчих актів, спрямованих на вирішення цієї проблеми.

Стаття 286 КК України стала своєрідним фіналом розвитку теоретичних досліджень транспортних злочинів на сучасному етапі і одночасно дала старт новим дослідженням у цьому питанні. Хоча щодо предмета морського транспорту пропонується розглядати «морський транспорт» через положення ст. 74 КТМУ. Аналізуючи ознаки об'єктивної сторони злочину за КК України, можна зробити висновок, що на морському транспорті діють як національні законодавчі та підзаконні акти, так і міжнародні конвенції та договори, причому останні в міжнародних перевезеннях займають домінуюче значення, що треба враховувати при розслідуванні морських транспортних пригод. Особливе значення при розслідуванні даної категорії справ має встановлення обов'язкової ознаки об'єктивної сторони — причинного зв'язку, який ускладнений рядом факторів, як правило, що діють одночасно. Наприклад, дії інших осіб, дія сил природи, приховані дефекти судна, неправомірні дії інших судноводіїв тощо.

Незважаючи на багаторічні дослідження, залишається відкритим для вивчення питання «необережної співпричини», коли злочинний результат досягається сукупними зусиллями декількох осіб, що діють з необережності. Теорія безпосередньої (найближчої) причини -

(улюблена теорія практичних працівників) дозволяє безкарно нехтувати правилами для одних осіб і покладати відповідальність за дії всіх на одну особу.

З суб'єктивної сторони порушення правил безпеки плавання та експлуатації морського транспорту стосовно насталих наслідків можливе тільки через необережність. При дослідженні ознак суб'єктивної сторони даних злочинів обов'язково повинен бути вивчений мотив. Неможливо погодитися з рядом авторів, які заперечують наявність і кримінально-правове значення мотиву в необережному злочині. Ст. 272 Кримінального кодексу України, де присутнє словосполучення «...в силу виконуваної роботи...», дозволило, наприклад, в якості суб'єкта цього злочину розглядати будь-яких громадян, які фактично виконують роботу з управління або експлуатації відповідних видів транспортних засобів.

На підставі дослідження можна дійти висновку, що на сучасному етапі до ознак суб'єкта злочину можна віднести:

а) особа повинна виконувати роботу або обіймати посаду, пов'язану із забезпеченням заходів безпеки плавання або експлуатації судна;

б) особа повинна мати спеціальне право виконувати роботу або займати посаду, пов'язану із забезпеченням безпеки плавання або експлуатації судна, підтверджену дипломом, кваліфікаційним свідоцтвом, посвідченням судноводія маломірного судна;

в) бути придатним за станом здоров'я виконувати роботу або обіймати посаду, пов'язану із забезпеченням безпеки плавання або експлуатації судна; виконувати роботу або обіймати посаду, пов'язану із забезпеченням безпеки плавання або експлуатації судна;

г) бути безпосередньо пов'язаним з його плаванням або експлуатацією;

д) досягти віку, необхідного для отримання відповідного диплома, кваліфікаційного свідоцтва або посвідчення.

За своєю природою криміналістична характеристика злочинів є інформаційною моделлю, що представляє опис властивостей і істотних ознак злочину, які знаходять відображення в реальній дійсності.

Структура криміналістичної характеристики морських транспортних злочинів обумовлена особливостями функціонування морського транспорту. Ці особливості зводяться до наступного.

По-перше, географічна сфера використання морського транспорту. Всі перевезення можна розділити на два види:

а) перевезення та буксирування в сполученні між морськими портами України, тобто каботаж;

б) міжнародні морські перевезення.

По-друге, правове регулювання перевезень залежить від їх виду.

По-третє, до суден, що здійснюють міжнародні перевезення, застосовуються спеціальні вимоги, встановлені різними міжнародними конвенціями та кодексами (СОЛАС-74, ПДНВ-78/95, МАРПОЛ-73, КГМ-66, МКУБ, МК ОСПС та ін.).

По-четверте, середовище руху морського транспортного засобу — судна.

Судно рухається по водній поверхні, яка не зберігає сліди траєкторії його руху. Стан водної поверхні, як у шляху руху судна, повністю залежить від кліматичної зони та погодних умов.

Розглядаючи особливості кожного елемента криміналістичної характеристики стосовно злочинів проти безпеки плавання та експлуатації морського транспорту, можна підкреслити наступне.

Спосіб вчинення транспортних злочинів полягає в нехтуванні або невиконанні встановлених правил. Залежно від виду порушених правил ці події можна розділити на такі групи:

а) події, пов'язані з порушенням правил безпеки

плавання судна, навігаційні події — зіткнення, навал, посадка на ґрунт);

б) події, пов'язані з порушенням правил експлуатації судна, експлуатаційні події — технічні, перевезення вантажів і пасажирів, пожежі та вибухи.

У диспозиції КК України неоднозначне тлумачення викликав термін «експлуатація». КК України не розкриває цього поняття. На підставі аналізу існуючих точок зору в науковій літературі, а також всього комплексу технологічних процесів, що визначають використання морського транспорту, можна зробити висновок, що критерієм поняття «експлуатація» будуть нормативні акти, що передбачають дію або бездіяльність особи щодо використання морського транспорту в цілому або судна і його механізмів - зокрема.

Спосіб вчинення злочину розуміється як сукупність об'єктивних і суб'єктивних факторів його дії або бездіяльності, що залишають різного роду характерні сліди, які дозволяють відтворити картину того, що сталося. Приєднуючись до висновку, що «цінність слідів - в їх інформації», оскільки більшість проблем у криміналістиці «зводиться до інформації про скоєний злочин», можна сказати, що більшість слідів у морських транспортних злочинах носять опосередкований характер. Одна частина слідової інформації міститься в судових документах, що реєструють рух судна, виконання судових операцій, роботу окремих механізмів тощо. Інша частина зберігається на електронних носіях інформації.

Для морських транспортних злочинів важливим елементом криміналістичної характеристики є обставини вчинення злочину. При описі місця вчинення злочину слід точно вказувати і географічне місцезнаходження судна. Поряд з часом, найважливішим елементом обставин є і гідрометеорологічна обстановка, що включає в себе:

- 1) температуру повітря;
- 2) температуру води;
- 3) напрямок і силу вітру;
- 4) атмосферний тиск;
- 5) стан хмарності;
- 6) опади, їх вид та інтенсивність;
- 7) видимість, у разі погіршення видимості - її причину (дим, туман, піщана буря, снігопад, зливи заряди тощо);
- 8) напрямок і висоту вітрових хвиль;
- 9) напрямок і висоту хвиль зби.

Іноді доводиться вказувати рідкісні, але небезпечні гідрометеоумови плавання, такі як обмерзання, хвилювання (безладне хвилювання моря), шквали (сильні і різкі пориви вітру). Гідрометеоумови визначають умови застосування правил МППСС-72. Частина цих правил застосовується за будь-яких умов плавання, інша — тільки під час плавання суден на виду одне від одного, третя — під час плавання в умовах обмеженої видимості. Правильність застосування тих чи інших правил впливає на кваліфікацію дій особи, яка керує судном. Нарешті, гідрометеоумови можуть бути підставою для звільнення від кримінальної відповідальності взагалі — ураган, цунамі тощо. При описі обстановки необхідно вказувати на інтенсивність руху, тобто кількість суден, які спостерігає судноводій візуально або на екрані радіолокатора.

Обставини вчинення злочину включають в себе і опис судна: його технічний стан та пошкодження, які воно отримало. При зіткненні суден окремо має бути описаний стан технічних засобів судноплавства. У процесі керування судном відбувається безперервний прийом інформації судноводієм не тільки через зоровий і слуховий аналізатори, але й інформації, отриманої від технічних засобів. Причому спостереження за допомогою технічних засобів є не правом судноводія, а його обов'язком, встановленим правилом 5 МППСС-72.

Найважливішим елементом криміналістичної характеристики навігаційних транспортних злочинів є механізм його вчинення. Можна приєднатися до загальної думки, що під механізмом транспортного злочину слід розуміти взаємозв'язок і взаємодію керуючого суб'єкта з технічною системою, її інформаційним забезпеченням і ситуацією, що детермінують його поведінку і спричиняють порушення безпеки плавання.

Механізм даного виду транспортних злочинів розглянуто на прикладі зіткнення суден. Механізм зіткнення суден можна розділити на три етапи: екстремальний, аварійний, катастрофічний або кульмінаційний.

Як самостійний елемент механізму зіткнення виділяється аварійна ситуація або ситуація надмірного зближення. Аварійна ситуація — це небезпечне зближення суден у морі, коли діями одного судна уникнути зіткнення неможливо. Головну роль у розвитку цієї події відіграють дійові особи, які своєю дією або бездіяльністю визначають весь хід подій, що розгортаються. Аварійна ситуація може закінчитися зіткненням або, за умови правильних дій судноводіїв усіх суден, залучених до аварійної ситуації, нормальним розходженням.

Як елемент криміналістичної характеристики злочину, інтерес представляє особистість злочинця. При зборі інформації про особистість пропонується виявляти його професійну підготовку, стан здоров'я, психофізіологічний стан, при цьому керуючись положеннями Міжнародного Кодексу з розслідування аварій.

Певне значення при зіткненні суден, як елемент криміналістичної характеристики даного злочину, мають обставини і умови, що сприяють скоєнню злочину. До них відносяться наступні:

- технічні, тобто якість і працездатність навігаційних приладів судна, його маневрені характеристики;
- організаційні, тобто організація ходової вахти, укомплектованість судна кваліфікованим екіпажем;
- зовнішні, тобто дії судноводія іншого судна, рекомендації оператора СУДС та ін.

Висновки. Рух морського транспорту розглядається як функціонування антропотехнічної системи: «людина - судно - середовище», де під середовищем розуміється сукупність навігаційних (географічний район плавання, наявність навігаційних небезпек, навігаційне забезпечення, інтенсивність руху) і гідрометеорологічних факторів (напрямок і сила вітру, видимість, температура повітря і води, висота і напрямок хвиль, наявність льоду). Морський транспорт є системою, і в її управлінні задіяно значну кількість операторів. Безпека руху та експлуатації морського транспорту забезпечується як діями персоналу на борту судна, так і діями берегового персоналу. Порушення правил одним оператором може стати наслідком порушення правил іншим і призвести до пригоди, що і потрібно враховувати при проведенні розслідування.

Судно як транспортна одиниця здатне переміщатися в просторі, причому це переміщення є не тільки географічним, але й переміщенням у різних правових режимах морських просторів. Тому важливо приділити увагу вдосконаленню проведення невідкладних слідчих дій, особливо на борту судна, що знаходиться в далекому плаванні, і виконанню слідчих дій з урахуванням вихідних слідчих ситуацій та особливостей правового режиму різних водних просторів Світового океану.

Передумовами злочинів проти безпеки руху та експлуатації морського транспорту в деяких випадках є злочинні розпорядження та дії керівників юридичних осіб, які здійснюють підприємницьку діяльність у сфері морського транспорту, дії яких не перебувають безпосередньо в причинно-наслідковому зв'язку з насталими наслідками. Реальним інструментом боротьби з цим є включення норм кримінальної відповідальності юридичних осіб до кримінального законодавства України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс торговельного мореплавства України. Верховна Рада України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995.
2. The Hamburg Rules on the Carriage of Goods by Sea / Edited by Samir Man Kabadgy, A. W. Sijthoff. Leyden; Boston, 1978.
3. Griggs, P. Maritime Transportation Law Renewed Efforts at Uniformity // CMI News Letter. - 1999. - No. 3.
4. Manca, P. Міжнародне морське право // Європейське транспортне право. - Антверпен, 1970. 2-й том.

5. Mandeibaum, S. R. Міжнародне морське судноплавство та розподіл ризиків за втрату, пошкодження та затримку вантажу: підхід США до Cogsa // Журнал перехідного права та політики Університету штату Флорида. 1996. 5-1.
6. Кримінальний кодекс України від 05.04.2001 № 2341-III.

UDC 656.61.052.5 (045)

NAVIGATING IN HEAVY WEATHER

Balochkin Ihor, student of group 1491, **Syemitko Volodymyr**, senior lecturer

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Abstract. Navigating in heavy weather conditions is one of the most demanding challenges mariners face. The ship would roll, pitch, yaw, sway, surge and heave. This movement in six degrees of freedom would pose dangers of several kinds – structural stresses, rolling of the ship resulting in a shift of cargo, a shift of equipment, injury to persons, damage to property, etc. Proper preparation and response to severe conditions are essential for the safety of all personnel and the vessel's seaworthiness.

Keywords: heavy weather, risk to the safety of the ship, damage to equipment, forecast, weather routing

The impact of heavy weather on a vessel is multifaceted, affecting its stability, structural integrity, and the safety of the crew and cargo [1]. Heavy weather encompasses a range of hazardous meteorological conditions, including strong winds, high seas, tropical cyclones, and significant wave heights. These conditions can arise from various phenomena such as hurricanes, typhoons, and extra-tropical cyclones. Vessels may experience violent motions such as pitching, rolling, and heaving, which can lead to structural stress, cargo shifting, and equipment damage. The dangers are not uniform across all vessels; container ships, heavy lift vessels, and Ro-Ro vessels are particularly susceptible to cargo damage in rough seas. Therefore, a thorough understanding of weather patterns and their potential impact is the cornerstone of safe navigation. The best prevention against heavy weather casualties is to plan the route properly; meticulous preparation is non-negotiable and can be the deciding factor between a safe passage and a catastrophic event. Before departure, it is imperative to obtain and analyze all available weather data and forecasts. This includes activating weather routing services for continuous updates. The planned route should be optimized to avoid the worst of the anticipated weather systems; with alternative passages considered. A comprehensive inspection of the vessel is crucial. All watertight doors, hatches, and other openings must be securely closed. Loose gear and equipment on deck and throughout the vessel, particularly in the engine room and galley, must be properly stowed and secured. It is also vital to ensure the vessel has adequate freeboard and stability for the expected conditions. The readiness of all critical systems is paramount. Propulsion and steering systems should be thoroughly checked and ready for immediate maneuverability. Navigation and communication equipment, including emergency systems, must be in good working order. In anticipation of severe conditions, it is prudent to consider operating engines in maneuvering mode for better speed control. The entire crew must be briefed on the impending weather, the planned course of action, and their respective duties. Conducting emergency drills can help familiarize the crew with protocols and enhance their readiness. Rest is also a critical factor, as fatigue can significantly impair judgment and reaction times. Once a vessel encounters heavy weather, skillful handling is essential to mitigate its effects and ensure the safety of the vessel and its crew. The primary goals are to maintain control, reduce stress on the hull, and prevent dangerous situations like broaching or capsizing. Speed and Course Adjustment: The single most important action is to reduce speed. Slowing down minimizes the impact of waves and provides more time to react to changing conditions. The vessel's course should be adjusted to take the waves

at an angle, typically around 45 degrees, rather than directly head-on or from the beam. This "tacking" maneuver helps the vessel ride over the waves more comfortably and reduces the risk of being overwhelmed. In extreme conditions, "heaving to" can be a life-saving maneuver. This involves positioning the vessel with the bow into or slightly off the wind and waves, using just enough power to maintain steerage. This minimizes the vessel's forward motion and allows it to ride out the storm in a more stable orientation [2].

Navigating Different Sea States: The direction from which the seas are approaching dictates the appropriate handling technique.

- **Head Seas:** While it may seem intuitive to head directly into the waves, this can lead to slamming and shipping of green water. Adjusting the course slightly to take the waves on the bow is often preferable.
- **Following Seas:** Running with the seas directly astern can be dangerous, as it increases the risk of broaching, where the vessel is turned broadside to the waves. It's crucial to keep the stern perpendicular to the oncoming seas and be prepared for the propeller and rudder to come out of the water as the vessel rides down the face of a wave.
- **Beam Seas:** Taking large waves directly on the beam is the most dangerous situation, as it can lead to extreme rolling and capsizing. If a beam sea is unavoidable, it may be necessary to alter course in a zigzag pattern, alternately taking the sea on the bow and then the quarter [3].
- **Parametric Rolling:** This is a dangerous phenomenon that can occur in certain sea conditions, particularly with container ships, where the vessel experiences a rapid and severe rolling motion. If parametric rolling occurs, immediate action must be taken, which may include altering course and speed.
- **Steering and Automation:** Reliance on automatic steering systems in heavy weather can be dangerous, as it limits the ability to make rapid course adjustments. Manual steering is often necessary to maintain control.

Several specific phenomena associated with heavy weather require particular attention and preparedness.

- **Propeller Racing:** When the stern of the vessel lifts out of the water in heavy seas, the propeller can "race," leading to vibrations and potential damage to the engine and shafting. Maintaining a deep stern draft can help mitigate this.
- **Slamming:** This occurs when the bow of the vessel comes down hard on the water after riding over a wave, causing severe stress to the hull structure.
- **Shipping Seas:** Large waves breaking over the deck can damage machinery, cargo, and hatches, leading to water ingress.
- **Rogue Waves:** These are exceptionally large and unpredictable waves that can pose a significant threat to even the largest vessels [4].

Once the vessel has cleared the heavy weather, a thorough assessment is necessary to identify any damage and ensure the continued safety of the vessel.

- **Damage Assessment:** A comprehensive inspection of the hull, deck, and all equipment should be conducted to check for any structural damage, loose gear, or other issues. All compartments should be sounded to check for any water ingress.
- **Reporting and Documentation:** Any damage or incidents that occurred during the heavy weather should be thoroughly documented and reported to the relevant authorities and the company.

The physical and mental well-being of the crew should be assessed. Fatigue and stress are common after navigating through severe conditions [5].

Conclusions

Navigating in heavy weather is a complex and demanding task that requires a combination of foresight, preparation, and expert seamanship. Ideally, the vessel should be readied for heavy weather in advance of that weather, but unforeseen situations can and do arise that might require action by the crew to prevent serious damage to the vessel and vessel systems, prevent major damage to cargo, or prevent large pollution incidents. With the correct preparation and procedures, the vessel

can minimize the effects of sailing through heavy weather. The best preventive measure any vessel can take against heavy weather damage is to slow down and to alter to a more favourable course.

REFERENCES

1. How to handle a vessel in rough seas <https://safety4sea.com/how-to-handle-a-vessel-in-rough-seas/>
2. Bridge Procedures: Actions to be taken for ship navigation under heavy weather <https://safety4sea.com/cm-actions-taken-ship-navigation-heavy-weather/>
3. Heavy Weather Ship Safety Checklist: Guide for Mariners <https://www.marinepublic.com/blogs/training/375826-heavy-weather-ship-safety-checklist-guide-for-mariners>
4. Heavy Weather Navigation <https://www.seably.com/courses/heavy-weather-navigation/lessons>
5. Marine Operations Heavy Weather Navigation <https://issuu.com/marinetrust/docs/w76/s/12887568>

УДК 004.8:621.39

SAFETY ON OIL TANKERS

Balochkin Ihor, cadet, group1491

National University "Odesa Maritime Academy"

1. What Can Go Wrong During Cargo Operations and How to Respond

Cargo operations on a tanker represent the most critical and potentially hazardous phase of a voyage. The vessel is at its most vulnerable when connected to a terminal, with its cargo systems open and operating under high pressure and at immense transfer rates. In addition to the general causes of accidents, there are a number of specific, catastrophic scenarios that can unfold if procedures are not followed correctly or if equipment fails unexpectedly. The causes of spills are diverse and typically fall into three categories: human error, including mistakes with isolating valves and loss of vigilance; technical failure, such as a ruptured hose or automation malfunction; and, less commonly, structural damage. The consequences of any spill are multi-layered, ranging from an environmental disaster to colossal economic damage and a direct threat to safety due to the risk of fire and explosion.

However, beyond a simple spill, failure to adhere to procedures can lead to events of a much more destructive scale. One of the most terrifying scenarios is a tank explosion during discharge. If the inert gas system (IGS) is faulty or used incorrectly, air is drawn into the tank as the cargo level drops. This air mixes with hydrocarbon vapors, forming an explosive mixture within the tank that can be thousands of cubic meters in volume. A single spark—from static electricity or pyrophoric deposits on the tank walls that can self-ignite in air—is enough to cause an explosion capable of destroying the entire vessel. To prevent this devastating scenario, the key countermeasure is the flawless operation of the IGS, which supplies gas with an oxygen content of less than 5% and maintains constant positive pressure. This is supplemented by continuous monitoring of the gas pressure and composition, as well as strict adherence to checklists.

Another extremely dangerous scenario is the sudden failure of the hydraulic system, which controls most of the cargo valves. A ruptured main hose or a power pack failure can lead to a complete loss of control over the cargo lines. Valves can become stuck in the open position, which, in the event of a pressure surge from the shore or another malfunction, will lead to an uncontrolled release of cargo onto the deck or even overboard. Countermeasures here include strict planned maintenance of the hydraulic system, crew training in emergency manual valve closure procedures, and the availability of backup systems. Closely related to this is the risk of a pressure surge, which occurs when a valve is closed too quickly in a line with a fast-moving liquid. The resulting high-pressure

wave is capable of rupturing even the strongest hoses and pipelines. This can only be prevented by training personnel to operate valves smoothly and by ensuring clear coordination with the terminal.

Despite all preventive measures, in the event that a spill does occur, there is a clear and well-rehearsed plan of action on board—the Shipboard Oil Pollution Emergency Plan (SOPEP). Upon detecting a spill, any crew member immediately sounds the alarm, and the officer on watch activates the Emergency Shutdown (ESD) system, which instantly stops all cargo operations. Immediately thereafter, emergency teams, under the direction of the captain and the chief officer, assess the scale of the threat and begin the primary task—containment. This is achieved by immediately sealing the deck scuppers (drainage holes) and creating barriers of sorbents around the spill. The crew, using personal protective equipment and non-sparking tools, then begins to collect the oil and contaminated materials for their subsequent safe disposal. In parallel with these actions, the captain is required to immediately inform the Designated Person Ashore (DPA) of the company and the port authorities of the incident, carefully documenting all steps taken.

2. Safe Conduct of COW, Entry into Cargo Tanks and Enclosed Spaces, and Inerting

The complex of operations, including Crude Oil Washing (COW), entry into enclosed spaces, and the inerting of cargo tanks, forms the foundation of operational safety on a tanker. These processes are inextricably linked and require scrupulous adherence to international regulations (SOLAS, MARPOL) and industry standards, such as ISGOTT. Each of these actions is associated with a high risk of explosions, fires, poisoning, or asphyxiation (suffocation), so their execution is regulated by the strictest rules and multi-level control systems.

Crude Oil Washing (COW) is a highly effective method for cleaning cargo tanks of viscous hydrocarbon residues (paraffins, asphaltenes) using the cargo itself as the cleaning agent. Crude oil, heated to a specific temperature, is supplied at high pressure through fixed washing machines strategically located inside the tank. This process not only significantly reduces the loss of valuable cargo but also improves discharge efficiency and minimizes the amount of oil-containing waste to be disposed of. However, the physics of the process creates a serious threat: the spraying of oil at high pressure generates an aerosol with a high electrostatic charge. This charge can accumulate and discharge in the form of a powerful spark, sufficient to ignite hydrocarbon vapors. To completely eliminate this risk, absolutely all COW operations, without exception, must be carried out exclusively in an inert atmosphere. This means that the inert gas system (IGS) must be fully operational and functioning, maintaining an oxygen content in the tanks strictly below 8% by volume, and in practice, below 5%. Before starting the washing, the responsible person (the chief officer) is obliged to complete a detailed checklist, confirming the serviceability of the IGS, the oxygen level measurements, the tightness of the tank, and the reliable grounding of all equipment.

Entry into enclosed spaces is, statistically, one of the most frequent causes of death for seafarers on board ships. Such spaces include not only cargo and ballast tanks, but also cofferdams, pump rooms, compressor rooms, chain lockers, and any other помещения with limited access and insufficient natural ventilation. The main danger lies in the invisible but deadly atmosphere. The main risks are: 1) Oxygen deficiency, which can be displaced by other gases or absorbed during corrosion; 2) The presence of flammable vapors, creating an explosive environment; 3) The presence of toxic gases, such as hydrogen sulfide (H₂S), which paralyzes the sense of smell and kills at high concentrations, or carbon monoxide (CO). The entry procedure is strictly regulated by the Permit to Work System. It begins with the complete isolation of the space—the mechanical installation of blanks on all pipelines, not just the closing of valves. This is followed by forced ventilation (gas freeing) to displace dangerous gases and saturate the space with air. A critically important stage is the multi-level analysis of the atmosphere using calibrated multi-gas analyzers. Measurements must be taken at different heights (bottom, middle, top), as different gases have different densities. The following parameters are considered safe: oxygen (O₂) - 21%, hydrocarbons - less than 1% of the Lower Explosive Limit (LEL), toxic gases (H₂S, CO) - 0 ppm. During the entire period of work, a standby person with means of communication and ready rescue equipment must be present at the entrance, who under no circumstances should enter the space himself to rescue a victim without assistance and special training.

The inerting of cargo tanks is a fundamental safety requirement aimed at preventing explosions. The main purpose of the inert gas system (IGS) is to replace the atmosphere in the tanks, which consists of air (21% oxygen), with an inert gas (a mixture of nitrogen and CO₂ with an oxygen content of less than 5%), thereby making it non-explosive. The inert gas is produced by cleaning and cooling the flue gases from the ship's boilers in a special unit—the scrubber. The system is also equipped with a deck water seal, which is a crucial barrier that prevents the backflow of hydrocarbon vapors from the deck to the engine room. The main processes of the IGS are: Inerting—filling the tank with inert gas before loading; Topping up—maintaining a slight positive pressure in the tanks throughout the voyage to prevent air from entering; Purging—displacing hydrocarbon vapors from the tank with inert gas before gas freeing, in order to safely pass through the explosive range of concentrations; and Gas Freeing—the final displacement of the inert gas with fresh air to make the tank breathable before people enter. Thus, these three processes form a single safety system: the IGS creates the conditions for the safe conduct of COW, and to enter the tank, it is necessary to sequentially carry out gas freeing, which is the reverse process of inerting. The reliable operation of the IGS and strict adherence to entry procedures are an absolute priority on board any tanker.

3. Maintaining Optimal Cargo Temperature

Controlling the temperature of the cargo being transported on a tanker is a vital aspect that directly affects both the economic efficiency of the voyage (preservation of cargo quality) and the safety of the crew and the vessel. For each type of oil product or chemical cargo, there is a strictly defined temperature regime based on its physico-chemical properties, and its observance is mandatory at all stages of transportation and handling.

Failure to comply with temperature requirements can lead to serious, and sometimes catastrophic, problems. For viscous hydrocarbons, such as fuel oil, bitumen, or certain grades of heavy crude oil, a decrease in temperature below the Pour Point will lead to their solidification. This will make discharge impossible without a lengthy and expensive heating process in port, which will result in delays and schedule disruptions. On the other hand, for volatile cargoes (for example, light grades of oil, gas condensate), excessive heating or even exposure to direct sunlight on the deck can cause intensive evaporation. This leads to a sharp increase in vapor pressure in the tanks, which causes the pressure/vacuum valves (P/V valves) to activate, releasing valuable cargo fractions into the atmosphere. This is not only a direct economic loss but also the creation of an explosive atmosphere on deck. For chemical cargoes, temperature control is even more critical: overheating of some monomers (for example, styrene) can trigger an uncontrolled chain reaction of polymerization, which releases a huge amount of heat and can lead to the destruction of the tank. Other chemicals may crystallize upon cooling or degrade upon heating.

To control the temperature on most tankers, stationary heating systems are used, usually consisting of stainless or mild steel coils located at the bottom of the cargo tanks, through which low-pressure steam from the ship's boiler circulates. The crew, in the person of the responsible officers, is obliged to regularly, several times a day, measure the cargo temperature using portable electronic thermometers at different levels (bottom, middle, top of the tank), as the cargo may have temperature stratification. This data is carefully recorded in the cargo log. The heating process is not just turning on the steam, but a fine adjustment of its supply to smoothly maintain the temperature in a narrow, predetermined range. For each specific cargo, there are mandatory instructions from the shipper (Shipper's Instructions) and a Safety Data Sheet (SDS/MSDS), which clearly define the minimum and maximum transportation temperature. Any deviation from these instructions is a violation of both the contract of carriage and fundamental safety rules.

4. MSDS (Material Safety Data Sheet)

The Material Safety Data Sheet (MSDS), now more commonly known as the Safety Data Sheet (SDS), is an indispensable document and the primary source of information about the potential hazards associated with the transportation and handling of a specific cargo. The presence of an SDS on board for each chemical or oil product cargo is, according to international regulations, mandatory and vitally important for the safe operation of a tanker.

The SDS contains comprehensive information organized into 16 standardized sections, which ensures quick access to the necessary data in critical situations. Key sections include: product identification, hazard identification, first aid measures, firefighting measures, accidental release measures, handling and storage rules, and necessary personal protective equipment (PPE). The SDS plays a crucial role in the risk assessment process: before the start of cargo operations, the entire crew, especially those responsible for the cargo, must study the SDS.

LITERATURE

1. Міжнародний посібник з безпеки для нафтових танкерів та терміналів (ISGOTT)
2. 6th Edition SOLAS (2024)
3. FSS Code 2007 Ed
4. Life-Saving Appliances including LSA Code (2023 Edition)
5. Crude Oil Washing Systems 2000 Edition
6. 30 Ways to Make Cargo Operation on Oil Tankers Safer
<https://www.marineinsight.com/marine-safety/30-ways-to-make-cargo-handling-operation-on-oil-tankers-safer/>
7. Hazards on Tankers: Flammability, Toxicity, and Safety Risks
<https://www.marinepublic.com/blogs/oil-and-gas/335194-hazards-on-tankers-flammability-toxicity-and-safety-risks>
8. Safety First: Comprehensive Guidelines for Tanker-Related Hazards
<https://www.linkedin.com/pulse/safety-first-comprehensive-guidelines-tanker-related-hazards-1f0ff/>
9. The current state of safety onboard oil tankers
<https://www.proquest.com/docview/2354433758/B7DB85F0C7114878PQ/2?sourcetype=Scholarly%20Journals>
10. Implementation of International Safety Guide for Oil Tankers
https://www.academia.edu/35052397/IMPLEMENTATION_OF_INTERNATIONAL_SAFETY_GUIDE_FOR_OIL_TANKERS_ISGOTT_American_Bureau_of_Shipping_Incorporated_by_Act_of_Legislature_of_the_State_of_New_York_1862
11. Oil tankers safety: legal aspects
https://www.researchgate.net/publication/40878592_Oil_tankers_safety_legal_aspects

UDC 656.61.052.54(045)(160.26)-022.326. 5

SHIP HANDLING IN ICE CONDITIONS: POLAR CODE COMPLIANCE, WATCHKEEPING AND EMERGENCY RESPONSE

Koval Ivan, student of group 1491, **Syemitko Volodymyr**, senior lecturer

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Abstract. Ice navigation is a specialized area of maritime operations that demands specific knowledge, equipment, and a high level of caution. The presence of sea ice, icebergs, and extreme cold weather conditions poses significant hazards to the safety of navigation and the marine environment. Simultaneously with a decreasing sea, ice cover in the Arctic region an increase in ship traffic is experienced in these waters, meaning a higher probability of accidents and incidents to occur. The implementation of the Polar Code has established a mandatory international framework to mitigate these risks. Further, the implementation of the Polar Code is considered as a milestone by establishing an international regulation, mandatory for polar water ship design and for voyage

planning. The management of control mechanisms and constraints enforcing the Polar Code is of essence.

Key words: Arctic ship operations; regulatory governance; risk management.

Operating vessels in polar waters presents unique challenges that go beyond technical and environmental factors. The mental and physical demands placed on the crew are intensified by the harsh conditions, isolation, and extended periods of darkness. Comprehensive training is essential for crews operating in Polar Regions. The Polar Code, established by the International Maritime Organization (IMO), outlines mandatory training requirements to enhance safety and environmental protection in polar waters. Operations in ice-prone regions necessarily require considerable advanced planning and many more precautionary measures than those taken prior to a typical open ocean voyage. The preparation of a vessel for polar operations is of extreme importance and the considerable experience gained from previous operations should be drawn upon to bring the ship to optimum operating condition [1].

The International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code) is mandatory under the SOLAS and MARPOL conventions. Its goal is to ensure safe ship operation and environmental protection in the harsh polar waters. A central element of the Code is the categorization of ships based on their ice-strengthening and operational capabilities:

- Category A: Ships designed for operation in polar waters in at least medium first-year ice.
- Category B: Ships designed for operation in polar waters in at least thin first-year ice.
- Category C: Ships designed to operate in open water or in ice conditions less severe than Categories A and B.

The Code implements strict provisions for ship design, construction, equipment, operational training, and a Polar Water Operational Manual (PWOM). Ships which comply with the requirements in the regulation are issued a Polar Ship Certificate on behalf of IMO (Pic.1). The certificate shall specify vessel type, ice class, and polar service temperature, maximum expected time of rescue, vessel restrictions and operational limitations for ice conditions, temperature and high latitudes. The mental and physical demands placed on the crew are intensified by the harsh conditions, isolation, and extended periods of darkness. Comprehensive training is essential for crews operating in Polar Regions. While operating in polar waters, masters, chief mates and officers in charge of a navigational watch shall be qualified in accordance with chapter V of the STCW Convention [2]. The Polar Code, established by the International Maritime Organization (IMO), outlines mandatory training requirements to enhance safety and environmental protection in polar waters. Operations in ice-prone regions necessarily require considerable advanced planning and many more precautionary measures than those taken prior to a typical open ocean voyage. Ice can damage the hull of the ship, impact stability, and create challenging conditions for navigation. Knowing how to handle these challenges is crucial for safe and efficient operations in cold regions. Navigating through ice-covered waters requires a profound understanding of the environmental factors that influence ice behavior. These factors include tidal forces, ocean currents, wind patterns, seasonal variations, and the overarching impacts of climate change [3]. The ship's passage planning should adhere to IMO Resolution. The presence of sea ice along the planned route emphasises the importance of traditional passage planning, requiring continuous review throughout the voyage. Ice is of direct concern to the navigator because it restricts and sometimes controls vessel movements; it affects dead reckoning by forcing frequent changes of course and speed; it affects piloting by altering the appearance or obliterating the features of landmarks. Navigating in ice requires enhanced vigilance and a modified approach to watchkeeping, both by day and by night. When operating vessels in icy conditions, it's essential to have well-defined procedures and pre-cautions. The propulsion plant and steering gear of any ship intending to operate in ice must be reliable and capable responding fast to manoeuvring orders. The navigational and communications equipment must be equally reliable and particular attention should be paid to maintaining radar at peak performance. Light and partly loaded ships should be ballasted as deeply as possible, but excessive stern trim is not recommended, since it affects manoeuvrability. Suction strainers should be able to be easily dismantled and cleared of ice and snow. Good searchlights should be available in the event of night navigation with or without icebreaker escort [4].

A radar can be useful in detecting ice, but the returning signal that bounces off ice (even icebergs) is very faint, much lower than from ships. Conventional marine radars are designed for target detection and avoidance. Enhanced marine radars provide a higher definition image of the ice that the vessel is transmitting and will result in a much clearer image. Ice Navigator is a type of radar-based system designed for detecting and analyzing ice conditions at sea. It is not a single product but a system type that enhances a ship's ability to navigate safely by identifying open water, ice fields, leads, and ridges, and can even be integrated with existing marine radar systems [6].



Pic. 1. Cargo vessel navigating in ice

The crew needs to receive up to date weather information, including details on the extent of ice development in the area. Subsequently, the crew should be capable of analysing the information to then comprehend the progression of the ice development and assess how current weather conditions might influence it. SOLAS requires the Master of every ship, when ice is reported on or near his track, to proceed at a moderate speed at night or to alter course to pass well clear of the danger zone. Master is also required to make necessary reports.

The first principle of successful ice navigation is to maintain freedom of manoeuvre. Once a ship becomes trapped, she drifts along with the ice. Ice navigation requires great patience and can be a tiring business with or without icebreaker escort. The long way round a difficult ice area, whose limits are known is often the fastest and safest way to port - or the open sea [7]. Experience has proven that in ice concentrations, three basic ship-handling rules apply:

- Keep moving - even very slowly, but keep moving,
- Try to work with the ice movement and not against it,
- Excessive speed means ice damage

The psychological well-being of the crew is paramount in maintaining operational effectiveness. Challenges such as isolation, limited social interaction, and prolonged periods without resupply can lead to Stress and Anxiety. The confined and isolated nature of polar operations can exacerbate feelings of stress and anxiety among crewmembers. The need to make critical decisions in high-stress situations requires mental resilience and effective communication among the crew. Maintaining strong interpersonal relationships and a supportive team environment is essential for morale and effective collaboration [8]. It is recommended that, because of the hazards of navigating in ice-covered waters, lookouts should be increased when in or near an area of ice. Navigation in ice can be very strenuous and Mariners should be careful not to overextend themselves, even if it means doubling the Officers of the Watch on the bridge or stopping the vessel at night to receive adequate rest. This applies not only for those on the bridge, but also for engine-room staff who may be called upon for long periods of manoeuvring, clearing suction, etc.

Conclusions

Ice navigation requires a lot from the entire maritime transport system. Safe ship handling in ice is complex due to dynamic environmental factors like ice type, concentration, and thickness,

which are influenced by weather conditions. Managing this requires careful planning, specific vessel capabilities, and adherence to regulations like the Polar Code. Key elements for safety include navigating at appropriate speeds, maintaining safe distances, especially during escort operations, and using specialized equipment and experienced personnel. Working in polar waters requires a well-trained crew capable of meeting the special demands of these extreme conditions. There is no substitute for the experience of a well-trained master and crew, supported by procedures and reliable equipment.

REFERENCES

1. International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code), 2017.
2. SOLAS Convention, Chapter V, Regulation 6 - Ice Monitoring.
3. Norvald Kjerstad (2011), Ice Navigation, Tapir Academic, ISBN 9788251927604
4. The Ice Navigation and Seamanship Handbook, Witherby Publishing Group
5. Preparing Ships for Navigation in Polar Waters and ice/
<https://www.marinepublic.com/blogs/training/695044-mastering-ice-navigation-safety-techniques-polar-survival>
6. Ice Navigation in Canadian Waters. Chapter 4: Navigation in ice covered waters Amended 2025, 6th revision, 7th edition. <https://www.marineinsight.com/marine-navigation/5-important-points-for-ice-navigation-of-ships>
7. Mastering Ice Navigation: Safety, Techniques, Polar Survival
<https://www.marinepublic.com/blogs/training/695044-mastering-ice-navigation-safety-techniques-polar-survival>
8. Safe Polar Navigation: Guidelines for Mariners in Ice Waters
<https://www.marinepublic.com/blogs/training/508110-safe-polar-navigation-guidelines-for-mariners-in-ice-waters>

UDC 656.61.052(045)-021.351-049.5

SAFETY OF NAVIGATION IN CONFINED WATERS

Kuzmin Vladyslav, student of group 1403, Syemitko Volodymyr, senior lecturer

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Abstract. The navigation of modern ships in confined waters is complicated by intensive navigation, with a much greater presence of navigation hazards and navigational obstacles that create the prerequisites for the occurrence of complex, non-standard and, sometimes, even emergencies. Well known in statistics, more than 80 % of all navigational accidents occur every year in confined waters and difficult for safe navigation waters, which confirms the great complexity and danger of navigation conditions in cramped and limited waters. The ship who is navigating in confined waters there is very little room for error. The risk is "intolerable" on many occasions. All available resources should be used and managed to minimize the risk.

Key words: navigation safety, navigation in confined waters, consideration of navigational hazards, and prevention of ship collisions at sea.

In recent years, despite the continuous training of crews, the various BRM courses, thorough procedures, accident studies, and other initiatives, it is apparent that accidents (collisions and groundings) in confined waters have not decreased either in frequency or in magnitude [2]. Ships in restricted and coastal waters face greater navigational risks compared to open waters due to hydrodynamic effects, limited maneuvering space, shallower depths, increased traffic, and potential for collisions [2].

Navigational safety is a dynamic and complex challenge influenced by a wide range of factors, including environmental conditions, human factors, equipment reliability, and geopolitical issues. Safe navigation requires careful speed adjustment, adherence to specific regulations, thorough risk assessments. Navigating along the coast requires a mix of traditional and modern skills.

What to consider during the preparation for coastal waters navigation

The passage plan should be prepared taking into account:

- the vessel's draught in relation with the available water depths
- the proximity to shallow water
- the probable effects of tides in the area
- the weather and the traffic density in the area
- the scale charts should be available, with the route plotted
- ECDIS system and Radars should be checked

During passage:

- The Bridge team should be manned and ready to maintain a proper and sharp look-out.
- Vessel's engines and manual steering should be ready for immediate use.
- All vessel is reporting and routing requirements should be understood and followed.[1]

Many accidents could have been avoided if the seafarers had not lost situational awareness. Situational awareness is of prime importance as it helps to dispel any doubts and encourages correct decision making before the advent of danger. Seafarers need to be aware of the manoeuvring characteristics of the ship both in laden and in ballast conditions). The limited water depth will change the pressure distribution around the vessel and lead to an increase in hydrodynamic forces. The maneuverability decreases which, amongst other things, manifests itself in a substantial increase in the turning circle of the vessel. They must also be in full knowledge of the characteristics and limitations of all electronic aids and duties during watch. One of the most vital safety aspects while navigating the vessel in confined waters is the officer's ability to accurately identify dangerous areas and include them in the passage plan. Such areas pose a risk to the vessel because of shallow nature, surface and subsurface obstructions or any other conditions that have the potential to compromise the safety of the vessel. Subsequently, the officers must be able to properly execute the voyage and stay well clear of such high-risk areas.



Pic. 1. Passage Planning in Confined Waters

Passage planning (Pic.1) must be meticulous and comprehensive and all parameters must be considered, including UKC, air draft, tide, currents, weather conditions, speed, and the peculiarities of the place. When planning passages through confined waters navigating officers should consider the possibility of laying off or plotting courses away from the shortest route. This may reduce the risk of having to take action in accordance with the COLREG to avoid other vessels converging on similar waypoints or following the same track. The Bridge Team's tasks must be clearly described and

contain actions to be taken in case of an emergency. Maintaining adequate Under Keel Clearance (UKC) is a fundamental part of ensuring the safety of a vessel during its voyage. Ship manoeuvrability is reducing considerably if the under keel clearance is decreasing below 50% of the ship's draft. Understanding the various factors that affect UKC, such as tide heights, water density, squat effects, and vessel handling characteristics, is crucial for safe navigation. By carefully planning and continuously monitoring UKC, the Master can ensure that the vessel remains in safe water throughout its journey. Safe speed must be enough – or correct – for the particular leg of the voyage [4]. Consideration should be given to the concentration of other ships in the area, the weather and currents, and to what extent the ship's manoeuvrability is affected. The ship's Master must also keep in mind the famous bank effect and vessels' interaction. Bridge team should at all times maintain a proper look-out by sight and hearing as well as by all available means appropriate in the prevailing circumstances and conditions, comprehensively collect the navigation situation of other vessels in the vicinity, so as to make a full appraisal of the situation and of the risk of collision. Navigating confined waters like ports or channels demands exceptional expertise. This is why many port states require local pilots to guide ships safely. The master-pilot relationship is crucial to managing maritime risks. The clear and open exchange of information between the ship's master and crew and the pilot is vital, both during the pilotage passage and before it even commences. This helps to ensure that all members of the bridge team have a shared mental model of the pilotage passage and, as a result, a good understanding of how it should proceed.

In pilotage waters, the pilot has the authority to navigate the ship, while the captain retains power over the crew. This creates a collaborative relationship, where both the pilot and master must reach consensus to ensure safe passage through confined waters [3]. Pilots and captains should always remember to operate cautiously, keep track of the ship traffic conditions in the restricted areas, including the dynamics of ships and anchorages, strengthen observation, and increase observation personnel when necessary, take full precautions, and minimize risks as much as possible. One of the most vital safety aspects while navigating the vessel in confined waters is the officer's ability to accurately identify dangerous areas and include them in the passage plan. Subsequently, the officers must be able to properly execute the voyage and stay well clear of such high-risk areas. The ability to carry out these tasks is paramount in ensuring the safety of the vessel and the crew.

Conclusion

Maritime safety is fundamental to the protection of human life, the environment, and third-party property. The safety of life, the vessel, and the environment takes precedence over all other considerations. Safety must always be a primary consideration, and caution and good seamanship practices must be observed when navigating in restricted waters. A thorough analysis of the navigational risks of vessels navigating in restricted waters can help select conditions (internal and/or external) that will ensure a maritime passage is efficient, safe, and consistent with the needs of the global maritime transportation system, including the selection of optimal safe speeds in shallow waters.

REFERENCES

1. Bridge Procedures: How to be prepared for coastal waters navigation <https://safety4sea.com/cm-how-to-be-prepared-for-coastal-waters-navigation/>
2. Safety of navigation in confined waters: a practical guide to avoid accidents <https://www.ukpandi.com/news-and-resources/safety-advice-training/article/articles/2021/safety-of-navigation-in-confined-waters-a-practical-guide-to-avoid-accidents/>
3. Ship Master and Pilot Relationship on the Bridge <https://www.marinepublic.com/blogs/port/795449-ship-master-and-pilot-relationship-on-the-bridge>
4. UKC: All About Under Keel Clearance and Safe Navigation <https://www.marinepublic.com/blogs/training/112250-ukc-all-about-under-keel-clearance-and-safe-navigation>

NAVIGATION IN RESTRICTED VISIBILITY

Mikhalets Dmytro, student of group 1491, **Syemitko Volodymyr**, senior lecturer

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Abstract. Restricted visibility remains one of the most critical navigational challenges in maritime operations. It is defined as any condition in which a mariner's ability to see and assess the surrounding environment is significantly reduced due to fog, mist, snow, heavy rain, sandstorms, smoke, or similar causes. Navigating in such circumstances requires strict compliance with the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs), especially Rule 19, combined with competent seamanship, effective use of technology, and thorough training of bridge personnel [1]. The bridge team should understand the manoeuvring characteristics of the vessel anticipate risks of restricted visibility within the passage plan and know about the use and limitation of technology for detecting risk of collision, perhaps consolidating their knowledge and experience by carrying out appropriate exercises [2].

Key words: restricted visibility, preventing collision at sea, procedures in restricted visibility, safety suggestions.

Restricted visibility is not merely an inconvenience it is a significant safety hazard that accounts for a large proportion of maritime accidents worldwide. The combination of environmental factors and human error creates dangerous conditions for collision and grounding. According to the International Maritime Organization (IMO), more than 50% of collisions in low-visibility conditions result from excessive speed and failure to apply COLREGs correctly [3]. Unlike night navigation, restricted visibility presents challenges that cannot be overcome by the human eye alone. Mariners must therefore rely on instruments, teamwork, and judgment to maintain situational awareness and ensure safe passage. Restricted visibility may result from:

- Fog and mist: The most common cause, often appearing in coastal or estuarine waters where warm air meets cold sea.
- Rain and snowfall: Reduce both visual range and radar effectiveness due to sea clutter.
- Sandstorms and smoke: Frequent in areas such as the Persian Gulf or regions with heavy industrial activity.
- Combination of meteorological factors: For example, heavy rainfall combined with dense fog creates nearly zero visibility conditions.

It is important to note that the COLREGs do not prescribe an exact distance at which visibility becomes "restricted." Instead, navigators must judge based on the ability to visually detect and assess other vessels or hazards [4]. The Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs), 1972 provides the legal basis for safe navigation.

Rule 5: Requires a proper lookout at all times, by sight, hearing, and all available means.

Rule 6: Requires proceeding at a safe speed appropriate to circumstances and conditions.

Rule 7: Requires the use of all available means (including radar and ARPA) to determine risk of collision.

Rule 19: Specifically applies to vessels not in sight of one another when navigating in or near restricted visibility.

Key elements of Rule 19:

- Every vessel must proceed at safe speed with engines ready for immediate maneuver.
- When another vessel is detected by radar alone, the mariner must determine if risk of collision exists.
- Alterations of course should be substantial, positive, and made in good time.
- Alterations to port should be avoided when another vessel is forward of the beam, unless overtaking.

- There are no “stand-on” or “give-way” vessels—all must take action to prevent close-quarters situations.

Bridge teams must follow standardized procedures when visibility deteriorates:

- Immediate notification: The Master must be informed without delay.
- Watch reinforcement: Additional officers, helmsmen, and lookouts are called to the bridge.
- Engine readiness: The engine room is alerted to prepare for rapid maneuvering.
- Speed adjustment: Reduction to “safe speed” or stopping if necessary.
- Manual steering: Autopilot is disengaged to allow for quicker response.
- Sound signals: Use of foghorns and bells in compliance with COLREGs.
- Navigation lights: Ensuring they are properly displayed and functioning.
- Checklists: Filling out the “Restricted Visibility Checklist” as part of the company’s SMS procedures.

Modern technology provides vital assistance during restricted visibility, but must be used correctly:

Radar and ARPA: Essential for target detection, CPA/TCPA calculation, and risk assessment.

AIS (Automatic Identification System): Provides vessel identity, course, and speed, but may not detect small craft or non-compliant vessels [5].

ECDIS (Electronic Chart Display and Information System): Enhances positional awareness, especially near coasts.

VDR (Voyage Data Recorder): Useful in post-incident investigations and training.

Weather forecasting systems: Provide early warnings about fog banks and visibility deterioration.

Over-reliance on electronic systems can be dangerous. Seamanship and judgment must remain central. Most maritime accidents in restricted visibility stem from human error rather than equipment failure [6]. Contributing factors include:

- Inadequate understanding of COLREGs by Officers of the Watch (OOWs).
- Poor Bridge Team Management (BTM) and lack of communication.
- Fatigue and stress, which reduce situational awareness.
- Failure to call the Master in time.

Training programs such as Bridge Resource Management (BRM) and simulator-based exercises are crucial for developing decision-making skills, coordination, and preparedness under pressure.

The continuing collision of ships shows that technical means alone cannot prevent accidents - common sense and adherence to procedures are crucial. Shipping companies should implement safety procedures through their Safety Management Systems (SMS) in accordance with the International Safety Management Code (ISM) [4, 7]. This includes:

- Providing restricted visibility checklists.
- Regular crew training and drills.
- Clear policies on safe speed and Master notification.
- Ensuring equipment maintenance and reliability.

Failure to comply can lead not only to collisions but also to legal and financial liabilities.

The future of navigation in restricted visibility may be shaped by:

- Autonomous and remotely operated ships: Promising reduced human error but introducing new risks.
- AI-assisted radar interpretation: Advanced software that predicts collision risk more accurately.
- Enhanced sensors: Infrared cameras and LIDAR to “see” through fog and darkness.
- Integrated bridge systems: Seamless data sharing between radar, AIS, ECDIS, and engine controls.

While technology will continue to evolve, the role of the human navigator will remain central in ensuring safe passage.

Conclusion

Restricted visibility is one of the most challenging and dangerous conditions in maritime navigation. It requires a combination of regulatory compliance, disciplined bridge procedures, effective use of technology, and highly trained crews. Historical accidents show that failures in

judgment, communication, and decision-making—not technological limitations—are the leading causes of collisions [8, 9]. Mariners must therefore remain vigilant, disciplined, and prepared, recognizing that safe navigation ultimately depends on seamanship, teamwork, and good judgment, supported but never replaced by technology.

REFERENCES

1. Cockcroft, A. N., & Lameijer, J. N. F. A Guide to the Collision Avoidance Rules. 7th ed. Routledge, 2011.
2. Bowditch, N. The American Practical Navigator. National Geospatial-Intelligence Agency, 2017.
3. Alderton, P. Reeds Sea Transport: Operation and Economics. 6th ed. Routledge, 2013.
4. International Maritime Organization (IMO). Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs), 1972 (as amended).
5. IMO. International Safety Management (ISM) Code. IMO Publications, 2018.
6. The Nautical Institute. Restricted Visibility – Best Practice Guidance. Nautical Institute, 2020.
7. Marine Public. “Navigation in Restricted Visibility – COLREGs Rule 19.” <https://www.marinepublic.com/blogs/training/304298-navigation-in-restricted-visibility-colregs-rule-19>
8. Nautical Institute. “Restricted Visibility – Updated Guidance.” <https://www.nautinst.org/resources-page/>
9. FasterCapital. “Restricted Visibility in Navigation.” <https://fastercapital.com/keyword/restricted-visibility.html>

UDC 656.61.052.4(045)(282,272,1)-049.5

NAVIGATING THE ST. LAWRENCE SEAWAY IN WINTER: CHALLENGES, STRATEGIES, AND SAFETY MEASURES

Nykytiuk Mykhailo, student of group 1491, Syemitko Volodymyr, senior lecturer

National University “Odessa Maritime Academy”, Ukraine

Abstract. Winter navigation of the St. Lawrence Seaway (Pic.1) presents significant challenges due to ice formation, freezing spray (Pic.2), and cold-weather impacts on ship systems. Ice navigation calls for special knowledge and precautions even in ice-strengthened ships. Cold weather poses several problems of its own. Winter climatic conditions encountered on the St. Lawrence waterway can bring many unusual problems for mariners having little or no experience in such conditions. However, recent technological advances provide information on the state of ice in Canadian waters and allow climate trends to be predicted for future winter navigation.

Key words: St. Lawrence Seaway, Ice navigation in Canadian waters, low temperatures, Icing of ships

The St. Lawrence Seaway is a critical waterway linking the Great Lakes to the Atlantic Ocean. While the Seaway portion (between Montréal and Lake Erie) is typically closed during winter, the river and estuarine stretches further downstream remain navigable during cold months with support. Navigating at low temperatures introduces unique hazards: ice accumulation on hulls and superstructures, frazil and slush ice, restricted visibility, mechanical problems in cold, and challenges in maneuvering among ice floes [1].



Pic.1. St. Lawrence Seaway on map

Hazards and Operational Difficulties in Winter Navigation

- Ice Formation and Effects:

Frazil ice clogs sea strainers and cooling systems, risking engine overheating. Pack ice exerts heavy pressure on hulls, causing stress and deformation. Brash ice damages propellers and rudders, while freezing spray forms ice on superstructures, raising the vessel's center of gravity and reducing stability.

-Mechanical and Structural Impacts:

Cold temperatures make steel brittle, lowering impact resistance. Machinery reliability drops as lubricants thicken, batteries weaken, and pipelines or valves freeze. Propeller and rudder damage from submerged ice is common.

-Operational Hazards:

Snow, fog, and long darkness reduce visibility and increase collision risk. Ice on antennas disrupts communication, while crew exposure to extreme cold raises fatigue and safety issues [2].

Regulatory Framework and Guidelines

Winter navigation in Canadian waters is governed by a combination of national authorities and specific operational guidelines:

- Pilotage Requirements:

The **Laurentian Pilotage Authority** defines official winter navigation periods and mandates the presence of **two qualified pilots** on board vessels operating in icy conditions to ensure safe maneuvering.

- Icebreaking and Operational Support:

The **Canadian Coast Guard** provides icebreaking services to maintain navigable channels, while **transport Canada** issues operational policies, safety advisories, and route restrictions during severe ice conditions. [3].

- Safety Standards and Compliance:

Vessels must adhere to the **"Ice Navigation in Canadian Waters"** guidelines and maintain all **essential equipment**, including ice-strengthened hulls, de-icing systems, and navigation aids, in accordance with **Transport Canada regulations**. Regular inspections and reporting ensure compliance and minimize operational risks.

Vessel Requirements, Equipment, and Operational Practices

To ensure safe and efficient winter navigation, vessels must be equipped with reliable navigation and detection systems, including dual radars, AIS interfaces, and ice monitoring tools. Bridge and deck safety is enhanced through bridge heating, anti-icing measures, and protection against frazil ice accumulation. Mechanical systems should be winterized and redundant, covering propulsion, cooling, and hydraulic components to maintain operational readiness even under extreme conditions [4]. Operational best practices are equally important. Speed should be carefully managed in icy waters to minimize hull stress, while close coordination between bridge teams and pilots ensures safe maneuvering. Proactive planning, guided by ice charts and weather forecasts, allows for optimized

routing, and continuous monitoring of superstructures, propellers, and sea chests helps prevent ice-related damage. Together, proper equipment and disciplined operational practices form the foundation of safe winter navigation [5].



Pic.2. Deck of the vessel with ice formations

Challenges, Limitations, and Future Directions

Winter navigation remains one of the most demanding aspects of maritime operations. Seasonal closures of locks and channels significantly restrict vessel movement, while ships not designed for icy waters face strict operational limits. Unpredictable weather and variable ice conditions further complicate navigation, increasing both risk and the need for constant vigilance. To meet these challenges, the industry is embracing innovations that enhance safety and efficiency. Real-time route planning and satellite-based ice forecasting allow crews to anticipate hazards and make informed decisions. Advances in hull materials and specialized coatings improve ice resistance, reducing structural stress and extending vessel longevity [6]. At the same time, predictive maintenance strategies and targeted crew training ensure that both machinery and personnel are prepared to operate safely under harsh winter conditions. Together, these developments are shaping a more resilient and reliable approach to winter maritime operations, helping vessels navigate the coldest and most unpredictable waters with greater confidence.

Conclusion

Navigating the St. Lawrence River in winter is possible, but it requires careful preparation, constant attention, and support from Canadian maritime authorities. Continued investment in research, new technologies, and ice management systems will help make winter shipping safer and more reliable, ensuring this important trade route can keep operating even in harsh conditions.

REFERENCES

1. Ice Navigation in Canadian Waters. Amended 2025, 6th revision, 7th edition <https://www.canada.ca/en.html>
2. Transport Canada. (2023). *Winter Navigation Information*. Retrieved from [https://shipfed.ca/wp-content/uploads/CircularLetters/11610-2023-12-04Winter Navigation Info- TC.pdf](https://shipfed.ca/wp-content/uploads/CircularLetters/11610-2023-12-04Winter%20Navigation%20Info-TC.pdf)
3. Canadian Coast Guard. (2022). *Ice Navigation in Canadian Waters*. Retrieved from <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/347665.pdf>
4. Canadian Coast Guard. (2025). *Chapter 1: Icebreaking and Shipping Support Services*. Retrieved from <https://www.ccg-gcc.gc.ca/publications/icebreaking-deglacage/ice-navigation-glaces/page02-eng.html>
5. Slack, B., Comtois, C., & De Champlain, P. (2023). *Responding to Navigation Challenges on the St. Lawrence River Corridor*. In *Maritime Transportation and Regional Sustainability* (pp. 221-240). Taylor & Francis.
6. Transport Canada. (2013). *Bulletin No.: 11/1992 - Ice Navigation in Canadian Waters*. Retrieved from <https://tc.canada.ca/en/marine-transportation/marine-safety/ship-safety-bulletins/bulletin-no-11-1992>

NAVIGATOR'S FATIGUE AS A CAUSE OF NAVIGATIONAL ACCIDENTS

Nykytiuk Mykhailo, student of group 1491, under supervision Matvyeyev M.D.

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Introduction. Fatigue is one of the biggest human factors affecting maritime safety. It is invisible, hard to measure, and often ignored, yet it influences alertness, reaction time, and decision-making as much as technical failures. In today's competitive shipping world, long hours, short rest, and constant administrative pressure make fatigue common. Many modern studies link tired crews to incidents at sea. The IMO addressed this through the STCW Convention and the Maritime Labour Convention (MLC), which set limits on work and rest. Still, these rules are often bypassed, so the real problem remains. This report looks at what fatigue does to navigators, why it happens, and what can be done to reduce it.

Physiology and Medical Aspects of Fatigue. Fatigue is the body's natural response to long periods of work or stress. At sea it comes from lack of sleep, long watches, noise, and constant mental alertness. It slows the central nervous system, weakens focus, and affects judgment. There are two main forms: physical fatigue, from long physical effort, and mental fatigue, from concentration, stress, or boredom. For navigators, both often appear together. Irregular watch schedules disturb the circadian rhythm, making proper rest almost impossible. Even one bad night's sleep can reduce alertness to the level of mild alcohol intoxication. Over time, this leads to chronic tiredness, poor concentration, and higher accident risk. Studies show fatigue lowers memory, awareness, and risk perception—critical skills for safe navigation.

Regulatory Framework: STCW and MLC. To reduce fatigue, international rules define minimum rest hours. The STCW Convention, strengthened by the 2010 Manila Amendments, requires at least 10 hours of rest in 24 hours and 77 hours in 7 days. Rest may be split into two parts, one at least 6 hours long, with no more than 14 hours between them. The MLC (2006, in force since 2013) adds similar standards to protect crew health. However, violations are common. On busy ships, navigators often work during port operations and then go straight to sea watches. The reality of tight schedules, paperwork, and small crews often clashes with the rules, making fatigue a daily issue.

Causes of Navigator Fatigue. Frequent port calls and short voyages limit rest opportunities. Commercial pressure pushes companies to keep fast turnarounds and heavy workloads. Undermanning means fewer people share more tasks. Irregular watch systems (like 6-on/6-off) break natural sleep cycles. Environmental factors—noise, vibration, poor air or light—lower sleep quality. Administrative duties and endless compliance reports add mental strain. Finally, isolation from family and social life creates psychological stress that amplifies fatigue and lowers motivation.

Impact on Navigation. Fatigue directly reduces a navigator's performance. Reaction times slow down, awareness fades, and judgment becomes poor. Micro-sleeps—seconds of involuntary sleep—can happen even when a person seems awake, which is dangerous during watchkeeping, maneuvers, or near ports. Fatigued officers may overlook alarms, make wrong decisions, or fail to react in time, turning minor issues into serious incidents.

Statistics on Fatigue-Related Accidents. According to the **European Maritime Safety Agency (EMSA, 2024)**, human factors play a role in over 80% of maritime accidents. The **UK Marine Accident Investigation Branch (MAIB, 2024)** and **U.S. Coast Guard (2024)** reports confirm that fatigue contributes to many collisions and groundings. Research shows that about 13% of accidents involving human error are directly linked to fatigue. One study found that by the end of long voyages, navigators showed much slower reactions and weaker memory compared to the start—clear signs of mental exhaustion and reduced alertness.

Examples of Fatigue-Related Accidents. Several recent cases highlight how fatigue leads to real danger:

- **Cindy B (USA, 2023):** Deckhand fell asleep at the helm; vessel struck a dock.
- **Fiordland Navigator (New Zealand, 2024):** Master grounded the ship after insufficient rest.
- **John 3:16 (USA, 2023):** Pilot with less than five hours of sleep in two days hit a pier.
- **Sustain (Scotland, 2023):** Skipper fell asleep; vessel ran aground.
- **Cathlamet (USA, 2022):** Ferry captain likely asleep; collision at terminal.
- **NCL Salten (Norway, 2025):** Officer on watch fell asleep; 135 m ship grounded near Trondheim.

These incidents show a clear pattern: long hours, poor rest, and lack of oversight lead to loss of control and accidents.

Consequences of Navigator Fatigue. Fatigue results in navigational mistakes, environmental damage, and huge financial losses. Accidents cause delays, repairs, and insurance claims. Beyond that, tired crews suffer mentally and physically—lower morale, stress, and long-term health problems all affect retention and safety culture on board.

Methods to Reduce Fatigue. The first step is real compliance with **STCW** and **MLC** rest-hour rules—not just on paper. Companies must ensure proper crewing levels so that officers can rest between duties. Watch rotations should respect circadian rhythms, avoiding back-to-back night shifts. Technology can help too: **BNWAS** systems detect inactivity, while wearable devices track sleep and alertness in real time. Training programs should teach seafarers and managers to recognize fatigue and report it without fear. Planning is also key. Voyage and port schedules must include time for recovery and realistic workloads. Fatigue management should be treated as part of the safety system, not just a health issue.

Future Perspectives. New technology can help reduce pressure on crews. Automation and AI systems can take over routine tasks, allowing more consistent rest. Wearable sensors and AI-based scheduling tools can predict fatigue levels and optimize watch plans. Global fatigue databases promoted by **IMO** and **ILO** since 2023 are starting to collect real-world data to identify risks and share best practices.

However, inspections must go beyond checking documents. Port State Control and Coast Guard officers should also look at the real condition of crews. Many ships show perfect rest records but have exhausted people onboard. Human-centered inspections could reveal problems earlier and encourage fairer, safer working systems at sea.

Conclusion. Navigator fatigue is one of the most serious and underestimated risks in shipping. Long working hours, poor rest, and commercial pressure reduce alertness and judgment, leading to accidents, losses, and harm to people and the environment. While **STCW** and **MLC** create strong legal foundations, enforcement and real culture change are still missing. To solve this, the industry must combine proper crewing, realistic schedules, better monitoring, modern technology, and honest awareness of human limits. The future lies in smarter systems that protect both efficiency and well-being. Only when companies, regulators, and crews work together can fatigue be managed effectively, keeping navigation safe and sustainable.

LITERATURE

1. STCW Convention, 1978 (Manila Amendments, 2010) – IMO
2. MLC, 2006 – ILO
3. EMSA Safety Reports, 2024
4. MAIB Annual Report, 2024
5. NTSB / USCG Accident Reports, 2024
6. USCG Recreational Boating Statistics, 2024
7. Dubrovskaja E.N., Kopytenkova O.I. (2024) – Psychophysiological Condition of Passenger Ship Navigators During the Navigation Period, ScienceDirect
8. BMC Public Health (2025) – Mental Health and Well-being of Seafarers
9. Bokau J.R.K., Park Y., Kim D. (2025) – Data-Driven Simulation of Navigator Stress, Applied Sciences (MDPI)

SAFETY MEASURES ON YACHTING FLEET

Sushkevych Oleksandr, cadet, group1491

*National University "Odesa Maritime Academy"
Educational and Scientific Institute Of Navigation*

1. What type of yachts will be discussed and small information about them.

A superyacht or megayacht is a large and luxurious pleasure vessel. There are no official or agreed upon definitions for such yachts but these terms are regularly used to describe professionally crewed motor or sailing yachts ranging from small 24 metres ones to more than 180 metres in length. Today, estimates suggest there are over 16,000 yachts exceeding 24 meters and 80% of them are motorized.

2. Information about fire protection systems. How they have been made more compact, how they are hidden to maintain a unified style, and how this has affected practical efficiency.

Nowadays, most of high standard superyachts use HI-FOG high-pressure water mist systems instead of water sprinklers (or other types of common fire extinguishing systems) which are commonly used on merchant fleet. In the early 1990s, the International Maritime Organization (IMO) set new fire safety requirements, and fixed fire protection systems became mandatory on all passenger ships. HI-FOG systems were invented at the same time as these new IMO fire safety requirements were set. HI-FOG high-pressure water mist systems use less water and have smaller pipes and they are just as efficient as traditional sprinkler systems. These systems underwent full-scale, extensive fire testing programs for marine applications at the Technical Research of Finland (VTT) in Finland and the Technical Research Institute of Sweden (SP) in Sweden. Over time, these tests formed the basis for most of the IMO fire testing protocols for water mist systems and are now used globally. Water mist consists of very small water droplets. The superior fire suppression capability of water mist is based on evaporation: when tiny water mist droplets turn into vapor, a great amount of energy is absorbed from the fire. This makes water mist an excellent choice for fire protection. Water mist fights in three ways. Each of these methods affects the three elements in the “fire triangle”, which consists of oxygen, heat, and fuel. The cooling effect of water mist takes place when the water mist droplets absorb the heat radiation from the fire. This prevents and reduces damage to people and property, wetting the fuel and the area around the fire is an effective way to suppress fires involving solid fuel, and it also prevents the fire from spreading to other areas, the oxygen displacement happens at the heart of the fire when the water mist droplets turn into vapor and take oxygen from the fire. Unlike traditional sprinklers or CO₂ flooding systems, HI-FOG uses small-bore piping, compact pumps, and discreet nozzles that can be color-matched to luxury interiors. This makes them ideal for yachts where owners demand invisible safety. They use up to 90% less water than sprinklers, which means far less collateral water damage to interiors, electronics, and luxury finishes. Unlike CO₂ flooding, water mist can be discharged in occupied spaces without suffocating crew or guests. It weights lighter, works on Class A (solids), Class B (liquids), and some electrical fires, so it's also used in engine room. All in all, this is more complex and expensive alternative which works great for a type of vessel such as superyacht.

3. SOLAS, ISM and SMS differences for yacht fleet.

Commercial yachts of over 500 GT: must comply with SOLAS requirements, but often through adapted codes such as the UK's Large Yacht Code (LY3) or the Passenger Yacht Code (PYC). These codes are recognized as providing “equivalent safety” under SOLAS. LY code has gone through several revisions: LY1 of 1997 covered a wide range of safety issues, including Structural strength and watertight integrity, Stability and life-saving equipment, Manning and crew certification, Passenger and crew accommodation. LY2, was published in August 2005. This update included new chapters to address obligations under the International Ship Management Code (ISM)

and the International Ship and Port Facility Security Code (ISPS), which were not in force when LY1 was introduced. By 2007, an additional annex was added to LY2, focusing on technical standards for helicopter landing areas. The introduction of the Maritime Labour Convention (MLC) 2006 posed a significant challenge for yacht designers and owners, particularly regarding crew accommodation standards. In response, the working group developed equivalent provisions for crew accommodation, distinguishing between yachts above and below 200 gross tons. These changes, along with numerous other improvements, were incorporated into LY3, published in August 2012. Notably, LY3 removed the 3,000 gross ton limit, allowing megayachts of any size to be coded as commercial yachts, provided they carried no more than 12 passengers. Private yachts on other hand generally exempt from SOLAS, unless they carry more than 12 passengers. They follow flag-state rules, which are usually lighter. ISM Code for yachts over 500 GT also applies in full. They must have an SMS, undergo audits, and hold DOC/SMC. It's often implemented via Large Yacht Code (LY3) or Passenger Yacht Code (PYC), which adapt SMS requirements to the yacht sector. Includes guest-specific risk management (tender ops, watertoys, helicopter ops). For private yachts ISM Code does not apply. Some owners voluntarily implement SMS for insurance or safety culture, but it's not mandatory. Without SMS, safety culture depends heavily on the captain and crew professionalism.

4. Superyachts construction features to keep it afloat in case of bad weather and protect from leakage.

Superyachts are divided into watertight bulkheads and compartments, so flooding in one area doesn't sink the vessel. Unlike merchant ships, where subdivision is maximized for cargo safety, yachts balance safety with guest space layouts. Watertight doors are often hidden within luxury interiors but remain SOLAS-compliant. Large yachts (over 40m) are usually built from steel or aluminum, sometimes with composite reinforcements. Reinforced hulls with double bottoms in machinery spaces and fuel tanks provide extra protection against grounding or leakage. Merchant ships almost always use full double hulls (especially tankers), while yachts use selective reinforcement to save weight and preserve performance. Sailing yachts have keels while motor yachts have stabilisers that reduce the pitch and roll while at anchor (known as 'zero speed stabilisers'), and some versions can be used even while cruising. Expedition yachts are even expected to encounter rough seas on journeys to remote destinations and are equipped accordingly.

At Southampton University tank tests showed that when a wave was 30% as high as the hull length, it was possible to capsize some yachts. However a wave as high as 60% of the hull length capsized all vessels. So the size of a vessel also plays a role in its stability and safety on the water. For example, to cause danger to a motor yacht of 30m/98ft, a wave must be at least 9m/29ft and as high or higher than 18m/58.8ft to sink the vessel - these wave sizes correlate to the Very High and Phenomenal categories at the top of the Douglas Sea Scale and are unlikely to be encountered unless in hurricane conditions. However, it is unlikely that you will encounter such conditions during your luxury yacht charter: The Captain receives a daily weather report and will be aware of nearby ports and other sheltered anchorages to wait out the storm, and your professional crew will ensure the safety of everyone on board. Although rough to very rough conditions will make life on board unpleasant for guests and crew alike, both sailing yachts and motor yachts are prepared for such weather.

5. Medical treatment and devices on board of Superyacht.

Commercial yachts of over 500 GT: must comply with MLC/ISM requirements, so they carry a sickbay and trained crew. Private yachts requirements are lighter, but many voluntarily exceed minimum standards due to guest expectations. Superyachts have Medical spaces are often discreetly integrated into guest areas. Carry luxury-level medical kits: trauma packs, oxygen therapy, AEDs, advanced first aid gear. Larger yachts (over 80-90m) may employ a dedicated nurse, paramedic, or even a doctor. They have heavy reliance on telemedicine (satellite link to shore-based specialists). Some yachts with helidecks plan for medical evacuation (MEDEVAC) as part of their SMS. All crew trained in basic first aid; senior crew often hold advanced medical training. Guest-oriented training: CPR, drowning response, trauma care (due to watertoys, diving, helicopter ops). On rare cases some captains insist on paramedic-level training for senior officers.

6. Procedure of abandoning the yacht and what is used for it.

On superyachts, abandoning ship follows the same SOLAS-based principles as merchant vessels, but the equipment and procedures are adapted to yacht design and passenger profile. The Master makes the final call after exhausting all damage-control measures. The abandon-ship signal (six short blasts + one long blast) is sounded. Distress alerts are sent via GMDSS (EPIRB, DSC, Inmarsat, VHF Ch.16). Guests and crew gather at designated muster stations, often located on open decks with direct access to survival craft. Lifejackets and immersion suits (in cold waters) are donned. Headcount is taken against the muster list. Crew assist guests into liferafts or lifeboats, depending on yacht size and certification. Emergency rations, water, and grab bags are loaded. Liferafts are launched either manually or via hydrostatic release units. Inflatable liferafts are the most common on yachts. They are compact, can be launched quickly and stowed in canisters on deck + they are SOLAS-approved, with survival packs (water, food, flares, first aid). Many superyachts also carry rigid inflatable boats (RIBs) or luxury tenders that double as rescue boats. Lifeboats are very rare on yachts under 90m due to space and design, but on the largest possible yachts, enclosed lifeboats similar to merchant vessels may be fitted. Some yachts with helidecks may use helicopters for medical evacuation, but not as a primary abandon-ship method.

LITERATURE

1. Wikipedia - [Superyacht - Wikipedia](#)
2. Charter World Article for yacht protection from rough seas - [Can a luxury charter yacht survive rough seas? — Yacht Charter & Superyacht News](#)
3. Marine Public Article for LYC - [Large Commercial Yacht Code \(LYC\): Global Safety Standards](#)
4. MLC 2006 Regulation 4.1
5. Directive 92/29/EEC
6. IMO - SOLAS Convention
7. IMO - ISM Code
8. Marioff HI-FOG documentation - [Fire protection for Yachts - Marioff HI-FOG®](#)

УДК 614.841:629.12

FIRE FIGHTING. FIRE INSIDE DG CONTAINERS. EXTINGUISHING LITHIUM BATTERY FIRES

Vysokohliad Iliia, cadet of 1491 group

National University “Odessa Maritime Academy”, Ukraine

Fire Safety on Container Ships

Fire safety on container ships relies on layers: regulation, equipment, and disciplined crew action. International rules define systems and procedures, but results depend on early detection and rapid access to the fire seat. The foundation includes hydrants with verified pressure, shore connection, firefighter outfits with SCBA, and smoke sampling. Gas systems like CO₂ or foam serve closed spaces; open-deck fires rely mainly on water and foam. Most container fires originate ashore—misdeclared dangerous goods (DG), reactive cargoes such as seed cake or charcoal, lithium-ion batteries, poor packing, and reefer faults.

Main Causes Inside Containers

- **Misdeclared DG:** Wrong names or papers cause unsafe stowage near incompatible cargo. Classic cases: calcium hypochlorite, charcoal.
- **Reactive cargoes:** Oxidation, moisture, or contamination cause self-heating until ignition. Risk goods include seed cake, fishmeal, cotton, and oxidizers.

- **Lithium-ion batteries:** Triggers—overcharge, short circuit, mechanical damage, or heat. Used or poor-quality cells fail faster.
- **Packing/stowage errors:** Weak securing, contamination, and wrong labels hide real hazards and complicate firefighting.
- **Reefer faults:** Wet or damaged cables and sockets create arcing and delay detection.

Lithium-Ion Failure Sequence

A trigger (electrical, mechanical, or thermal) starts heating. The separator breaks down, causing internal shorts. Chemical reactions release oxygen, raising temperature further—**thermal runaway**. Pressure rises and gases escape, including toxic HF. High energy, aging, and heat accelerate the chain.

Specialized Tools for Inside-Box Firefighting

- **Water-mist lance:** Simple and rule-approved; drives mist through container wall. Needs close access and may not reach deep seats.
- **Drill-and-spray systems:** Water-driven drills with foam option; faster and can reach upper tiers but need proper proportioning.
- **High-pressure cutting extinguishers:** Cut steel from distance, inject mist; very effective but costly and complex, used mainly by port responders.
- **Condensed-aerosol units:** Fast for small spaces but limited in large containers and cannot cool cells.

Extinguishing Lithium-Ion Fires

Water is the **main method**. Continuous flow cools cells and prevents spread; use piercing tools to reach inside while maintaining boundary cooling. Water immersion works only for small devices. Water mist aids visibility but must be followed by stronger cooling. CO₂ and clean agents reduce flames but not heat—use only for short knockdown. Dry powders and Class D agents are ineffective on Li-ion. Foams help on packaging but cannot replace water; fluorine-free foams are preferred.

Operational Priorities

Prevention ashore: True declarations, DG checks, proper packing, special attention to lithium-ion cargo.

Early detection: Maintain smoke sampling and hydrant reach; keep SCBA and tools ready.

Direct cooling: Deliver water safely inside; keep boundaries cool; avoid early opening.

Gas hazards: Expect flammable and toxic vapors, especially HF; ventilate only when safe.

Long watch: Re-ignition is common—continue cooling, use thermal imaging, and record actions.

Why Lithium-Ion Matters

Lithium-ion cargo dominates modern fire risk. Its failures are self-heating and self-accelerating, so oxygen removal alone fails. Only fast cooling and disciplined boundary control limit damage. The practical solution combines better declarations, safer packing, improved stowage, quicker detection, and reliable water delivery—reducing both size and duration of container-ship fires.

JITEPATYPA

1. IMO. (2024). SOLAS Consolidated Edition, 2024 (Chapter II-2). IMO Publishing.
2. IMO. (2024). FSS Code — International Code for Fire Safety Systems (consolidated as of 2024). IMO Publishing.
3. IMO / ILO / UNECE. (2014). Code of Practice for Packing of Cargo Transport Units (CTU Code).
4. IMO. (2014). Resolution MSC.365(93): Amendments to SOLAS Ch. II-2 (mobile water monitors; water-mist lance).
5. EMSA. (2023). CARGOSAFE: Study on Container Ship Cargo Fires.
6. Allianz Commercial. (2025). Safety & Shipping Review 2025.

7. CINS; International Group of P&I Clubs; TT Club. (2025, June). Guidelines for Shipping Lithium-ion Cells in Containers (UN 3480/3481; SP188/376/377).
8. FAA Fire Safety. (2014). Extinguishment of Lithium-Ion and Lithium-Metal Battery Fires (DOT/FAA/TC-13/53).
9. FAA Fire Safety. (2016). Lithium-Ion Batteries and Halon 1301: Effectiveness & Limitations (DOT/FAA/TC-16/37).
10. FSRI / UL Research Institutes. (2024–2025). Lithium-ion Battery Fire Suppression Research (EV/ESS full-scale).
11. American Bureau of Shipping (ABS). (2022). Guide for Fire-Fighting Systems for Cargo Areas of Container Carriers.
12. TT Club / Cargo Integrity Group. (2022). CTU Code — A Quick Guide & Checklist.
13. International Union of Marine Insurance (IUMI). (2025). Position paper and statistics on mis-declared / undeclared DG.
14. World Shipping Council (WSC). (2025). Cargo Safety Program (AI-based booking screening; common inspection standards).

УДК 656. 61. 052. 48 : 621. 396. 932 (045)

ОБРАННЯ РЕЖИМУ РУХУ НА ЕКРАНІ РЛС ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ЗІТКНЕННЮ З ІНШИМ СУДНОМ

Андрушик М.Г., курсант гр. 1401, керівник Маркітан В.В., ст. викладач

Національний університет “Одеська морська академія”

Вступ. Забезпечення безпеки мореплавства, особливо в процесі маневрування для попередження зіткнень суден (ПЗС), значною мірою залежить від правильного тлумачення навігаційної обстановки за допомогою суднових радіолокаційних станцій (РЛС) та засобів автоматичної радіолокаційної прокладки (ЗАРП). Сучасні радіолокаційні комплекси надають судноводієві можливість оцінювати параметри руху навколишніх об’єктів у двох принципово різних режимах представлення даних — відносному (Relative Motion) та істинному (True Motion) русі цілі. У практичній діяльності судноводії часто застосовують обидва ці режими, проте вибір між ними — а саме, які саме вектори або треки руху цілі слід використовувати для оцінки ситуації зближення — нерідко стає предметом фахових дискусій. Вибір режиму руху цілі має не лише технічне, а й методологічне значення, оскільки від нього залежить точність виявлення небезпеки, своєчасність прийняття рішень та ефективність маневру розходження. Невірна інтерпретація принципів відображення цілей може призвести до хибних висновків щодо динаміки зближення та створити передумови до аварійної ситуації. З огляду на це, виникає актуальна науково-практична задача — з’ясувати, який із режимів представлення руху саме цілі (відносний чи істинний) є більш прийнятним для первинного виявлення небезпеки зіткнення або надмірного зближення, а також визначити умови, за яких кожен із них забезпечує найвищу достовірність оцінки радіолокаційної інформації. Метою даної роботи є проведення порівняльного аналізу цих режимів руху цілей і розроблення практичних рекомендацій щодо їх раціонального використання в системі забезпечення безпеки мореплавства.

Актуальність теми. Сучасна суднова радіолокаційна станція, особливо в інтеграції з ЗАРП, є високотехнологічним та складним навігаційним приладом. Незважаючи на високий рівень автоматизації, кінцеве рішення щодо оцінки ситуації зближення приймає судноводій. Його ефективність у запобіганні зіткненням прямо залежить не лише від технічної справності, але й від здатності судноводія до адекватного сприйняття, аналізу та, що найголовніше, однозначного розуміння динамічної інформації, що відображається на екрані. Велика

кількість налаштувань, режимів відображення (стабілізація відносно води чи ґрунту, орієнтація за курсом, нордом тощо) та варіативність представлення даних про рух цілей (істинні та відносні вектори, їх часові параметри, треки) створюють значне когнітивне навантаження. Неправильна інтерпретація цих даних або помилковий вибір пріоритетного режиму аналізу в умовах обмеженого часу та стресової ситуації є суттєвим фактором ризику, що може призвести до прийняття невірної рішення щодо маневрування. Таким чином, актуальність даного дослідження зумовлена нагальною необхідністю глибокого розуміння судноводіями суті інформації, що надходить з екрану РЛС, та вироблення чітких, обґрунтованих критеріїв для безпечного використання цього складного навігаційного приладу.

Постановка задачі. Суднова РЛС з ЗАРП або функцією автоматичного відстеження цілей (Target Tracking або ТТ) використовує скануюче випромінювання для виявлення надводних об'єктів і побудови їх треків. Відповідно до стандартів ІМО, АРРА здатна автоматично захоплювати кілька цілей (зазвичай десятки) і розраховувати для них курс, швидкість, а також СРА і ТСП [2;3]. При захопленні ЗАРП веде цифрову обробку послідовних пеленгів цілі, використовуючи алгоритми слідування[2]. Дані власних параметрів руху судна враховуються при обчисленнях, а отримана інформація фіксується у трек-файлі цілі[6]. З кожним оновленням радару ЗАРП оновлює позицію і вектор цілі, згладжуючи випадкові коливання і своєчасно реагуючи на маневри. Згідно з вимогами ІМО, ТТ/ЗАРП відображає на екрані також ім'я або ідентифікатор цілі, пеленг, відстань до цілі та інші дані (EBL/VRM, BCR/BCT тощо). Головною задачею даного дослідження є порівняльний аналіз ефективності виявлення небезпеки зближення суден у режимах відносного та істинного руху цілі на екрані РЛС з функціями Target Tracking (ТТ) та ЗАРП. Завдання полягає у визначенні технічних особливостей і точності відображення колізійної ситуації в кожному режимі та обґрунтуванні доцільності їх застосування для підвищення безпеки навігації.

Результати дослідження. ЗАРП дозволяє відображати рух цілі у двох основних режимах. У відносному (Relative) режимі власне судно на дисплеї фіксовано в центрі, а усі цілі рухаються відносно нього. Напрямок відносного вектору (Relative vector) прямо вказує на прогнозовану точку майбутнього положення цілі відносно нас. Якщо відносний вектор цілі (або його продовження) спрямований в центр екрану (на позицію нашого судна) або проходить на меншій відстані, ніж встановлена безпечна дистанція, це є однозначним індикатором небезпеки зіткнення або надмірного зближення. Основне та незамінне призначення відносного вектора — це миттєва оцінка загрози. Істинний рух (True Motion): в цьому режимі треки цілей відображають їх реальний рух по відношенню до поверхні Землі (або води). В цьому режимі і власне судно на дисплеї рухається з власними курсом та швидкістю. Істинний вектор дозволяє судноводію зрозуміти "куди насправді рухається ціль". Він чітко показує її істинний курс, що є критично важливим для визначення типу ситуації зближення та коректного застосування правил МППЗС-72. Значна допомога штурману – візуальне представлення даних: вектори цілей і минулі позиції (треки). Вектор (стрілка) показує напрямок і відстань, на яку ціль переміститься за обраний час. Його довжина і напрямок дають уявлення про ризик: якщо за виділений час вектор цілі «проходить через» свою позицію, то за поточних умов відбудеться зіткнення. Відповідно до резолюції ІМО (MSC.192(79) "Adoption of the Revised Performance Standards for Radar Equipment"[3], істинний вектор призначений для оцінки загальної навігаційної ситуації та дій інших суден. Згідно з визначенням ІМО, relative vector – це «прогнозований рух цілі відносно власного судна», а true vector – це «прогнозований істинний рух цілі з урахуванням введеного курсу та швидкості власного судна» [4]. Також за вимогами ІМО ЗАРП інтерфейс при цьому чітко повинен вказувати поточний режим. Міжнародні резолюції (ІМО MSC.192(79), А.823(19) тощо) докладно регламентують роботу ЗАРП з точки зору відображення та супроводу. Згідно з резолюціями ІМО, автоматичне відстеження цілі базується на вимірюванні її відносної позиції та руху разом із введенням інформації про рух власного судна.

З практичної точки зору, режим відносного руху з відносними векторами є більш ефективним для оперативного виявлення небезпеки зіткнення або надмірного зближення [1], оскільки дозволяє судноводію швидко оцінити напрямок зближення без складних розрахунків. У цьому режимі ситуація інтерпретується інтуїтивно: якщо вектор цілі спрямований у центр екрана — курс небезпечний, і потрібен маневр розходження. Фундаментальне призначення відносного вектора саме і полягає в тому, щоб дати судноводію негайну та однозначну відповідь на питання: "Чи небезпечна ця ціль?". Перевага використання режиму відносного руху особливо проявляється під час плавання в районах з інтенсивним судноплавством. При цьому слід категорично наголосити: якщо відносний вектор є ключем до виявлення небезпеки, то істинний вектор (стабілізований відносно води) є незамінним інструментом для наступного етапу — аналізу ситуації згідно з МППЗС-72 та прийняття рішення про вид та напрямок маневру.

Висновки. Проведене дослідження показало, що режими відносного (Relative Motion) та істинного (True Motion) руху цілей на екрані РЛС мають різне функціональне призначення і взаємно доповнюють один одного у процесі забезпечення безпеки мореплавства. Таким чином, доцільним є комбіноване використання обох режимів: режим відносного руху — для первинного виявлення небезпеки зближення та контролю ситуації в реальному часі; режим істинного руху — для уточнення навігаційної обстановки, аналізу маневрів і перевірки достовірності оцінки ризику. Застосування обох режимів у комплексі, з урахуванням особливостей кожного, підвищує надійність оцінки ситуації, зменшує ризик людської помилки та забезпечує більш високий рівень морської безпеки при розходженні суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мальцев А.С. Маневрування суден під час розходження: учбовий посібник /А.С. Мальцев, Є. Є. Тюпиков, І. І. Ворохобін, І.Л. Сурінов, Одеса: НУ«ОМА», 2020. – 176 с.
2. Bole, A., Wall, A., & Norris, A. Radar and ARPA Manual / Burlington, MA, 2005. – 546 p.
3. International Maritime Organization (IMO). Resolution MSC.192(79): Adoption of the Revised Performance Standards for Radar Equipment. – London: IMO, 2004 – 34 p.
4. RESOLUTION A.823(19) PERFORMANCE STANDARDS FOR AUTOMATIC RADAR International Maritime Organization (IMO). Resolution A.823(19): Performance Standards for Automatic Radar Plotting Aids (ARPA). – London: IMO, 1995 – 16 p.
5. International Maritime Organization (IMO). Resolution MSC.302(87): Performance Standards for Bridge Alert Management. – London: IMO, 2010 – 20 p.
6. U.S. Coast Guard Navigation Center. Automatic Radar Plotting Aids (ARPA): Operational Guidance. – Washington, D.C.: USCG, 2017 – 197 p.
7. UK Maritime and Coastguard Agency (MCA). Radar and ARPA: Principles and Operational Use (Training Manual for Navigators). – Southampton: MCA Publications, 2016 – 552 p.

УДК 621. 396. 967 - 021. 387 (045)

ВІДМІННОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЖИМІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ НА ЕКРАНІ РЛС

Буренко О.О., курсантка гр. 1402, керівник Маркітан В.В., ст. викладач

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. На багатьох суднах поруч із панеллю управління суднової радіолокаційною станцією (РЛС) судноводії встановлюють саморобний напис-нагадування «Для запобігання зіткненню повинен використовуватися режим стабілізації зображення відносно води» (англ. “Sea stabilized mode should be used for collision avoidance”). У ході роботи розглянемо причини

встановлення цього напису та важливість використання режиму стабілізації зображення саме відносно води для запобігання зіткненню суден.

В даній роботі проведені дослідження, пов'язані з режимами стабілізації зображення на екрані РЛС. Зазначені режими стабілізації впливають на те, як судноводій сприймає рух власного судна та інших цілей. Отже, правильність оцінки ситуації й своєчасність ухвалення рішень сприяє запобіганню зіткненням. На основі аналізу літератури детально розглянуто переваги та недоліки кожного режиму стабілізації зображення на екрані РЛС. Для того, щоб уникнути хибної інтерпретації руху об'єктів, що може привести до аварійних ситуацій, необхідно своєчасно враховувати особливості використання режимів стабілізації зображення під час маневрування.

Актуальність теми. Сучасна суднова РЛС – це складний навігаційний прилад, який з часом досяг можливості інтеграції і відображення на екрані даних з інших сенсорів таких як, Електронна картографічна навігаційно-інформаційна система (ЕКНІС), Автоматична ідентифікаційна система (АІС), Лаг та Global Positioning System (GPS). Її головне завдання – забезпечити достовірне зображення навколишньої обстановки, де водночас, точність інформації на екрані РЛС значною мірою залежить від правильного налаштування та розуміння принципів її роботи судноводієм.

Постановка задачі. Завдання дослідження полягає у визначенні того, як вибір режиму стабілізації зображення на екрані РЛС – стабілізація відносно ґрунту (англ. Ground-stabilized) або стабілізація відносно води (англ. Sea-stabilized) – впливає на достовірність інформації, необхідної для оцінки ризику зіткнення і прийняття рішення про маневрування.

Результати досліджень. Згідно з положеннями СОЛАС – Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (Глава V: Безпека мореплавання. Правило 19, частина 2.8):

«2.8 Усі судна валовою місткістю 10000 і більше повинні додатково до вимог пункту 2.7, за винятком пункту 2.7.2, мати:

.1 засіб автоматичної радіолокаційної прокладки (ЗАРП) або інший засіб, щоб автоматично здійснювати прокладання дистанції та пеленгу щонайменше 20 цілей, з'єднаний з пристроєм для вимірювання та індикації швидкості та пройденої відстані щодо води, для визначення небезпеки зіткнення та імітації маневру розходження; і

.2 систему керування курсом або систему керування по заданому шляху, або інший засіб, щоб автоматично керувати та утримувати курс та/або прямий шлях » [1].

Відображення зображення на екрані РЛС проводиться в режимі відносного (ВР) або істинного руху (ІР) [2].

При відображенні зображення в режимі ВР відмітка власного судна є нерухомою та як правило знаходиться у центрі екрану. Всі інші об'єкти рухаються по лініях відносного руху (ЛВР) відносно власного судна з відносними курсами та швидкостями. Цей режим застосовується для визначення наявності небезпеки зіткнення з іншим судном, так як він дає прогноз відстані на якій пройде ціль (найближча точка підходу або СРА), та часу, коли ціль досягне найближчої точки підходу (ТСРА).

В той час як при відображенні зображення у ІР на екрані РЛС усі цілі, включаючи власне судно, рухаються істинними курсами та швидкостями (відносно води чи ґрунту).

Стабілізація відносно води (англ. Sea-stabilized) відбувається при використанні вимірювача швидкості власного судна відносно води (англ. Log W), при цьому курси та швидкості інших суден відображаються відносно води. Цей режим необхідно використовувати для визначення наявності небезпеки і запобігання зіткнення з іншим судном. Стабілізація відносно ґрунту відбувається при використанні датчика швидкості (GPS, Log BT – bottom tracking) відносно ґрунту. Цей режим використовується для навігаційної небезпеки, тобто запобігання посадки на мілину [2]. Концепції режиму стабілізації відносно води та ґрунту на екрані РЛС за допомогою ЗАРП пояснені засобами візуалізації у відео [3]. Вплив розглянутих режимів на відстеження цілей та точність даних детально розглянуто у відео [4].

Вплив течії та вибору режиму стабілізації

При плаванні в умовах бокової течії неправильний вибір режиму стабілізації може призвести до неправильної інтерпретації напрямку руху іншого судна. Наприклад:

– у режимі Sea-stabilized (стабілізація відносно води) інше судно вважається нерухомим у водній масі, ігноруючи сили зовнішніх факторів, такі як течія та вітер. Цей режим використовується для визначення ситуації зустрічі з іншими суднами, оскільки ЗАРП обчислює відносний вектор руху цілі щодо власного судна [5].

– у режимі Ground-stabilized (стабілізація відносно ґрунту), ЗАРП базується на руху судна щодо поверхні Землі, беручи до уваги сили зовнішніх факторів (течії та вітру), що найкраще підходить для прибережної навігації та визначення позиції судна за допомогою нерухомих об'єктів (рис. 1).

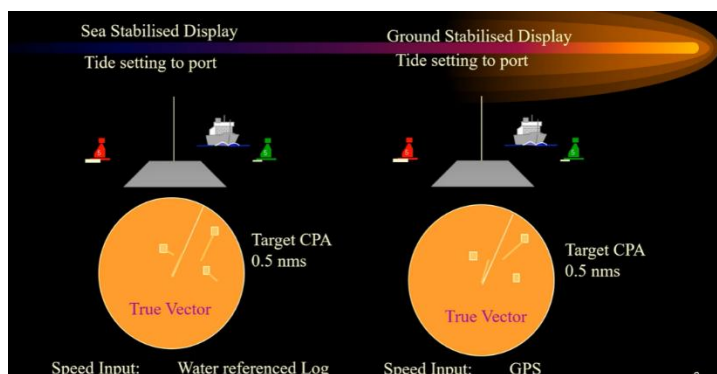


Рисунок 1 – Вплив режиму стабілізації на визначення ситуації зустрічі з іншим судном під впливом течії

На сучасних судових РЛС режими стабілізації зображення відносно води та відносно ґрунту позначаються по-різному залежно від виробника:

1) У системах **Furuno** стабілізація відносно води позначається як «*STAB W* або *TRUE-S*» (sea-stabilized), а стабілізація відносно ґрунту як «*STAB G* або *TRUE-G*» (ground-stabilized).

2) У системах **JRC** стабілізація відносно води може позначатися як «*SEA STAB* або *WATER STAB*», а стабілізація відносно ґрунту як «*GROUND STAB* або *BT STAB*».

3) У системах **Anschütz Synapsis Radar NX** відображається активне слово «*SEA*» (sea-stabilized) або «*GROUND*» (ground-stabilized).

Безумовно, принцип роботи кожного режиму залишається однаковим, не залежачи від виробника, але судоводії повинні бути ознайомлені з різними позначеннями режимів для їх належного використання.

Висновки. Режими стабілізації зображення на екрані РЛС відіграє ключову роль під час навігації судна. Правильність вибору режиму впливає на можливість своєчасного виявлення ризику зіткнення, а також на ефективність маневрування під впливом течії та дрейфу. Стабілізація відносно води забезпечує найбільш чітке відображення руху цілей для визначення наявності небезпеки, тому його доцільно використовувати під час маневрування та уникнення зіткнень. Де стабілізація відносно ґрунту використовується для точного позиціонування судна відносно берегової лінії, визначення істинного курсу та побудови маршруту. Отже, усвідомлення судоводієм принципів дії та переваг кожного режиму стабілізації зображення є необхідною умовою безпечної експлуатації РЛС.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS-74). Rev. 2004. URL: https://library.arcticportal.org/1696/1/SOLAS_consolidated_edition2004.pdf (Last accessed: 29.10.2025).
2. Bole A., Wall A., Norris A. Radar and ARPA Manual. Burlington, MA, 2005. 546 p.
3. Radar Techniques: Ground-Stabilized vs Sea-Stabilized for Navigation and Collision Avoidance. Publ. 21 Sept. 2024. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=JQ52DMireIc> (Last accessed: 29.10.2025).

4. ARPA – Impact of Sea and Ground Stabilization on Target Tracking. Publ. 24 Oct. 2019. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Ogm5qN8LQJw> (Last accessed: 29.10.2025).
5. Мальцев А. С., Тюпиков Є. Є., Ворохобін І. І., Сурінов І. Л. Маневрування суден під час розходження : учбовий посібник. Одеса : НУ«ОМА», 2020. 176 с.

УДК 629.5.072.1: 528.28(045)

ЗНАЧЕННЯ ЗІРОК У РОЗРАХУНКУ ШЛЯХУ РЕЙСУ (СУДНА)

Васильєв Д.В., ст. викладач, Очеретний Р.М., асистент, Бінковський Г.А., курсант гр. 1206, Вересоцький Р., курсант гр. 1206

Національний університет “Одеська морська академія”

Уявіть, що ви вирушаєте у подорож невідомими просторами, маючи за орієнтир лише зоряне небо та морські течії. Історія навігації — це водночас історія людської допитливості, сміливості та прагнення відкривати нові горизонти. Вона бере свій початок тисячі років тому і поступово привела нас до сучасних технологій, таких як GPS, без яких ми вже не уявляємо подорожей. Але яким був шлях людства до цього? З найдавніших часів люди прагнули досліджувати моря й океани у пошуках нових земель, торговельних шляхів та знань. Зорі, Сонце та Місяць стали першими природними орієнтирами, які допомагали мореплавцям визначати напрямок у безкраїх просторах води. Саме небесна, або астрономічна, навігація — заснована на спостереженнях за рухом небесних тіл — відіграла вирішальну роль у розвитку судноплавства й розширенні географічних уявлень про світ. Протягом історії навігатори долали безліч труднощів, відходячи все далі від берегів у незвідані простори океану. Навігація стала не лише засобом виживання, а й основою торгівлі, відкриттів і культурних контактів між народами. У цій роботі розглядається еволюція навігації — від перших примітивних спроб орієнтування до складних технологічних систем, які ми використовуємо сьогодні. Після ознайомлення з матеріалом ви отримаєте цілісне уявлення про розвиток навігації, її основні методи, інструменти та винаходи, що змінили хід історії. А також дізнаєтесь, як сучасне навігаційне спорядження, наприклад від Battlbox, може зробити ваші подорожі ще безпечнішими й захопливішими.

Перші мореплавці визначали напрямок за Сонцем удень і за зірками вночі. Найбільше значення мала Полярна зоря, яка завжди вказує напрямок на північ. Полінезійські навігатори вважалися майстрами зоряної навігації — вони орієнтувалися за положенням зірок, хвиль і вітрів, що дозволяло їм долати тисячі миль Тихого океану без компасів чи карт. З розвитком судноплавства астрономічна навігація стала науковою дисципліною. Вона ґрунтувалася на точних вимірюваннях висоти небесних тіл над горизонтом і часу спостережень, що дозволяло визначати географічні координати судна. Тепер пропонуємо розібратись в значенні та складі астрономічної навігації. Астрономічна навігація — це метод визначення місцеположення об'єкта за спостереженнями небесних тіл. Вона базується на вимірюванні кутів між горизонтом і світилом (Сонцем, зіркою, планетою або Місяцем) за допомогою спеціальних приладів.

Основні прилади:

1. Секстант — оптичний прилад для вимірювання кута між небесним тілом і горизонтом. Прилад секстант дозволяє вимірювати висоту Сонця, зірки чи планети над горизонтом. Навігатор встановлює прилад у вертикальній площині, зводить зображення світила з лінією горизонту, фіксує покази секстанта й точний час, після чого розраховує координати за ефемеридами.
2. Морський хронометр (від грец. χρόνος «час» + μετρέω «вимірюю») — точні механічні часи, встановлені на морському судні, є навігаційним пристроєм. Використовувався для визначення

довготи шляхом порівняння середнього часу за Грінвічем і часом у поточному місці корабля, отриманого зі спостережень за небесними тілами. Винахід морського хронометра у XVIII столітті в Англії було великим технічним досягненням. Часовик-самоучка Джон Гаррісон витратив 31 рік безперервних експериментів і випробувань, перш ніж досяг успіху. Винахід Гаррісона зробило революцію в морській навігації і зробило помітний внесок у великі географічні відкриття.

3. Альманах (ефемериди) — це збірник таблиць, які містять попередньо обчислені координати небесних тіл, таких як Сонце, Місяць, планети та зорі, у певні моменти часу. Ці дані використовуються для визначення положення об'єктів на небі, проведення астрономічних спостережень та навігації, зокрема в сучасних системах супутникової навігації.

5. Географічні карти та зоряні планісфери.

Планісфера — рухома карта зоряного неба, яка складається з двох дисків, що обертаються довкола спільної вісі (у верхньому диску є прорізане вікно у вигляді проекції контуру горизонту на небесну сферу. За допомогою руху дисків, вона налаштовується так, щоб зобразити область видимих зірок на небі для будь-якого часу та дати. Це різновид більш давнього інструмента, який має свої витоки з елліністичної цивілізації і є попередником сучасного планісфери — астролібії.

Основними методами визначення місцеположення в астрономічній навігації є:

1. Метод рівних висот світил — це метод визначення місцеположення спостерігача на поверхні Землі, який ґрунтується на вимірюванні висоти (кутового положення над горизонтом) кількох небесних світил (наприклад, Сонця, Місяця, зірок або планет) і подальшій побудові кіл рівних висот на морській навігаційній карті або глобусі. Цей метод був основою навігації у відкритому морі протягом століть до появи сучасних електронних навігаційних систем, таких як GPS.

2. Метод навігаційного трикутника — це математичний підхід в астрономічній навігації, який використовує тригонометричні розрахунки для розв'язання цього сферичного трикутника. Розв'язання навігаційного трикутника є основним математичним інструментом, що лежить в основі класичних методів астрономічної навігації, зокрема методу рівних висот світил.

3. Методи Сомнера та Сент-Ілера (метод переносів) — це два історично важливі графічні методи в астрономічній навігації, які застосовуються безпосередньо на морських навігаційних мапах для визначення місцеположення судна. Вони використовують концепцію кола рівних висот. Метод Сомнера був революційним, оскільки дозволяв швидко отримати лінію положення без складних сферичних тригонометричних розрахунків для багатьох можливих широт. Обидва методи дозволяли швидко та наочно наносити результати астрономічних спостережень безпосередньо на навігаційну мапу, що було критично важливим для безпечної навігації у відкритому морі. Метод Сент-Ілера став домінуючим завдяки своїй точності та ефективності.

Для зручного орієнтування на небі люди в давні часи почали використовувати небесну сферу. Небесна сфера — уявна сфера, на яку проєктуються всі небесні тіла. Основними орієнтирами є зеніт, надир, небесний екватор, меридіан і полюси світу. Розуміння небесної сфери є основою усіх навігаційних розрахунків. Для чого вона потрібна?

У реальності зорі розташовані на різних відстанях від Землі, але ми бачимо їх як ніби на одній "площині" — на небі. Тому небесну сферу використовують:

Для побудови систем небесних координат (аналогічно до географічних координат на Землі). Для спостережень та астронавігації. Щоб визначати рух Сонця, Місяця, планет та інших небесних тіл.

Основними елементами сфери є: 1. Небесні полюси (Північний і Південний). Це точки на небесній сфері, через які уявно проходить земна вісь. У Північній півкулі поблизу Північного небесного полюса знаходиться Полярна зоря. 2. Небесний екватор. Це уявна проєкція земного екватора на небесну сферу. Ділить небо на північну й південну півсфери. 3. Зеніт і надир. Зеніт — точка на небесній сфері прямо над головою спостерігача. Надир — точка прямо під ногами, протилежна до зеніту. 4. Лінія горизонту. Це коло, яке обмежує видиму

частину небесної сфери. Вона залежить від місця спостереження. 5. Меридіан спостерігача. Вертикальне коло, яке проходить через зеніт і обидва небесні полюси. Хоча сьогодні судна використовують супутникові системи навігації (GPS, ГЛОНАСС, Galileo), астрономічна навігація залишається резервним і автономним методом. Вона не залежить від електронних сигналів, дозволяє орієнтуватися навіть при відсутності зв'язку та підвищує безпеку судноплавства у військових і надзвичайних умовах. Тому всі хто пов'язаний з морем повинен бути ознайомлений з навігацією по зіркам. Доречі в сучасному житті вона може використовуватись не тільки в морі, або океані, а й в повсякденному житті цивільних людей. Під кінець роботи хочу звернути увагу, що в свій час астрономічна навігація була невід'ємною частиною судноплавства. Була одним з видів найскладніших видів прокладки маршруту на той час, але в той же час самою надійною. Астрономічна навігація — це поєднання давнього мистецтва і сучасної науки. Знання про зорі, планети та рух небесних тіл дали людині змогу опанувати океани. Хоча супутникові системи зробили навігацію простішою, саме зорі залишаються символом незалежності й надійності мореплавця.

ЛІТЕРАТУРА

1. Морська астрономія: навчальний посібник / під ред. В. С. Соловйова. — Одеса: ОНМА, 2020.
2. Астрономічна навігація у мореплаванні / І. П. Григоренко. — Київ: Логос, 2018.
3. Celestial Navigation for Mariners / George Bennett. — Glasgow: Brown, Son & Ferguson, 2017.
4. Encyclopedia of Navigation. — London: Routledge, 2021.
5. Історія навігації: від давніх вод до сучасних технологій. — <https://global.battlbox.com/uk/blogs/на-вулиці/history-of-navigation-from-ancient-waters-to-modern-technologies>
6. Небесна навігація: Повний посібник з інтерв'ю на навички — <https://rolecatcher.com/uk/interviews/skills/knowledge/natural-sciences-mathematics-and-statistics/physical-sciences/celestial-navigation/>
7. Історія розвитку морської навігації — <https://studfile.net/preview/9095774/page/2/>

УДК 656.61:629.541.4

ІСТОРІЯ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ ЛОЦМАНСЬКОЇ СПРАВИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Галамутько О. О., аспірант, к.д.п., Корбан Д.В., к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ. Лоцманська діяльність є однією з найдавніших професій, що супроводжує розвиток мореплавства з моменту його виникнення. Її головною метою завжди було забезпечення безпечного проходження суден через складні для навігації ділянки — вузькі протоки, лимани, річкові гирла, порти.

Із розвитком міжнародної торгівлі та зростанням тоннажу суден роль лоцманів постійно зростала. Лоцман — це не лише провідник, а й висококваліфікований фахівець, який виконує державну функцію з гарантування безпеки мореплавства, охорони життя людей і довкілля.

В історичному контексті лоцманська справа розвивалася у двох напрямках — практичному (організація проведення суден) та правовому (регулювання відповідальності, обов'язків і прав лоцманів).

Актуальність теми. У сучасних умовах глобалізації та зростання морських перевезень лоцманська діяльність залишається критично важливим елементом морської інфраструктури.

За даними ІМРА, близько 90 % світової торгівлі здійснюється морським шляхом, і понад 75 % операцій проходять під контролем лоцманів [1].

В Україні значна частина експорту та імпорту (зернові, метал, нафтопродукти) здійснюється через порти Чорного моря, які мають складну конфігурацію підходів, численні переكاتи та мілководдя.

З огляду на воєнні ризики, обмеження руху та зменшення кількості досвідчених кадрів, питання ефективності та безпеки лоцманської служби стає надзвичайно актуальним.

Також важливим є впровадження цифрових систем навігаційної підтримки — Portable Pilot Unit (PPU), електронних лоцманських журналів, інтеграції AIS, GNSS, ECDIS та VTS для підвищення точності та безпеки проведення суден [2].

Постановка задачі. Метою даної роботи є дослідження історичних етапів розвитку лоцманської справи у світі та в Україні, аналіз правових основ її функціонування та визначення перспектив розвитку на сучасному етапі.

Для досягнення мети необхідно:

1. узагальнити історичні витоки лоцманства у світовій практиці;
2. розкрити основні етапи становлення лоцманської служби в Україні;
3. визначити роль міжнародних організацій (ІМО, ІМРА) у формуванні стандартів лоцманської діяльності;
4. проаналізувати сучасні виклики та тенденції розвитку лоцманської служби в Україні.

Історичні витоки світового лоцманства. Перші відомості про лоцманів сягають античних часів. У давньому Єгипті та Фінікії були спеціальні морські провідники, які знали рельєф дна, течії й особливості місцевих берегів [3].

У середньовічній Європі лоцманство набуває організованої форми. У 1194 р. у Франції з'являються Закони Олерона, що стали першим документом, який регламентував обов'язки і відповідальність лоцманів [4].

У XVI столітті англійський король Генріх VIII створює Trinity House — першу державну корпорацію лоцманів, яка й нині діє як регулятор лоцманських послуг у Великій Британії [5].

Поступово лоцманські служби з'явилися у Нідерландах, Німеччині, Франції, Російській імперії, де вони мали статус державних установ.

У XIX–XX ст. з розвитком парового флоту та зростанням кількості суден лоцманська діяльність стає обов'язковою у більшості портів світу.

Міжнародне визнання лоцманства як окремої галузі морської діяльності відбулося у XX ст. після створення Міжнародної морської організації (ІМО) (1958 р.) та Міжнародної асоціації морських лоцманів (ІМРА) (1971 р.).

ІМРА координує роботу понад 8 000 лоцманів у світі, видає методичні посібники, серед яких фундаментальна праця ІМРА on Pilotage [6].

Становлення лоцманської справи в Україні. Витоки українського лоцманства сягають часів Київської Русі, коли для плавання Дніпром використовували досвідчених провідників, які знали течію, переكاتи, пороги.

Офіційне становлення організованої лоцманської служби пов'язане з XVIII століттям, коли Петро I започаткував державну систему морських лоцманів, зрівнявши їх у правах із військовими моряками [7].

У 1803 р. в Миколаєві при Гідрографічному депо було створено перші лоцманські команди, що проводили судна через Дніпровсько-Бузький лиман.

У 1868 р. засновано Миколаївське товариство лоцманів — одну з перших професійних організацій Чорноморського басейну [8]. Її члени складали присягу, мали формений одяг та відповідали за збитки колективно.

До початку XX ст. миколаївські лоцмани проводили понад 4 500 суден на рік, включно з іноземними торговельними пароплавами.

Після 1917 р. лоцманська служба входить до складу Єдиної морської лоцманської системи СРСР, а після здобуття незалежності України її правонаступником стає державне підприємство «Дельта-лоцман», що нині діє у структурі Адміністрації морських портів України (АМПУ).

Підприємство забезпечує лоцманське проведення у всіх морських портах України та на внутрішніх водних шляхах — Дніпрі, Південному Бузі, Дніпровсько-Бузькому лимані [9].

Міжнародно-правові засади лоцманської діяльності. Правові аспекти лоцманства визначаються міжнародними та національними актами.

Основним міжнародним документом є Резолюція ІМО А.960 (23) «Рекомендації щодо підготовки та сертифікації морських лоцманів», прийнята у 2003 р. [10].

Документ встановлює вимоги до професійної компетентності, мовної підготовки, знання місцевих гідрографічних умов, правил взаємодії з капітаном судна.

ІМРА у своїй публікації *ІМРА on Pilotage* визначає лоцманство як «державну функцію, покликану гарантувати безпеку судноплавства і захист навколишнього середовища» [6].

Крім того, у більшості країн світу лоцманська діяльність регулюється спеціальними законами: *Pilotage Act 1987* (Велика Британія), *Pilotage Act 1991* (Фінляндія), *Maritime Pilotage Act 2003* (Канада).

В Україні правові засади лоцманської діяльності закріплені у Кодексі торговельного мореплавства України (1995 р.), який визначає порядок проведення суден, права і обов'язки лоцманів, а також відповідальність за порушення правил судноплавства [11].

Сучасні тенденції та виклики. У ХХІ столітті лоцманська служба стикається з новими викликами: збільшення розмірів суден, автоматизація управління, цифровізація навігаційних процесів, кіберзагрози, вплив кліматичних змін на гідрологічні умови.

Україна, маючи стратегічне положення, поступово інтегрує світові стандарти — зокрема у впровадженні електронного лоцманського журналу, використанні *Portable Pilot Unit* (*Trenz, Navicom Dynamics, SafePilot*) та цифрових лоцманських додатків з інтегрованими векторними картами.

Проблемою залишається кадрове оновлення, оскільки частина досвідчених лоцманів вибула через воєнний стан. Необхідна модернізація навчальних програм підготовки, створення єдиного національного стандарту професійної сертифікації.

Висновки. Історія лоцманства — це історія розвитку морської цивілізації.

Від перших морських провідників у Київській Русі до сучасних цифрових систем навігаційної підтримки — незмінним залишалося головне завдання лоцмана: забезпечення безпечного судноплавства.

Україна має значний історичний і практичний потенціал у сфері лоцманства, що дозволяє їй стати лідером у регіоні з впровадження сучасних методів управління рухом суден у складних навігаційних умовах.

Подальший розвиток вимагає вдосконалення законодавчої бази, підвищення рівня підготовки кадрів і впровадження цифрових технологій, що відповідають рекомендаціям ІМО та ІМРА.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Maritime Pilots' Association (IMPA). *IMPA on Pilotage*. — Edinburgh: Witherby Seamanship International, 2019. — 184 p.
2. International Maritime Organization. *Resolution A.960: Recommendations on Training and Certification for Maritime Pilots*. — London: IMO, 2003. — 36 p.
3. Cunliffe T. *Pilots: The World of Pilotage under Sail and Oar*. — London: Adlard Coles Nautical, 2001. — 256 p.
4. *The Laws of Oleron (1194 AD)*. — London: Maritime History Society, 1989. — 98 p.
5. Hignett P. *21 Centuries of Marine Pilotage*. — London: Trinity House Publications, 1998. — 312 p.

6. Lempicka D. *Legal Liability of Pilots: Comparative Analysis*. — Valletta: International Maritime Law Institute, 2017. — 42 p.
7. Лукин Ю.Ф. *Морская лоция*. — Ленинград: Судостроение, 1984. — 352 с.
8. Павлов А.Н. *История морского дела в России*. — Санкт-Петербург: Гангут, 2009. — 512 с.
9. Куликов П. Становлення лоцманської служби на Дніпровсько-Бузькому лимані // *Вісник морського транспорту*. — 2012. — № 4. — С. 45–52.
10. *Pilotage Act 1987 (UK)*. — London: Her Majesty's Stationery Office, 1987. — 27 p.
11. *Кодекс торговельного мореплавства України*. — Київ: ВР України, 1995. — 218 с.

УДК 629.5.015.15

РОЗРАХУНОК АВАРІЙНОЇ ПОСАДКИ ТА ОСТІЙНОСТІ СУДЕН ТИПУ В-60

Гуцак М.М., курсант учбової групи 1302, Власенко Є.А., к.т.н., доцент кафедри ТУС

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Ефективність судна значною мірою визначається вантажопідйомністю, яка залежить в тому числі і від максимально допустимої осадки. Осадка судна визначається відповідно до Правил про вантажну марку морських суден. В залежності від типу судна (тип А – судно для перевезення рідких вантажів наливом, тип В – всі інші судна) призначається базисний надводний борт і з урахуванням всіх необхідних поправок отримуємо мінімальний надводний борт, який визначає осадку. Під час розрахунку надводного борту для суден типу В допускається зменшувати базисний надводний борт на 60% різниці між значеннями для суден типу А та типу В для суден відповідних довжин. Отриманий тип має назву судно типу В-60. З одного боку судна типу В-60 мають більшу дозволена осадку (більшу ефективність, при інших рівних умовах), з другого боку до них пред'являються більш жорсткі вимоги з точки зору аварійної посадки та остійності. Судно типу В-60 окрім додаткових вимог до захисту екіпажу, площі штормових портиків у фальшборті та кришкам вантажних люків додатково повинне при завантаженні до літньої вантажної ватерлінії, залишатися на плаву в задовільних умовах рівноваги після затоплення одного будь-якого ушкодженого відсіку (крім машинного відділення), беручи його коефіцієнт проникності рівним 0,95. Таке судно довжиною більше ніж 150 м повинне витримувати також затоплення машинного відділення, що розглядається окремо, але з коефіцієнтом проникності 0,85.

Усі варіанти затоплень аналізуються при одному умовному початковому стані судна. Судно вважається завантаженим однорідним вантажем, без диференту і з осадкою по літню вантажну марку в солоній воді. Піднесення центра ваги судна обчислюється для наступного умовного стану завантаження:

- усі вантажні приміщення вважаються завантаженими повністю;
- кількість кожного виду судових запасів дорівнює 50% від повного. Центри ваги вмісту цистерн приймаються у центрі ваги їх об'єму. Повинні враховуватися поправки на вплив вільних поверхонь рідин;
- танки водяного баласту зазвичай повинні прийматися порожніми і для них не повинна враховуватися поправка на вільні поверхні.

Розмір пошкоджень судна за висотою приймається від основної лінії необмежено доверху. Глибина пошкодження, виміряна від внутрішньої кромки зовнішньої обшивки, під прямим кутом до діаметральної площини на рівні літньої вантажної ватерлінії, приймається такою, що дорівнює 1/5 ширини судна або 11,5 м залежно від того, що менше. Поперечні перегородки вважаються ефективними, якщо вони або поперечні площини, що проходять

через найближчі частини перегородок, які мають уступи, розташовані на відстані принаймні $1/3 L_1^{2/3}$ або 14,5 м, залежно від того, що менше.

Посадка і остійність пошкодженого судна повинна задовольняти наступним вимогам:

- метацентрична висота пошкодженого судна до вживання заходів до її збільшення повинна мати додатне значення;

- кут крену внаслідок несиметричного затоплення до початку випрямлення судна не повинний перевищувати 15° . Якщо при затопленні ні яка частина палуби перегородок не входить у воду, може бути допущене збільшення крену до 17° ;

- кінцева аварійна ватерлінія з урахуванням крену і диференту до початку випрямлення судна не повинна проходити вище від нижньої кромки отворів через які може відбуватися подальше затоплення;

- якщо будь-яка частина палуби перегородок поза межами відсіків, що затоплюються, входить у воду або якщо запас аварійної остійності є сумнівним, необхідно провести дослідження аварійної остійності на великих кутах крену. При цьому повинне бути показане, що значення максимального плеча діаграми статичної остійності пошкодженого судна становить не менше 0,1 м в межах нормованої протяжності (20°), протяжність частини діаграми з додатними плечима становить не менше 20° , а площа додатної ділянки діаграми становить не менше $0,0175 \text{ м}^2 \cdot \text{рад}$.

Результати розрахунків оформлюються у вигляді буклету «Розрахунок аварійної посадки та остійності судна типу В-60» з зазначенням у висновку, що аварійна посадка та остійність повністю задовольняє вимогам до судна типу В у якого допущене зменшення базисного надводного борту на 60% різниці між його значеннями для суден типу А та типу В Правил о вантажній марці морських суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр Судноплавства України. Том 2. Київ: 2020.

2. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр Судноплавства України. Київ: 2020.

УДК 629.5.072 + 378:656.61

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ВІДЕОПРОКЛАДЧИКА NC5000 ЗІ СКЛАДУ НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ NAVI-SAILOR (TRANSAS MARINE LTD)

Даниленко Д.Д., курсант, Алексішин А.В., к.т.н., доцент, Казак О.Р., зав. лабораторією

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Вступ. Сучасна підготовка судноводіїв у закладах вищої освіти вимагає практичного опанування електронних картографічних систем, які відповідають міжнародним стандартам ІМО та ІНО (International Maritime Organization - ІМО, International Hydrographic Organization - ІНО). Однією з таких систем є відеопрокладчик NC5000, що входить до складу навігаційного комплексу NAVI-SAILOR виробництва Transas Marine Ltd.

Як відомо, International Maritime Organization - спеціалізована установа ООН, відповідальна за визначення глобальних стандартів щодо безпеки, охорони морського транспорту та запобігання забруднення моря суднами і основними функціями ІМО є:

- розробка та ухвалення конвенцій, кодексів, керівних документів для морської галузі;
- створення рівних умов для міжнародного судноплавства та забезпечення того, щоб безпека та охорона навколишнього середовища не ставали «жертвами» економічного тиску;

- надання технічної підтримки державам-членам у впровадженні стандартів, наприклад, придатність систем *ECDIS* (електронна картографічна навігаційно-інформаційна система) інтеграція мостика, тощо).

Електронна картографічна навігаційно-інформаційна система *ECDIS* (*Electronic Chart Display and Information System*) використовується на судах як заміна традиційним паперовим картам. Вона відображає електронні навігаційні карти, інтегруючи їх із даними від систем глобального позиціонування, радарів та інших датчиків, що підвищує безпеку мореплавства та автоматизує процеси судноводіння. Основні функції *ECDIS* наступні.

1. Відображення даних: показує інформацію з електронних навігаційних карт (*ENC*), що відповідають стандартам Міжнародної гідрографічної організації (*IHO*).

2. Інтеграція з іншими системами: об'єднує дані від *GPS*, радарів, систем автоматичної ідентифікації суден (*AIS*), а також інформацію про швидкість та вітер.

3. Безпека навігації: забезпечує безпеку мореплавства, надаючи надійну інформацію про картографічну та навігаційну обстановку.

4. Альтернатива паперовим картам: при відповідних умовах та дублюванні може слугувати як засіб, що замінює паперові карти, згідно з вимогами міжнародних конвенцій, наприклад, *SOLAS* (*SOLAS* - Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі, *Safety of Life at Sea*, ключова міжнародна угода, яка встановлює стандарти безпеки для торгових суден, охоплює такі аспекти, як конструкція судна, безпека обладнання, радіозв'язок, екіпаж, вантажі та операції на морі, щоб запобігти аваріям та забезпечити безпеку людей на борту).

5. Спрощення планування: допомагає планувати маршрут, відстежувати положення судна, а також легко змінювати маршрут і дає сигнали тривоги у разі відхилення від курсу.

6. Автоматизація: автоматизує роботу судноводія, що підвищує рівень автоматизації на борту.

З точки зору навчання курсантів і студентів-судноводіїв за допомогою системи *ECDIS* /Відео-прокладчик, роль *IMO* полягає у тому, що вона визначає вимоги до обладнання і систем, які застосовуються на судах, у тому числі до електронних картографічних і прокладочних систем (наприклад, мінімальні функції *ECDIS*, резервні вимоги, відображення карт, сертифікація). Завдяки цьому навчальна тренажерна система повинна відповідати вимогам *IMO*, щоб бути релевантною сучасній морській практиці.

International Hydrographic Organization (IHO) - міжурядова організація, яка займається координацією діяльності національних гідрографічних служб та встановленням стандартів для гідрографії і морських навігаційних карт. Основні задачі *IHO*:

- забезпечити, щоб усі морські та судноплавні води світу були досліджені, задокументовані та картографовані;

- створювати стандарти (наприклад, *S-57*, *S-101* тощо) для навігаційних карт та обміну даними між країнами;

- сприяти безпеці судноплавства через точні й надійні навігаційні карти і супутнє забезпечення.

З точки зору підготовки у навчальних закладах, система відеопрокладчика (у складі *ECDIS*) має використовувати дані, що відповідають стандартам *IHO* (наприклад, формат карт, оновлення, точність), і тому навчальний процес на цих тренажерах має включати аспекти відповідності цим стандартам.

Таким чином, застосування програмно-апаратного комплексу *NAVI-SAILOR* виробництва *Transas Marine Ltd.* в навчальному процесі тренажерної підготовки курсантів - майбутніх судноводіїв, дозволяє моделювати реальні судові ситуації, відпрацьовувати практичні навігаційні задачі, планування маршруту, проводити корекцію карт та аналіз руху судна, що є **актуальним** завданням для закладів вищої освіти.

Основний матеріал. Відеопрокладчик *NC5000* реалізує функції електронної картографічної системи (*ECS/ECDIS*), що відображає навігаційну ситуацію у реальному часі. Система приймає дані від навігаційних датчиків (*GPS*, лаг, гірокомпас, ехолот, *AIS*, *PLC*) та забезпечує інтеграцію з іншими елементами мостика.

У повнофункціональній (комерційній) версії, основні функціональні можливості NC5000 (на основі NAVI-SAILOR, User Manual, ver. 3.xx) наступні:

- відображення електронних навігаційних карт формату *SENC, ENC, DNC*;
- планування маршруту з використанням *Waypoints, Rhumb Line* або *Great Circle*;
- моніторинг судна в реальному часі з урахуванням даних сенсорів;
- реєстрація та відтворення траєкторії руху (*track control*);
- накладання навігаційних об'єктів (буї, лінії, зони обмежень);
- корекція картових даних згідно офіційних *Notice to Mariners*;
- підтримка режиму *Conning Display* (індикація параметрів курсу, швидкості, дрейфу, вітру тощо).

Метою впровадження NC5000 у навчальний процес тренажерної підготовки є формування у курсантів практичних навичок:

- роботи з сучасними електронними картографічними системами (*ECDIS/ECS*);
- планування, контролю та оцінювання безпечного маршруту судна;
- ведення прокладки і журналу руху;
- аналізу навігаційних помилок і небезпечних зближень (*CPA, TCPA*);
- роботи з датчиками та засобами зв'язку у єдиній інтегрованій системі мостика.

Досвід проведення і організація навчального процесу з використанням відеопрокладчика NC5000, який реалізовано на лабораторних заняттях (наприклад, з дисциплін "Електронні навігаційні системи", "Навігація та керування рухом судна", "Інформаційні системи на судні", "Інтегровані місткові системи (*IBS*)"), дозволяє стверджувати високу ефективність його застосування.

На рис. 1 зображено екран електронної картографічної системи NAVI-SAILOR 4000 ECDIS. Тут відображаються дані про маршрут, позицію судна, глибини, ізобати та позначення навігаційних об'єктів. Цей режим використовується для прокладання маршруту та аналізу ситуації у прибережних водах.

На рис. 2 показано функціонування системи NAVI-SAILOR під час редагування навігаційних даних і створення маршруту. Екран відображає шари карт, панель інструментів ECDIS і таблицю *waypoint*-даних. Використовується у навчальному процесі для демонстрації послідовності побудови маршруту судна.

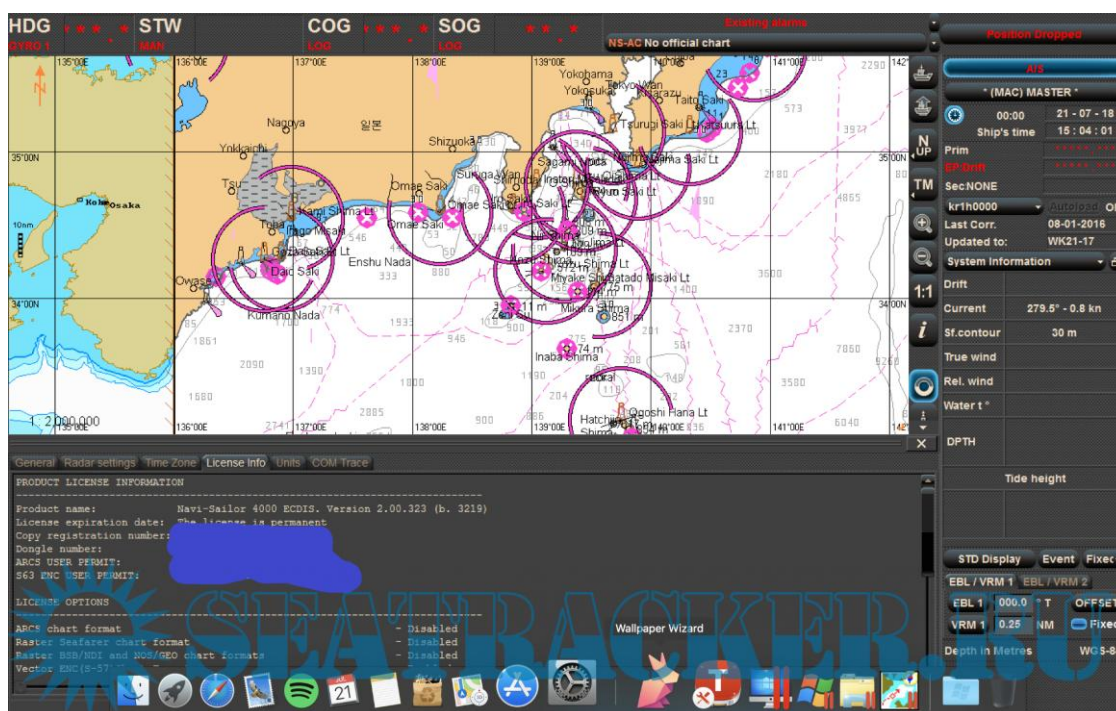


Рис. 1. Інтерфейс системи NAVI-SAILOR 4000 ECDIS під час відображення навігаційної ситуації [1-5]

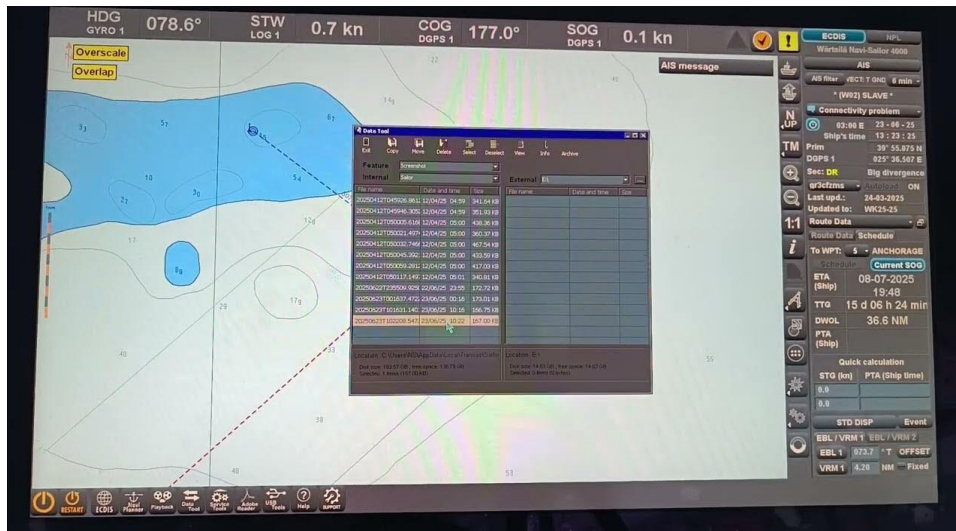


Рис. 2. Робота системи NAVI-SAILOR 4000 у режимі планування та редагування даних маршруту [1-5]

На рис. 3 наведено вигляд типового навчального тренажера *Transas*, що містить монітор з інтерфейсом *ECDIS* та пульт керування. Комплекс використовується для відпрацювання навігаційних завдань і моделювання процесів судноводіння.

У навчальних аудиторіях встановлені тренажери *Transas Navi-Trainer Professional 5000*, де кожне робоче місце курсанта обладнане персональним відеопрокладчиком *NC5000*, який відтворює інтерфейс і функціонал реальної системи на судні.

На лабораторних роботах курсанти виконують наступні завдання.

1. Створення нового маршруту із заданням контрольних точок (*Waypoints*) та розрахунком параметрів переходу.
2. Відображення зони безпечного плавання, створення обмежувальних полігонів.
3. Моніторинг руху судна з підключеними датчиками *GPS*, лаг, гірокомпас.



Рис. 3. Типовий навчальний тренажер Transas із встановленою системою відеопрокладчика NAVI-SAILOR

4. Аналіз записаних треків руху (*Playback mode*) для оцінки помилок прокладки.
 5. Відпрацювання дій у ситуаціях загрози зіткнення з використанням функцій *CPA/TCPA*.
 6. Використання бази карт *ENC* з актуальними оновленнями.
- Слід визначити де-які переваги у тренажерному навчанні за допомогою комплексу:
- а) висока відповідність реальним судновим умовам - система сертифікована за стандартами *IMO*, що гарантує автентичність інтерфейсу;

б) Інтерактивність - можливість одночасного навчання групи курсантів із централізованим контролем викладача;

в) моделювання надзвичайних ситуацій - відтворення аварійних сценаріїв і навчання прийняттю рішень;

г) автоматизація оцінювання - збереження логів, траскторій, помилок курсу для подальшого аналізу і розбору викладачем і курсантами.

За результатами впровадження NC5000 у навчальний процес суттєво скоротився час на виконання базових навігаційних вправ (на 25–30%), підвищилася точність розрахунків маршруту, покращилась наочність подачі матеріалу при лекціях із використанням демонстраційного режиму, з'явилася можливість автоматичного контролю правильності дій курсанта.

Висновки

1. Використання відеопрокладчика NC5000 системи NAVI-SAILOR у навчальному процесі будь якого морського університету (безумовно, при високій кваліфікації викладачів), забезпечує високу якість підготовки майбутніх судноводіїв. Система дозволяє не лише моделювати реальні навігаційні ситуації, але й формує у курсантів професійні компетенції, необхідні для роботи на сучасних судах із інтегрованими містковими системами.

2. З досвіду експлуатації визначені проблемні аспекти використання відеопрокладчика:

- необхідність регулярного оновлення карт ENC та баз даних;

- потреба в технічному обслуговуванні мережних підключень тренажерного комплексу;

- обмеження ліцензійного використання при одночасному доступі великої кількості користувачів.

3. Регулярне застосування NC5000 сприяє розвитку навичок ситуаційного аналізу, планування маршруту, контролю безпеки плавання та прийняття рішень у складних умовах мореплавства.

ЛІТЕРАТУРА

1. NAVI-SAILOR 4000 ECDIS: Transas Marine. Знімок екрана інтерфейсу системи. – Режим доступу: [\[https://www.nskmarine.com/upload/ns-4000-2.png\]](https://www.nskmarine.com/upload/ns-4000-2.png)(<https://www.nskmarine.com/upload/ns-4000-2.png>) (дата звернення: 30.10.2025).
2. NAVI-SAILOR 4000 / 5000. Інтерфейс навігаційного прокладчика. – Зображення з відеоогляду на YouTube. – Режим доступу: [\[https://i.ytimg.com/vi/TeXI7zhNhlU/maxresdefault.jpg\]](https://i.ytimg.com/vi/TeXI7zhNhlU/maxresdefault.jpg)(<https://i.ytimg.com/vi/TeXI7zhNhlU/maxresdefault.jpg>) (дата звернення: 30.10.2025).
3. Інтерфейс ECDIS Transas NAVI-SAILOR 4000: моніторинг курсу судна. – Seatracker Forum. – Режим доступу: [\[https://seatracker.ru/i/p/22/0c/220c7c68197f78154d6cf30c1354b045.png\]](https://seatracker.ru/i/p/22/0c/220c7c68197f78154d6cf30c1354b045.png)(<https://seatracker.ru/i/p/22/0c/220c7c68197f78154d6cf30c1354b045.png>) (дата звернення: 30.10.2025).
4. Відеопрокладчик Transas NAVI-SAILOR: приклад екрана під час демонстрації. – YouTube. – Режим доступу: [\[https://i.ytimg.com/vi/FCW2oXvpr28/maxresdefault.jpg\]](https://i.ytimg.com/vi/FCW2oXvpr28/maxresdefault.jpg)(<https://i.ytimg.com/vi/FCW2oXvpr28/maxresdefault.jpg>) (дата звернення: 30.10.2025).
5. Conning Display та навігаційний монітор Transas NAVI-SAILOR. – CIR SPB Marine Ltd. – Режим доступу: [\[https://cirspb.ru/images/data/ant/navicon.jpg\]](https://cirspb.ru/images/data/ant/navicon.jpg) <https://cirspb.ru/images/data/ant/navicon.jpg> (дата звернення: 30.10.2025).

ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ

Дорофєєв М.В., аспірант

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Вступ. Швидкий розвиток інформаційних та цифрових технологій докорінно змінив життя сучасного суспільства, вносячи істотні трансформації практично в усі сфери людської діяльності. Від охорони здоров'я до фінансів, від освіти до виробництва – сучасні технологічні рішення змінюють способи роботи, навчання та взаємодії людей у глобальному масштабі. Цифровізація охопила всі рівні суспільного життя – від побутової сфери до наукових досліджень.

Галузь судноводіння, яка тривалий час вважалася досить консервативною, нині також переживає безпрецедентну технологічну трансформацію. Найновіші досягнення у сфері цифрових технологій дають змогу оптимізувати робочі процеси, прискорити виконання завдань, знизити ризик аварійності та мінімізувати негативний вплив людського фактору під час прийняття рішень [1, 2].

Актуальність теми. У сучасних умовах забезпечення безпечного маневрування суден є складним і багатофакторним завданням, що потребує високого рівня управління навігаційною інформацією. Зі зростанням інтенсивності морських перевезень, збільшенням розмірів суден і ускладненням умов плавання підвищуються вимоги до точності, оперативності та достовірності навігаційних даних. Тому особливої важливості набуває впровадження сучасних інформаційних та цифрових технологій, здатних оптимізувати процеси прийняття рішень і мінімізувати ризики, пов'язані з людським фактором.

Отже, опис і обґрунтування застосування сучасних інформаційних і цифрових технологій, а також дослідження напрямів їх подальшого розвитку у сфері безпеки судноводіння є надзвичайно актуальною науковою та практичною задачею. Вони становлять основу для створення інтелектуальних систем управління морським транспортом, що сприятимуть підвищенню ефективності, надійності й екологічної безпечності сучасного мореплавства.

Постановка задачі. Автоматизація суден за допомогою технологій штучного інтелекту (ШІ) є одним із ключових напрямів розвитку сучасної морської галузі. Системи ШІ, встановлені на борту суден, здатні аналізувати значні обсяги інформації в режимі реального часу – погодних умов і стану моря до руху інших суден та технічних параметрів власного корабля. Такий підхід забезпечує новий рівень ефективності управління судном і безпеки судноплавства.

Штучний інтелект лежить в основі систем підтримки прийняття рішень, які допомагають капітанам та штурманам обирати оптимальні дії на основі комплексного аналізу даних, отриманих із великої кількості різних джерел.

Предиктивні моделі, побудовані на базі ШІ, дозволяють прогнозувати найефективніші маршрути, враховуючи не лише поточні параметри навігаційного середовища, а й можливі зміни погоди, течій або морського трафіку. Це значно підвищує ефективність перевезень і знижує ризики, пов'язані з несприятливими умовами чи людськими помилками [3].

Згідно зі звітом компанії Orca AI, сучасні навігаційні системи на основі ШІ вже демонструють високі результати:

- зменшення ризику зіткнень на 30-40%;
- скорочення витрат палива до 15%;
- підвищення точності прогнозування часу прибуття до 99% [4].

Ці показники переконливо свідчать, що використання ШІ у морській навігації є не просто технологічною інновацією, а важливим етапом еволюції морського транспорту.

Штучний інтелект відіграє ключову роль у створенні безпечнішого та більш контрольованого середовища для моряків і суден. Сучасні інтелектуальні технології дають змогу істотно підвищити рівень захисту від різноманітних загроз – як природних, так і техногенних або людських.

Системи ШІ, призначені для запобігання аваріям на морі, здатні аналізувати великі обсяги навігаційних і технічних даних у режимі реального часу. Вони враховують параметри руху суден, погодні умови, стан обладнання та навколишнє середовище. Такий підхід дозволяє **прогнозувати потенційно небезпечні ситуації, надавати екіпажу своєчасні попередження та пропонувати оптимальні рішення** для уникнення зіткнень або інших інцидентів, що відображено на рисунках 1-3.



Рисунок 1. Прогнозування потенційно небезпечної ситуації

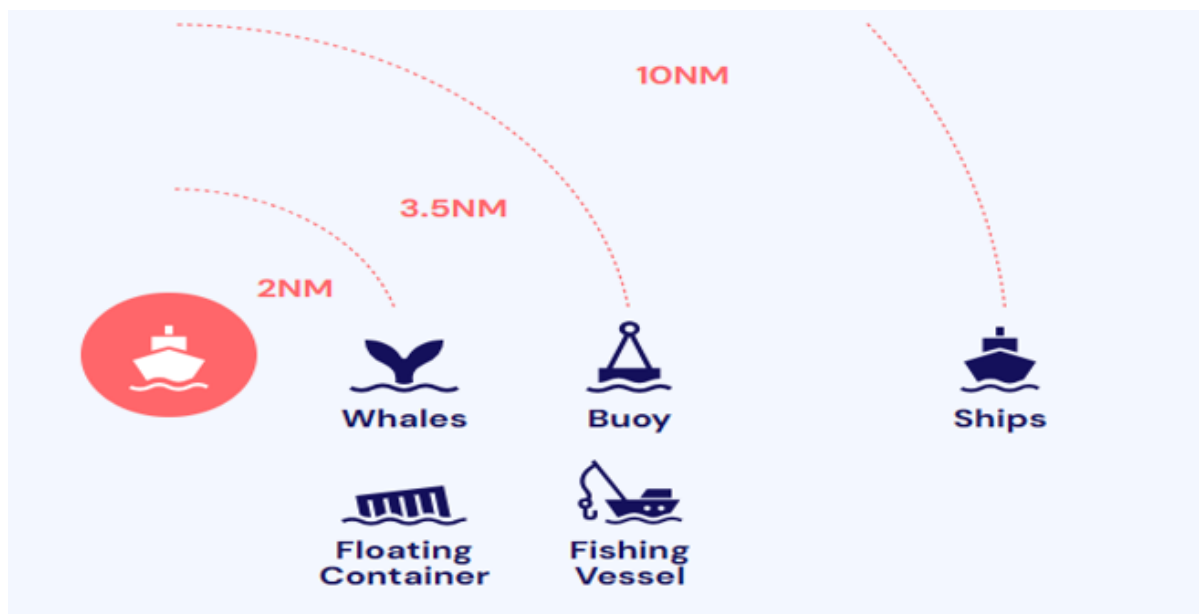


Рисунок 2. Своєчасні попередження

Використання штучного інтелекту для виявлення загроз у морі ґрунтується на застосуванні алгоритмів розпізнавання образів і виявлення аномалій. Такі системи здатні аналізувати динаміку руху суден та розпізнавати нетипову поведінку об'єктів, що може свідчити про піратську активність, незаконний вилов риби або інші потенційно небезпечні дії. Інтелектуальні алгоритми підвищують ефективність систем раннього попередження та забезпечують своєчасне реагування на можливі інциденти.

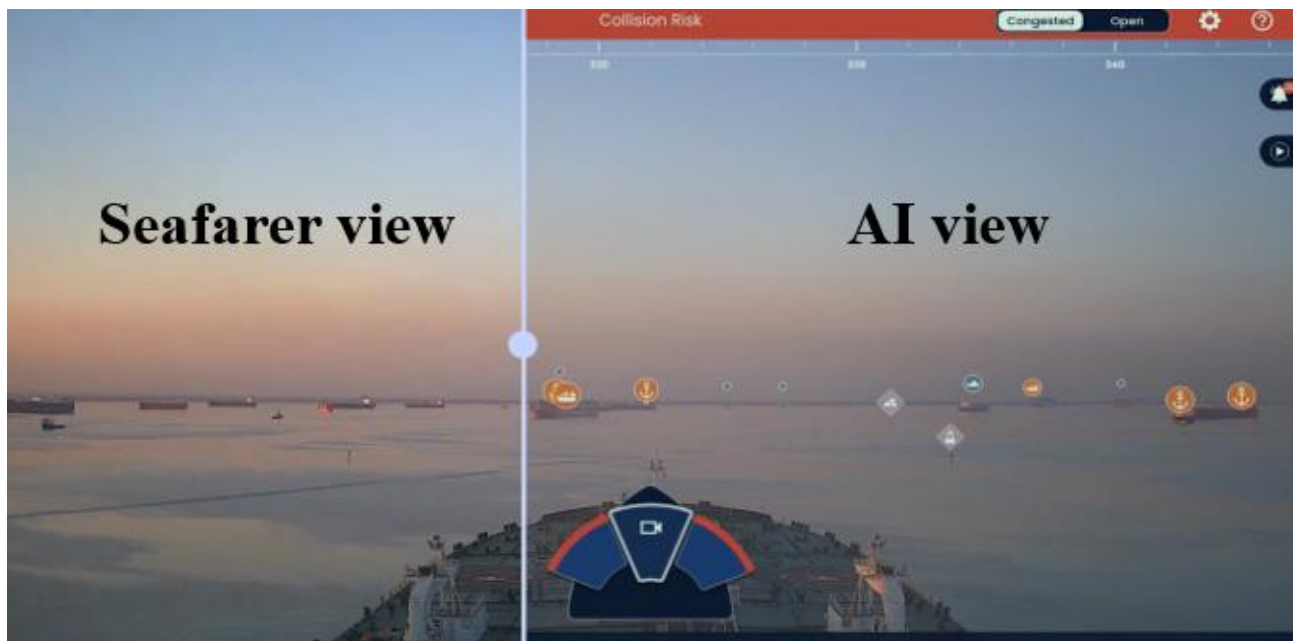


Рисунок 3. Допомога у прийнятті рішень для уникнення зіткнень

Таким чином, інтеграція технологій штучного інтелекту у процеси забезпечення морської безпеки формує якісно новий рівень захисту суден, екіпажів і вантажів. Використання інтелектуальних систем дозволяє не лише швидко реагувати на загрози, але й передбачати їх виникнення, що становить основу сучасної концепції проактивної безпеки у мореплавстві.

Висновки. Сучасні технології з кожним днем відіграють усе більш важливу роль у сфері судноводіння. Їхнє впровадження вже суттєво полегшило виконання численних операцій, скоротило час на обробку інформації та зменшило вплив людського фактору під час прийняття рішень. Це має велике значення, адже за статистикою більшість інцидентів у морі пов'язані саме з людськими помилками. Активніше використання штучного інтелекту дозволяє значно знизити ризики, пов'язані з такими ситуаціями.

Подальший розвиток і масштабніше впровадження систем штучного інтелекту дасть змогу ще більше автоматизувати судові процеси, підвищити точність і якість навігаційних рішень, зменшити енерговитрати екіпажу, скоротити кількість аварійних ситуацій та загалом покращити рівень безпеки на морі.

З огляду на вищевикладене, можна зробити висновок, що впровадження сучасних цифрових технологій має позитивний і довготривалий вплив на розвиток морської галузі. Водночас, попри численні переваги, використання штучного інтелекту у судноводінні потребує зваженого підходу до питань безпеки, надійності, кіберзахисту та правового регулювання. Для успішного застосування таких технологій важливо забезпечити баланс між автоматизацією процесів і контролем з боку людини, що стане запорукою безпечного та ефективного розвитку морського транспорту в майбутньому.

ЛІТЕРАТУРА

1. MacKinnon S. N., Weber R., Olindersson F., and Lundh M. Artificial Intelligence in Maritime Navigation: A Human Factors Perspective/In book: Advances in Human Aspects of Transportation, N. Stanton (Ed.): AHFE 2020, AISC 1212, pp. 429-435.
2. Ben, A. & Cherniavskyi, Vasyl & Nosov, Pavlo. (2024). Системи підтримки прийняття рішень та технології штучного інтелекту – нові реалії розвитку сучасного судноводіння.
3. Штучний інтелект у морській галузі: комплексна трансформація від навігації до екології.
[URL:https://stellamaris.org.ua/shtuchnyj-intelekt-u-morskij-galuzi/](https://stellamaris.org.ua/shtuchnyj-intelekt-u-morskij-galuzi/)
4. Orca AI platform drives reduction in CO2 emissions and fuel spend.
[URL:https://www.orca-ai.io/resource/2023-safety-and-efficiency-gains/?utm_source=chatgpt.com](https://www.orca-ai.io/resource/2023-safety-and-efficiency-gains/?utm_source=chatgpt.com)

THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE MARITIME DOMAIN

Grygorov A.D., graduate student; Astaykin D.V., Ph.D., associate professor

National University «Odesa Maritime Academy» (Ukraine)

Introduction. The maritime industry constitutes a fundamental pillar of the global economy, facilitating over 90% of the world's trade in commodities and raw materials. Nevertheless, the contemporary shipping sector is grappling with a multitude of challenges: adverse weather conditions, increasing vessel traffic density, stringent environmental mandates, the persistent risk of human error, and the imperative for heightened efficiency and safety. In response to these demands, the industry is vigorously pursuing the adoption of digital technologies, notably Artificial Intelligence (AI) systems, which are fundamentally transforming conventional approaches to navigation, vessel management, technical maintenance, logistics, and safety.

AI integration in the maritime domain extends beyond the mere automation of routine processes, generating new paradigms for real-time decision-making underpinned by the analysis of voluminous data sets. Modern AI systems facilitate the optimisation of voyage planning, forecast potential technical failures, enhance crew **situational awareness**, ensure **compliance** with international safety and environmental standards, and support personnel competency development through next-generation simulators.

The objective of this comprehensive review article is to conduct an integrated analysis of current trends, implementation practices, and pivotal challenges associated with the application of AI in shipping. Particular emphasis is placed on navigational systems, vessel management, and ship systems control in routine operational contexts. The paper reviews the historical development milestones of digital technologies in the maritime sector, analyses case studies of leading AI solutions integration, outlines critical integration issues, and proposes recommendations for the future trajectory of the industry.

Key Technological Milestones:

- **AIS (Automatic Identification System):** Facilitates the automated exchange of data between vessels and shore-based services, thereby enhancing navigational safety and vessel traffic management efficacy.
- **ECDIS (Electronic Chart Display and Information System):** A compulsory electronic chart system that has become the standard for modern navigation, integrating data from various sensors and ensuring automated hazard detection, route optimisation, and compliance monitoring of SOLAS requirements.
- **INS (Integrated Navigation System):** Consolidates data inputs from GNSS, radar, AIS, and gyroscopes, delivering comprehensive situational awareness and Bridge Decision Support (BDS).
- **GNSS (Global Navigation Satellite Systems):** Provides the foundational global capability for precise vessel positioning; contemporary systems leverage Machine Learning (ML) to improve positional accuracy under complex conditions (e.g., within port areas or during radio-frequency interference).
- **ML (Machine Learning):** Algorithms applied to large data arrays for the purpose of predictive failure analysis, route optimisation, detection of vessel behaviour anomalies, and enhancement of overall fleet operational efficiency.

The evolution of these digital technologies in shipping has thus established the essential preconditions for the broad adoption of AI, which is now emerging as a critical factor in augmenting the safety, operational efficiency, and long-term resilience of maritime transport.

Analysis of AI Application in Maritime Operations. The contemporary market for AI technologies in shipping is characterised by a high degree of maturity, with established solutions available for navigation, collision avoidance, route optimisation, predictive maintenance, and bridge decision support. Leading corporations (such as Maersk, Wärtsilä, ABB, Kongsberg, Orca AI, and Sinay) have already integrated these systems into daily operations, realising significant economic, environmental, and safety advantages.

Table 1. Overview of Contemporary AI Technologies in Shipping

Technology Designation	Primary Function/Application	Maturity Level	Implementation Examples/References
AI Sensor Fusion	Consolidation of data from disparate sensors	High	Orca AI, Electronics (2024)
Collision Avoidance AI	Avoidance of Collision and close-quarters situations	High	Ocean Engineering (2024), Journal of Marine Science
Route Optimization AI	Strategic Voyage Planning	High	Sinay, Transportation Research Part E (2023)
Predictive Maintenance AI	Forecasting machinery and system failures (P-Mx)	High	Wärtsilä, Maersk Line
Weather Routing AI	Dynamic route adaptation based on meteorological conditions	High	Applied Sciences (2025), Maritime Tales
Real-Time Decision Support	Cognitive assistance for the bridge team	High	IBM Mayflower, IMA Financial Group
Autonomous Docking Systems	Automated approach and mooring operations	Medium	MOL, Yara Birkeland
Traffic Pattern Recognition	Analysis of Vessel Traffic Service (VTS) patterns	High	Port of Rotterdam, Geo-spatial Information Science
Energy Efficiency Optimization	Minimisation of fuel consumption (EEOI reduction)	High	Maersk, IMO Report (2023)
Dynamic Risk Assessment	Real-time evaluation of operational risks	Medium	Marine Professional (2025), UC Berkeley
Anomaly Detection AI	Identification of unexpected threats or irregular operations	Medium	Lancaster University, BMT
Vessel Behavior Prediction	Forecasting of other vessels' manoeuvres	Medium	IEEE OES Oceans (2024), arXiv (2025)
COLREGs Compliance AI	Ensuring adherence to the International Regulations for Preventing Collisions at Sea	High	ABB, Kongsberg, Journal of Marine Science
Continuous Learning Systems	Autonomous learning and system self-refinement	Medium	Mayflower, Applied Sciences (2025)
Arctic Navigation AI	Navigation under severe ice and polar conditions	Medium	IceNet, NTNU, Johns Hopkins APL
Crew Workload Reduction AI	Lowering the cognitive burden on the bridge team	High	Yara Birkeland, ICS Report
Shore Integration AI	Optimising communication and synergy with Shore Control Centres (SCC)	High	HD Hyundai, Wärtsilä
Augmented Reality Navigation	AR systems for enhanced visual navigational awareness	Medium	Fraunhofer ISIT, SAMIPA, Furuno
AI Simulation Tools	Crew training and system testing/validation	High	Wärtsilä, MOL, AILiveSim

Autonomous Surface Vessels (ASVs) and Projects.

Yara Birkeland represents the world's inaugural fully electric autonomous container vessel, which commenced commercial operation in Norway in 2022. The vessel is equipped with auto-piloting, auto-docking, AI-driven situational awareness, and remote monitoring capabilities from a shore control centre. In over two years of operation, *Yara Birkeland* has completed more than 170 voyages, demonstrating a substantial reduction in CO₂ emissions, decreased expenditure on crew complements, and augmented safety due to the minimisation of the **human element**.

Mayflower Autonomous Ship is a research initiative by IBM and ProMare involving a transatlantic crossing of an autonomous vessel guided by an AI-Captain. The system makes complex navigational decisions regarding route planning, collision avoidance, meteorological responses, and oceanographic data collection. This project has substantiated the feasibility of protracted unmanned autonomous voyages and the critical role of AI in deep-sea safety and efficiency.

Numerous global projects, including those by *MOL*, *DFFAS (Japan)*, *REVOLT (DNV-GL)*, and *AAWA (Rolls-Royce)*, illustrate the progressive implementation of autonomous functions, ranging from automated docking to fully uncrewed coastal voyages.

Navigational Assistance and Collision Avoidance Systems.

Orca AI is a multi-sensor AI-fusion platform (cameras, radar, AIS, LIDAR) designed to enhance crew situational awareness, facilitate automated target detection, provide early hazard warnings, and reduce bridge workload. The platform's integration has reportedly reduced navigational incidents by 74% and yielded annual fuel cost savings of up to \$100,000 per vessel.

SEA.AI is a specialised computer vision system for detecting objects on the water surface (e.g., persons, buoys, small craft) under challenging visibility conditions, significantly improving navigational safety, especially in congested port approaches and areas with restricted visibility.

ABB Marine Pilot Vision is an AI system that generates a 3D model of the vessel's surroundings, offering essential decision support during intricate manoeuvring (e.g., in high-traffic ports), thus augmenting navigational precision and safety.

Route Optimization and Weather Routing.

Platforms by Sinay, CMA CGM, and NYK Group utilise AI for route optimisation, incorporating meteorological forecasts, traffic density, port restrictions, and environmental mandates. For instance, CMA CGM's partnership with Google employs AI for route optimisation, container management, and demand forecasting, leading to a demonstrable 5-10% reduction in fuel consumption and associated CO₂ emissions.

The IBM Prithvi WxC model is an open-source AI model for marine weather forecasting, trained on 40 years of NASA data, which significantly increases forecast accuracy and optimises voyage planning even when utilising standard computing infrastructure.

Predictive Maintenance (P-Mx).

Maersk Line and Wärtsilä Fleet Operations deploy AI systems for real-time condition monitoring of critical machinery such as engines, generators, and pumps. These systems analyse sensor data to forecast potential failures up to 30 days in advance, enabling proactive maintenance scheduling and mitigating unscheduled downtime by 15-35%, while reducing repair costs by up to 20%.

Fleet Management and Vessel Operations.

Cloud Fleet Manager and LR OneOcean exemplify integrated AI platforms for the centralised management of the fleet, manning, documentation, compliance with international standards, and optimisation of operational procedures. These systems automate routine tasks, ensure data transparency between the vessel and the Shore Control Centre (SCC), enhance overall efficiency, and lead to a substantial reduction in administrative overhead.

Port Systems and Logistics.

The Port of Rotterdam and Singapore's Next Generation Port leverage AI systems to optimise berthing schedules, manage container flows, and forecast vessel estimated time of arrival (ETA) with an accuracy reaching within 20 minutes. This advanced functionality has facilitated a reduction in vessel waiting time by 20% and an equivalent 20% reduction in CO₂ emissions per port call.

Vessel Systems Security and Cybersecurity.

AI is proactively employed for network activity monitoring, anomaly detection, and defence against cyberattacks (e.g., targeting AIS, ECDIS, or ship control systems), as well as for ensuring data integrity and automated incident response. The implementation of AI-driven Intrusion Detection Systems (AI-IDS) enables real-time threat identification, effectively mitigating security risks to the vessel and the ship's complement.

Monitoring and Surveillance Systems.

AI-driven sensor fusion (integrating radar, LIDAR, cameras, and AIS data) provides a cohesive and holistic picture of the vessel's immediate surroundings. This technology enhances the accuracy of target detection and facilitates operations under adverse meteorological conditions and restricted visibility. Modern systems achieve over 90% object detection accuracy and reduce the occurrence of false alarms by approximately 70%.

Crew Training and Simulation.

AI-enhanced simulators (Wärtsilä NaviTrainer 5000, Kongsberg K-Sim, Nautilus 3D) are utilised to create highly realistic scenarios for crew training. They dynamically adapt the complexity of the exercise to the trainee's proficiency level, analyse seafarer behaviour, and provide personalised feedback. AI analytics objectively evaluate the crew's skills, stress levels, attention span, and communication during simulation, thereby significantly elevating the quality of competency development and the readiness to manage emergency situations (contingency planning).

Key Challenges to AI Implementation.

Regulation and Standardisation. The pace of AI and autonomous system adoption in shipping is currently outpacing the revision of the existing international regulatory framework. The International Maritime Organization (IMO) completed a significant Regulatory Scoping Exercise on Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) from 2021-2025, which defined four degrees of autonomy and highlighted gaps within current mandatory instruments (SOLAS, COLREG, STCW). Although the first non-mandatory Global MASS Code entered force in 2025, a compulsory code for autonomous vessels is anticipated by 2030.

Key regulatory considerations include:

- Defining the specific role and liability of the Master, the onboard crew, and the remote shore operators.
- Ensuring system compliance with international requirements for safety, environmental protection, and Search and Rescue (SAR).

- Standardisation of system interfaces, data exchange protocols, and stringent cybersecurity provisions.
- Establishing legal liability in the event of casualties or catastrophic failures of AI systems.

Ethical Considerations, Accountability, and Decision-Making. AI systems are entrusted with decisions that possess critical ramifications for human life, the environment, and property. The primary ethical issues are:

- The transparency and explainability of AI decisions (the "Black Box" problem).
- Prevention of algorithmic bias (e.g., in resource allocation or port prioritisation).
- Determination of accountability in case of casualties: software developer, shipowner, operator, or the AI system itself.
- The essential adherence to the principles of "Good Seamanship" and established international ethical standards.

Data Quality, Interoperability, and Infrastructure. The robust performance of AI models is contingent upon the quality, completeness, and timeliness of data acquired from sensors, AIS, ECDIS, and port infrastructure. Core difficulties include:

- A prevalent absence of unified, cross-industry data standards.
- Data incompleteness or "noise" resulting from sensor malfunctions or adverse operating conditions.
- The inherent complexity of integrating contemporary AI solutions with existing legacy systems onboard vessels.
- The imperative for the development of supporting digital infrastructure, particularly within the ports of emerging economies.

Cyber Risks and Data Protection. The escalating digitisation and connectivity of vessels significantly elevate the risk of cyber threats, ranging from the manipulation of AIS/ECDIS data to interference with vessel control systems. AI concurrently serves in a defensive capacity (AI-IDS, Anomaly Detection) and can be a target of adversarial attacks (e.g., Data Poisoning). The shortage of high-quality maritime cybersecurity data sets, the difficulty of maintaining continuous monitoring, and the necessity for enhanced international coordination remain acute challenges.

Crew Competence and Readiness for Change. The introduction of AI and automation fundamentally shifts the role of the seafaring personnel from an operator to a supervisor of autonomous systems. This necessitates:

- Developing digital literacy and proficiency in interacting with AI systems.
- Implementing continuous professional development and adaptation to emerging technologies.
- Fostering essential soft skills (communication, leadership, resilience) for effective work within hybrid "human-AI" teams.
- Overcoming resistance to change, particularly among experienced seafarers accustomed to traditional seafaring practices.

Conclusion. Artificial Intelligence is demonstrably the core catalyst driving the transformation of the maritime industry, promising significant enhancements in safety, efficiency, environmental sustainability, and sectoral competitiveness. Leading organisations have already operationalised AI solutions across navigation, route optimisation, maintenance, fleet management, port operations, crew training, and cybersecurity. Practical operational experience (Yara Birkeland, Mayflower, Orca AI, Wärtsilä, Maersk, Port of Rotterdam) substantiates tangible benefits: cost reductions, lower casualty rates, increased environmental responsibility, and enhanced logistics agility.

Nevertheless, this strategic integration is fraught with multiple challenges, ranging from regulatory and ethical complexities to issues concerning data integrity, cybersecurity, and crew training. To ensure a successful digital transformation of the maritime domain, the following is imperative:

- Develop international standards and a consistent regulatory framework for MASS and AI systems, maintaining a necessary equilibrium between innovation, safety, and accountability.
- Substantially invest in digital infrastructure, data unification, and cyber-defences at every level, from vessel to port infrastructure.
- Ensure continuous professional development and rigorous competency-based training for seafarers, developing both technical and soft skills, and preparing them for effective collaboration within "human-AI" teams.
- Institutionalise robust ethical principles, transparency, and explainability in AI decision-making processes, preventing algorithmic bias and ensuring a fair distribution of responsibility.
- Promote comprehensive inter-sectoral and international cooperation to facilitate knowledge sharing, collaborative solution development, and bolster the resilience of the global maritime infrastructure.

In the long term, AI is poised to become an inseparable component of "Smart Shipping," delivering not only pervasive automation but also a transformative enhancement in decision quality, safety, ecological compatibility, and the sustained resilience of maritime transport in the 21st century.

REFERENCES

1. Durlík, I., Miller, T., Kostecka, E., Kozłowska, P., & Ślęczka, W. (2025). Enhancing safety in autonomous maritime transportation systems with real-time AI agents. *Applied Sciences*, 15(9), 4986.
2. Bařhan, V., et al. (2025). AI-driven sensor fusion enhances autonomous ship situational awareness. *Ocean Engineering*, 273.
3. Choi, S., & An, J. (2024). Multisensor feature selection for maritime target estimation. *Electronics*, 13(22), 4497.
4. Wang, Y., Xu, H., Feng, H., He, J., et al. (2024). Deep reinforcement learning based collision avoidance system for autonomous ships. *Ocean Engineering*, 292, 116527.
5. Chen, G., Huang, Z., Wang, W., & Yang, S. (2024). A novel dynamically adjusted entropy algorithm for collision avoidance in autonomous ships based on deep reinforcement learning. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(9), 1562.
6. Li, H., & Yang, Z. (2023). Incorporation of AIS data-based machine learning into unsupervised route planning for maritime autonomous surface ships. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 176, 103171.
7. Sinay. (2023). 5 Ways to Reduce Operational Costs in the Maritime Industry Using AI. Sinay Maritime Blog.
8. NCS Pte. Ltd. (2023). Navigating new horizons: The dawn of Everything AI in the maritime industry (White paper, Case Study 2 – Maersk Line).
9. Orca AI. (2023). Sensor Fusion Technology for Autonomous Shipping (White Paper).
10. Kang, B.-S., Jung, C.-H., Kim, K., Kim, H., & Kim, D.-H. (2025). Development of Automatic Berthing Support Program for Autonomous Ships. *Applied Sciences*, 15(1), 228.
11. Hakirevic Prevljak, N. (2025, May 8). Yara Birkeland, world's 1st fully electric autonomous containership, marks 3 years in service. Offshore Energy.
12. Xie, Z., Tu, E., Fu, X., Yuan, G., & Han, Y. (2025). AIS data-driven maritime monitoring based on Transformer: A comprehensive review. *arXiv:2505.07374* [cs.LG].
13. Sturgis, B., et al. (2024). Intelligent Trajectory Prediction and Behavior Classification for Vessels. *IEEE OES Oceans Conference 2024*.
14. Safety4Sea. (2025). The future of seafarer training: Balancing technology and human skills.

ВИЗНАЧЕННЯ ШИРОТИ СУДНА ЗА ЗОРЯМИ В АВАРІЙНІЙ СИТУАЦІЇ БЕЗ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ

Босаджи І.С. курсант, група 1302, Дворецький В.О. керівник, к.т.н., доцент кафедри судноводіння

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Морська практика невід’ємно пов’язана з ризиками та непередбачуваними ситуаціями. Аварійні випадки в морі вимагають від кожного члена екіпажу не лише мужності а й високого рівня професійної підготовки. У разі виходу з ладу навігаційних приладів саме знання основ морехідної астрономії дозволяє моряку не втрачати орієнтацію та впевнено продовжувати виконання своїх обов’язків. Уміння визначати місцезнаходження судна за небесними світилами - це не просто залишок традицій, а важлива складова сучасної морської безпеки. Розуміння небесної навігації допомагає не лише врятувати судно в аварійній ситуації, а також підтримувати дисципліну, порядок і моральну стійкість екіпажу, коли техніка безсила. Саме тому майбутні судноводії повинні розвивати в собі готовність діяти за будь-яких умов, покладаючись на професійні знання й навички.

У разі виходу з ладу навігаційних засобів у нічний час можливе визначення широти судна за спостереженням небесних світил насамперед - Полярної зорі. Полярна зоря розташована поблизу північного небесного полюса і її висота над горизонтом практично дорівнює географічній широті спостерігача. Це явище використовується для орієнтовних астрономічних визначень у разі відсутності приладів.

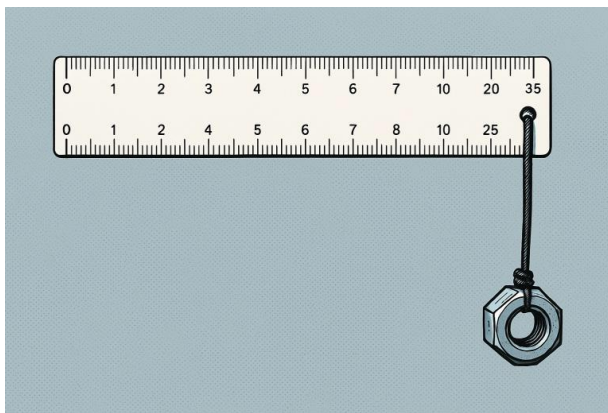


Рисунок 1. Пристрій

За відсутності секстанта висоту зорі можна виміряти імпровізованим кутомірним пристроєм, який виготовляють із підручних матеріалів (Рис.1):

- пряма планка або лінійка довжиною 25–30 см
- міцна нитка завдовжки близько 40 см
- невеликий вантаж (гайка, болт, та ін.).

Конструкція та принцип дії (Рис 2).

До одного кінця лінійки прив’язують нитку з вантажем, утворюючи найпростішу астролябія. Коли лінійку тримають горизонтально, нитка під дією сили тяжіння займає строго вертикальне положення. Під час спостереження один край лінійки суміщають із лінією горизонту, а другий спрямовують на зорю. Після фіксації напрямку нитка утворює з лінійкою кут, який відповідає куту підняття світила над горизонтом - тобто його висоті.



Рисунок 2. Вимірювання висоти

Приклад вимірювання

Якщо вискомір показує відхилення від вертикалі на 43° , то:

$$\varphi \approx h = 43^\circ,$$

де φ - широта місця спостереження. Похибка такого способу становить близько $2-3^\circ$, що є прийнятним для орієнтовного визначення місцезнаходження судна в аварійних умовах.

Практичні рекомендації

- Вимірювання слід виконувати на рівні очей спостерігача, з відкритою видимістю горизонту,
- Під час сильного хитання рекомендується провести кілька вимірювань і усереднити результати,
- У Південній півкулі цей метод не застосовується, оскільки Полярна зоря невидима; орієнтування здійснюють за сузір'ям Південний Хрест та його уявною проекцією на південний небесний полюс.

Знання основ астрономічної навігації є важливою частиною професійної компетентності моряка. В екстремальних умовах коли прилади відмовляють, лише навички спостереження за небесними світилами можуть забезпечити орієнтування та безпеку судна. Відповідальність, зібраність і готовність діяти на основі знань - це не лише ознака професіоналізму, а й моральний обов'язок кожного мореплавця.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bowditch, N. The American Practical Navigator
2. House, D. — Marine Emergencies: For Masters and Mates
3. Хоменко, В. І. Астрономічна навігація та визначення місця судна

УДК 004.8:621.39

БЕЗПЕКА МОРЕПЛАВСТВА АВТОНОМНИХ СУДЕН

Дмитро Міхалець, курсант 1491 група

Національний університет “Одеська Морська Академія”, Україна

Морська індустрія стоїть на порозі революції, рушієм якої є морські автономні надводні судна (MASS). Ці технології обіцяють кардинально змінити світову логістику завдяки підвищенню операційної ефективності, зниженню витрат та усуненню ризиків, пов'язаних із людським фактором. Однак їх інтеграція створює безпрецедентні виклики для безпеки мореплавства, оскільки традиційні норми, закріплені в конвенціях МППЗС-72 та SOLAS,

розроблялися виключно для суден під керуванням людини. Таким чином, майбутнє автономного судноплавства залежить від успішного вирішення проблем кібербезпеки, надійності систем та взаємодії з традиційними суднами.

Концепція та рівні автономності (MASS)

Міжнародна морська організація (ІМО) визначає MASS як «судно, яке, тією чи іншою мірою, може функціонувати незалежно від взаємодії з людиною» та пропонує класифікацію за чотирма рівнями автономності:

1. Судно з автоматизованими процесами: Екіпаж присутній на борту і повністю контролює судно, отримуючи підтримку від автоматизованих систем.
2. Дистанційно кероване судно з екіпажем на борту: Судном можна керувати з берегового центру, але екіпаж залишається для контролю та втручання в надзвичайних ситуаціях.
3. Дистанційно кероване судно без екіпажу на борту: Повне управління здійснюється оператором із берегового центру через надійний канал зв'язку.
4. Повністю автономне судно: Штучний інтелект (ШІ) самостійно приймає та виконує всі рішення без втручання людини.

Впровадження таких суден обіцяє підвищення безпеки за рахунок мінімізації людського фактора (близько 80% морських інцидентів), значну економічну ефективність через економію на утриманні екіпажу та оптимізацію архітектури судна, а також покращену паливну ефективність завдяки аналізу величезних масивів даних для прокладання оптимальних маршрутів.

Ключові технології безпечної навігації

Безпека MASS залежить від злагодженої роботи трьох основних груп технологій:

- Системи сприйняття: Це цифрові «очі та вуха» судна, що створюють повну картину оточення. До них належать радары, LiDAR (лазерне сканування), камери високої роздільної здатності (оптичні та інфрачервоні), Автоматична ідентифікаційна система (AIS) та глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS).
- Штучний інтелект та системи прийняття рішень: Це «мозок» судна. Алгоритми злиття даних (Data Fusion) об'єднують інформацію з усіх сенсорів, а машинне навчання та нейронні мережі аналізують ситуацію, прогнозують ризики та обирають оптимальні маневри відповідно до МППЗС-72.
- Системи зв'язку та дистанційного керування: Надійний супутниковий зв'язок та берегові центри управління є критично важливими для дистанційного контролю та можливості екстреного втручання.

Основні виклики та ризики для безпеки

Незважаючи на технологічний прогрес, існує низка серйозних викликів:

- Кібербезпека: Автономні судна є привабливою цілью для кібератак, включаючи злам системи управління, підміну навігаційних сигналів (spoofing) або блокування зв'язку (jamming).
- Надійність технологій: Відмова ключових сенсорів або приховані програмні збої можуть призвести до непередбачуваної та небезпечної поведінки судна. Для мінімізації цих ризиків необхідне повне дублювання всіх критичних систем.
- Дотримання МППЗС-72 та взаємодія з традиційними суднами: ШІ складно інтерпретувати неформалізовані поняття правил, як-от «добра морська практика». Взаємодія з суднами, керованими людиною, ускладнена через відсутність неформальної комунікації.
- Вплив екстремальних погодних умов: Сильний дощ, туман або шторм можуть погіршити роботу сенсорів, вимагаючи від ШІ надзвичайно складних адаптивних алгоритмів для забезпечення безпеки.

Регуляторні та правові аспекти

Технологічний розвиток MASS значно випереджає розробку відповідної правової бази, створюючи «правовий вакуум». ІМО відіграє провідну роль у вирішенні цієї проблеми, проводячи регуляторний аналіз існуючих конвенцій для їх адаптації до експлуатації MASS.

Очікується, що до 2028 року буде ухвалено міжнародний Кодекс MASS, який встановить єдині стандарти.

Одним із найскладніших питань є відповідальність у разі інцидентів. Традиційна модель, де відповідальність несе капітан, руйнується. В екосистемі MASS ланцюжок потенційно відповідальних сторін значно довший: судновласник, розробник програмного забезпечення, виробник обладнання, оператор берегового центру. Це вимагає створення нових міжнародних конвенцій та комплексних режимів розподіленої відповідальності.

Висновки

Автономне судноплавство — це невідворотне майбутнє морської галузі. Однак перехід від «технологічно можливого» до «юридично дозволеного та глобально безпечного» є головним викликом.

1. Технологічна готовність не означає безпеку: Ключовими є надійність, що досягається через дублювання систем, та комплексний кіберзахист.
2. Інтеграція у світове судноплавство: Найскладнішим завданням є безпечна взаємодія автономних та традиційних суден.
3. Необхідність правової бази: Відсутність чітких норм, особливо щодо відповідальності, є головним стримуючим фактором.
4. Поетапний перехід: Найближчими роками домінуватимуть судна з дистанційним керуванням (рівні 2 та 3), що дозволить поступово накопичувати досвід.

Безпечне майбутнє автономного судноплавства залежить від скоординованих зусиль розробників, регуляторів та всієї морської спільноти. Лише комплексний підхід дозволить реалізувати потенціал MASS, зробивши світове мореплавство безпечнішим та ефективнішим.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Maritime Organization (IMO) – Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx>
2. Wikipedia – Maritime autonomous surface ship https://en.wikipedia.org/wiki/Maritime_autonomous_surface_ship
3. European Maritime Safety Agency (EMSA) – Autonomous Ships <https://www.emsa.europa.eu/mass.html>
4. SAFETY4SEA – Autonomous Ships News & Analysis. <https://safety4sea.com>

УДК 629.5.015.1

ПІДГОТОВКА ДАНИХ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГРАМИ СТАТИЧНОЇ ОСТІЙНОСТІ СУДНА

Дулгеру М.І., курсант гр. 1104, керівник **Печенюк А.В.**, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ. До учбового курсу курсантів-судноводіїв НУОМА входить комплекс лабораторних робіт, що виконуються на експериментальній установці «Малий дослідний басейн для дослідження плавучості, остійності, непотоплюваності та вільних бортових коливань судна на тихій воді». Роботи передбачають отримання тих чи інших характеристик морехідних якостей як експериментальним, так і розрахунковим шляхом, з можливістю порівняння результатів. Такий підхід сприяє формуванню у курсантів впевненості у надійності теоретичних розрахунків, їх відповідності явищам, які можна безпосередньо спостерігати у експериментах. Вказані теоретичні розрахунки базуються на проектній документації експериментальної установки [1], яка була розроблена її виробником – НУК ім. адмірала

Макарова. У даному докладі запропоновано її вдосконалення шляхом додавання розширених даних, підготовлених з використанням сучасних технологій зворотної розробки.

Основний матеріал. В лабораторних роботах, присвячених задачам початкової остійності (прийняття та переміщення малого вантажу, дослідження впливу підвищеного та рідкого вантажу, дослід кренування) основою теоретичних розрахунків є гідростатичні таблиці моделі (криві елементів теоретичного креслення), надані в [1] для широкого діапазону осадок $0 \div 0,247$ м, але з досить крупним та дробовим кроком $0,019$ м. Між тим, модель має досить стабільну середню осадку, оскільки зміни навантаження під час лабораторних робіт є відносно малими. Тому більш зручним був би варіант гідростатичних таблиць з малим кроком, який можна також обґрунтувати і конструкцією марок занурення, що мають крок ділень 2 мм (рис. 1, а). Ще одним недоліком документації у [1] є відсутність даних про плечі остійності форми (пантокарені), які можна було б використати для розрахункової побудови діаграм статичної остійності у відповідній лабораторній роботі. При цьому, на відміну від марок занурення, що забезпечують достатню для учбових цілей точність визначення осадок, транспортир системи кренування (рис. 1, б) має крок ділень 5° , який унеможливує більш-менш точне визначення кутів крену при побудові діаграми без використання спеціальних сенсорів. Відмітимо, що розрахунок діаграм статичної остійності з використанням плеч остійності форми є важливим елементом курсу «Теорія і будова судна» [2], тому його відображення у лабораторних роботах видається актуальною задачею.

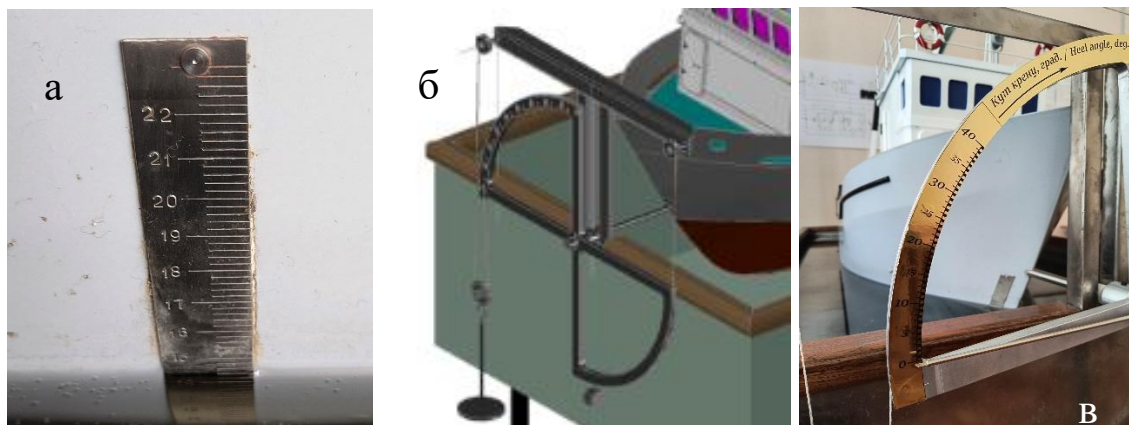


Рисунок 1. Елементи експериментальної установки: а – марки занурення; б – загальний вигляд системи кренування; в – доопрацьований транспортир системи кренування

Сучасним способом отримання гідростатичних даних є їх обчислення на основі віртуальної 3D моделі суднової поверхні у спеціалізованій системі автоматичного проектування (САПР) для проектування суден. 3D модель може бути побудована для існуючого судна (зворотна розробка) з використанням таких вихідних даних: теоретичне креслення, таблиці координат теоретичного креслення, дані лазерного 3D сканування. Сучасні судна можуть від початку проектуватися на основі 3D моделі теоретичної поверхні.

В даному випадку у наявності було спрощене теоретичне креслення моделі за [1], яке не до кінця розкриває деякі ділянки корпусу. Для їх уточнення спеціалістами компанії Navalista, за сприяння І.П. Давидова, було виконано лазерне 3D сканування моделі, знятої з установки для сухого зберігання на період літніх канікул. В результаті обробки даних сканування було отримано масив точок зовнішньої поверхні моделі (рис. 2, а), який далі був використаний при побудові теоретичної поверхні у САПР FREE!ship Plus (розповсюджується вільно за ліцензією типу General Public License). Остаточний вигляд побудованої 3D моделі теоретичної поверхні представлений на рис. 2, б.

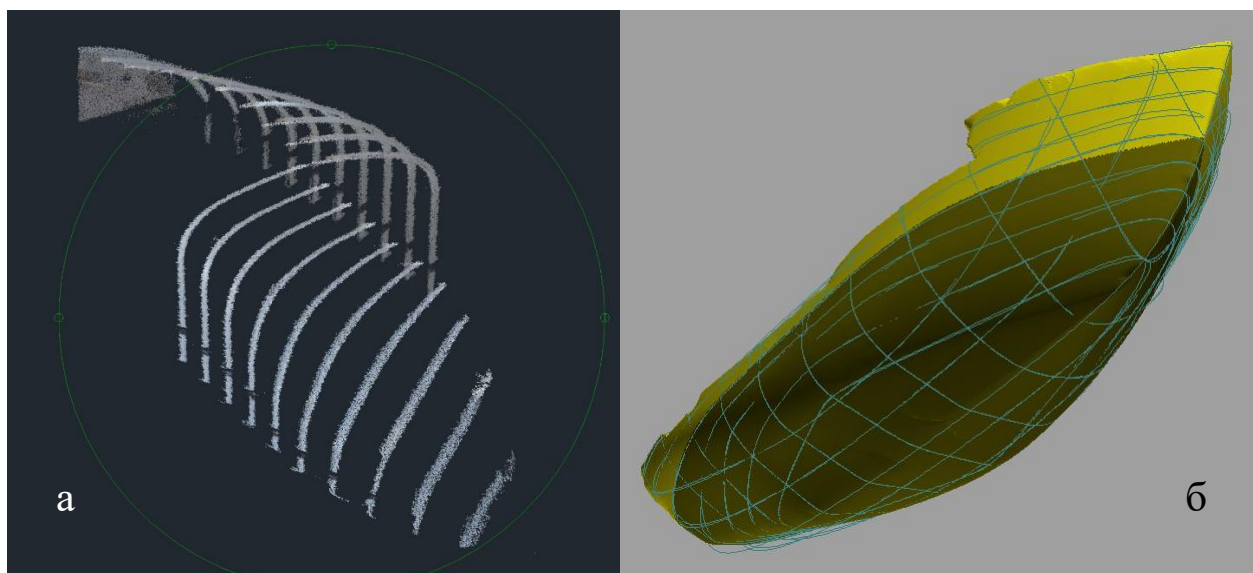


Рисунок 2. Точки зовнішньої поверхні моделі за даними лазерного 3D сканування (а) та реконструкція теоретичної поверхні у САПР FREE!ship Plus (б)

Отримана 3D модель дозволяє виконувати у САПР FREE!ship Plus різноманітні проектні розрахунки. Таким шляхом було розраховано досить детальну таблицю елементів теоретичного креслення (з кроком 1 мм), зручну для обробки лабораторних робіт без додаткової інтерполяції. Порівняння розрахункових даних з даними документації [1] виявило їхню близьку подібність – рис. 3. Аналогічним чином було розраховано і таблицю плеч остійності форми (пантокарен), значення яких представлено у графічній формі на рис. 4.

Таблиці елементів теоретичного креслення використовуються практично в усіх лабораторних роботах, тому введення нових таблиць сприяє зручності обробки даних. Наявність плеч остійності форми (пантокарен) дозволяє вдосконалити лабораторну роботу, присвячену побудові діаграми статичної остійності, наступним чином.

У роботі передбачено попереднє визначення метацентричної висоти та відповідної аплікати центру ваги моделі за допомогою досліду кренування. Після цього виконується експериментальне визначення плеч статичної остійності з використанням системи кренування (рис. 1, б) та побудова діаграми. Порівняння експериментальних і розрахункових даних передбачене лише шляхом додаткової побудови на діаграмі залежності плеч остійності за лінійною метацентричною формулою (з використанням отриманої метацентричної висоти):

$$l = \overline{\Delta GM} \phi, \quad (1)$$

де: Δ – водотоннажність моделі;

$\overline{GM}$ – метацентрична висота моделі у даному стані;

ϕ – кут крену.

Побудова служить для перевірки того, чи є дана залежність дотичною до початкової ділянки діаграми. Маючи ж плечі остійності форми (пантокарени), діаграму статичної остійності можна повністю розрахувати для даної аплікати центру ваги за звичайною методикою [2, с. 66] і порівняти розрахункову та експериментальну діаграми між собою.

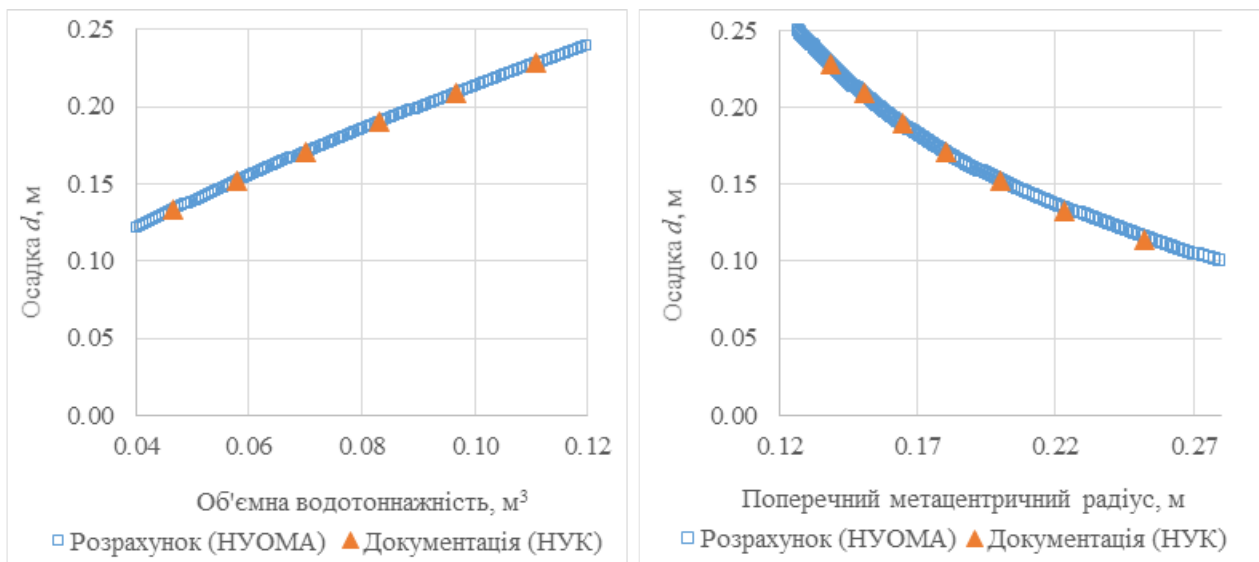


Рисунок 3. Приклади порівняння елементів теоретичного креслення моделі

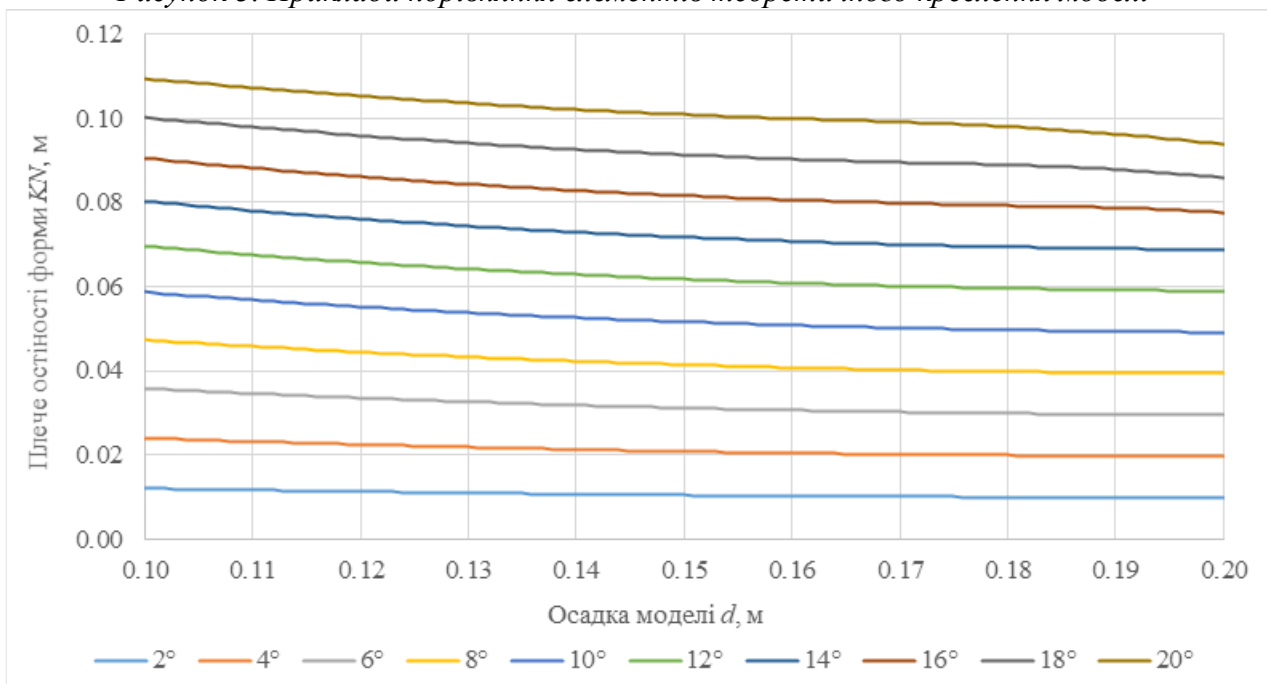


Рисунок 4. Розраховані плечі остійності форми моделі (пантокарени)

Лабораторна робота у запропонованому варіанті була виконана авторами для чотирьох конфігурацій навантаження моделі, з якими вона мала однакову посадку, але різні аплікати центра ваги $\overline{KG}$. Будувалися тільки зростаючі сегменти діаграм остійності, де модель з креном мала стати рівновагу. Для замірювання кутів крену використовувався доопрацьований транспортер системи кренування (рис. 1, в) зі шкалою ділень $0,5^\circ$. Плечі остійності за формулою (1) також розраховувалися (з використанням оновлених згідно даного докладу елементів теоретичного креслення) і наносилися на діаграми. Отримані результати представлені на рис. 5. Судячи з них, рівень співпадіння є цілком достатнім для навчальних цілей. При цьому точність експериментальних замірів обмежена використанням транспортеру системи кренування. При наявності сенсору кута крену її можна суттєво поліпшити.

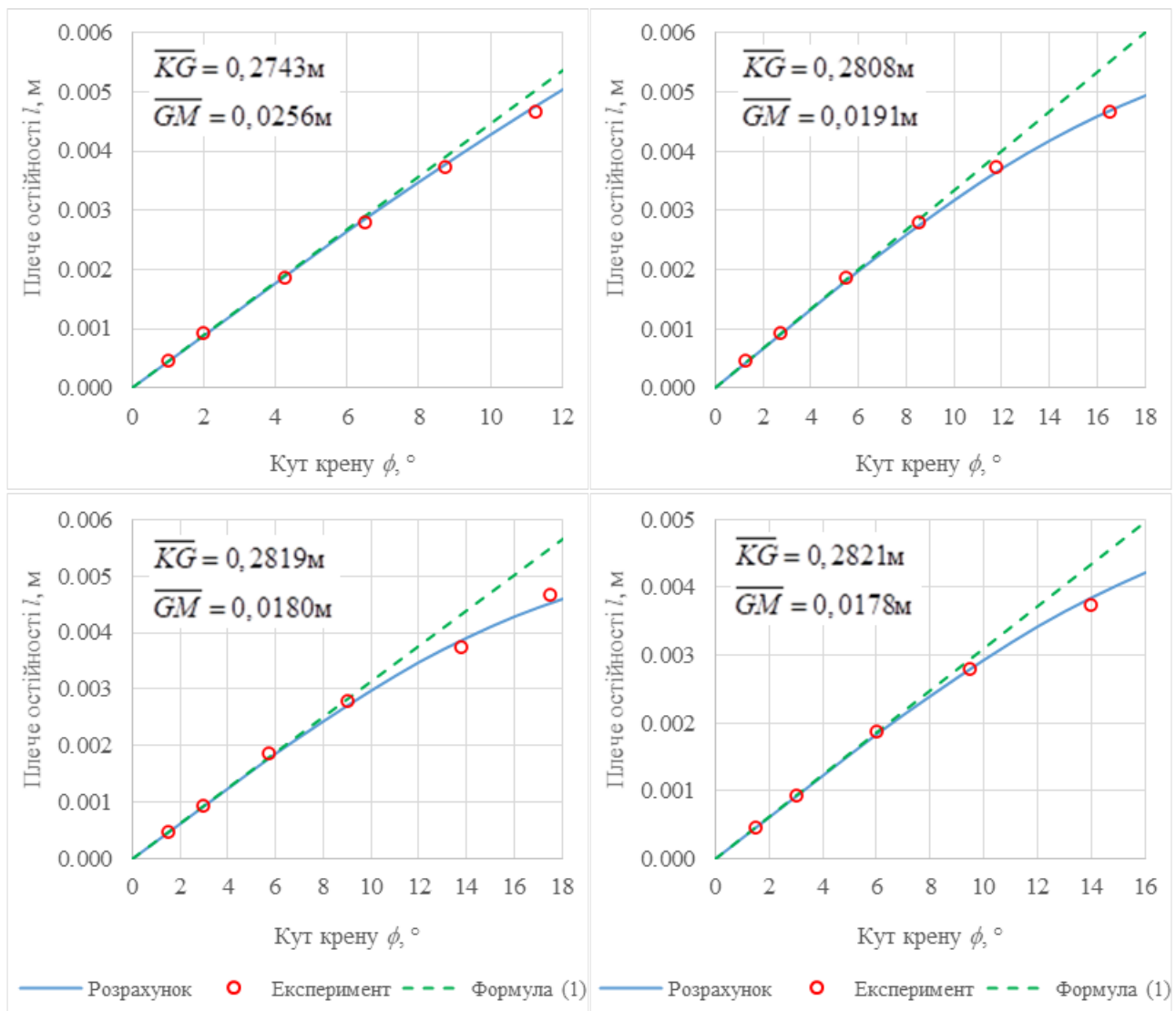


Рисунок 5. Діаграми статичної остійності за результатами розрахунків та експериментів

Висновки. У докладі представлений шлях отримання розширених гідростатичних даних по моделі зі складу експериментальної установки для дослідження морехідних якостей на тихій воді з використанням технологій зворотної розробки. Показано, що отримані дані сприяють зручності обробки результатів лабораторних робіт, а також дозволяють вдосконалити лабораторну роботу з експериментального визначення діаграми статичної остійності, додавши в неї повноцінне порівняння експериментальних і розрахункових даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Некрасов В.О. Збірник лабораторних робіт з дослідження плавучості, остійності та непотоплюваності судна на тихій воді. – Миколаїв: НУК, 2007. – 88 с.
2. Печенюк А.В. Плавучість, остійність та основи міцності суден / А.В. Печенюк. – Одеса: НУ «ОМА», 2025 – 108 с.
3. M. Deja, M. Dobrzyński and M. Rymkiewicz, “Application of reverse engineering technology in part design for shipbuilding industry”, Polish maritime research, No. 2 (102), doi: 10.2478/pomr-2019-0032, pp. 126-133, 2019.

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДІВ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ НА ОСНОВІ MEMS-СЕНСОРІВ

Дупіков К. Г., курсант гр.1391, Красота Р. В., мол. наук. співробітник, Інститут ВМС,
Онищенко О. А., д. т. н., професор

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Вступ. Автономна навігація, це здатність технічної системи, зокрема мобільної платформи або транспортного засобу, самостійно оцінювати власне положення, орієнтацію та швидкість переміщення у просторі без залучення зовнішніх джерел інформації. Така система функціонує на основі обробки сигналів від вбудованих сенсорів і може включати інерціальні вимірювальні модулі, камери, приймачі супутникової навігації, мобільних мереж тощо, а також інших засобів сприйняття інформації. У залежності від прикладного завдання та типу середовища, автономна навігація може бути реалізована у дво-, або тривимірному просторі, із врахуванням можливих завад, обмеженої видимості, часткової втрати даних та переривах у зв'язку. Автономну навігацію слід розглядати, як важливий функціональний компонент у цілій низці сучасних застосувань, вона є ключовою для безпілотних морських транспортних засобів, у застосуваннях де забезпечується точне позиціонування без участі оператора і інших. Наприклад, у морських системах прикладом є безпілотні надводні апарати "SeaHunter" і інші безпілотні апарати, призначені для проведення військових операцій, безкіпажного патрулювання, моніторингу, логістики тощо [1-4].

Актуальність обраної теми обумовлена зростаючою потребою у надійних засобах навігації в умовах, коли традиційні системи, такі як GPS, радіо- і мобільні мережі, стають ненадійними або повністю недоступними. У місцях із високою щільністю забудов, пірсів, поблизу від гірського узбережжя і склонів, поблизу інших суден, платформ тощо, в тунелях і під мостами, в умовах умисного глушіння сигналу, супутникова навігація втрачає ефективність, що створює критичну потребу в альтернативних рішеннях, де в окремих ділянках маршруту судна GPS і інший зв'язок повністю втрачається, і лише інерціальні методи дозволяють зберегти безперервність навігації [2-4, 5-8].

Основна частина. У центрі автономної навігаційної системи знаходиться інерціальний вимірювальний модуль (*IMU, Inertial Measurement Unit*), що зазвичай складається з трьох гіроскопів і трьох акселерометрів, які фіксують кутову швидкість і лінійне прискорення у тривимірному просторі. Часто такий модуль будується на основі мікроелектромеханічних систем (*MEMS*). Для морських безпілотних застосувань найчастіше використовують модель *strapdown*-інерціальної системи, тобто таких, де *IMU* жорстко закріплений до рухомої платформи. У цьому випадку обчислення відбуваються в локальній координатній системі, пов'язаній з корпусом (платформой) і потребують трансформації в глобальну систему координат шляхом чисельного інтегрування. Орієнтація обчислюється за допомогою матриць повороту або кватерніонів, а швидкість і положення отримуються через послідовне інтегрування сигналів прискорення, приведених до глобальної системи з урахуванням гравітації [6-10].

Класична модель прямого інтегрування *IMU*-даних полягає у двократному чисельному інтегруванні сигналів акселерометра з урахуванням обертання об'єкта, визначеного на основі гіроскопічних даних. Цей метод є простим та ефективним у короткочасних місіях, однак у разі тривалого рейсу без корекції, він неминуче призводить до накопичення похибок, що унеможливорює надійну навігацію [4-9].

У сучасних автономних навігаційних системах використовують рішення, які об'єднують кілька різних джерел інформації з метою досягнення максимальної точності, надійності та адаптивності в різних умовах експлуатації. Акселерометр вимірює прискорення,

гіроскоп - кутову швидкість обертання, а магнітометр - напрямок магнітного поля Землі. Разом вони утворюють *IMU*, яка дає інформацію про положення і орієнтацію в просторі. Головні проблеми цих сенсорів - шум, систематичний дрейф і вплив температури, через що точність з часом погіршується. Для корекції похибок використовують спеціальні алгоритми фільтрації і сенсорне злиття даних. Таке об'єднання даних дозволяє ефективно компенсувати недоліки кожного окремого методу навігації і інтегруються у спільну обчислювальну архітектуру. Найчастіше, *IMU* забезпечує проміжні оцінки положення між оновленнями *GPS*, *GPS* дає глобальну корекцію, а інші (візуальні, лазерні тощо) уточнюють локальні рухи, використовуючи дані про зміни положення об'єкта у навколишньому середовищі. Така синергія дозволяє побудувати гібридну систему, яка є стійкою до відмов одного сенсора, підтримує роботу у складних умовах і адаптується до середовища завдяки алгоритмам адаптивної фільтрації, включаючи фільтр Калмана або його розширені варіанти з адаптацією параметрів [1-3, 5-9].

Акселерометр вимірює лінійне прискорення об'єкта у тривимірному просторі, включаючи, як власне прискорення, так і проекцію сили тяжіння. Його основою є вимірювання сили, яка діє на внутрішню масу *MEMS*-структури на основі математичної моделі:

$$\mathbf{a}_M(t) = \mathbf{a}_L(t) + \mathbf{g} ,$$

де $\mathbf{a}_M(t)$ - вектор значень, що зчитується з акселерометра, $\mathbf{a}_L(t)$ - вектор реальних значень прискорення судна, $\mathbf{g}(t)$ - проекція вектора гравітації на вісі акселерометра. Інтегрування дає вектори швидкості $\mathbf{v}(t)$ і шляху $\mathbf{r}(t)$:

$$\mathbf{v}(t) = \int \mathbf{a}_L(t) \cdot dt \text{ і } \mathbf{r}(t) = \int \mathbf{v}(t) \cdot dt .$$

Операція інтегрування йде два рази і тому дуже швидко накопичується помилка (оскільки сигнали дуже зашумлені).

MEMS-гіроскопи вимірюють кутову швидкість $\boldsymbol{\omega}$ обертання навколо осей, зазвичай використовуючи ефект Коріоліса ($\boldsymbol{\omega} = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]$), а інтегрування дозволяє знайти кути:

$$\boldsymbol{\theta}(t) = \int \boldsymbol{\omega}(t) \cdot dt ,$$

при цьому для обчислення орієнтації часто використовуються матриці повороту або кватерніони.

Магнітометр вимірює вектор магнітного поля Землі, що дозволяє визначати орієнтацію відносно географічної півночі (азимут). Щоб обчислити курс (*heading*), використовується функція чотирьохквadrантного арктангенсу $\theta_{\text{heading}} = \arctan2(m_x, m_y)$, де m_x , m_y - компоненти вектора магнітного поля в горизонтальній площині після компенсації нахилу. Дія зовнішніх магнітних полів сильно спотворює результати вимірювань.

Шум є випадковим сигналом, що накладається на вимірювані дані. Для акселерометра та гіроскопа шум зазвичай виникає через теплові флуктуації в електроніці або елементах *MEMS*. Величина шуму може бути описана характеристикою "*Noise Density*" (в одиницях $\text{м/с}^2/\sqrt{\text{Гц}}$ для акселерометра). На практиці сигнали акселерометра завжди містять не тільки шум, а і систематичне зміщення b . Внаслідок цього інтегрування навіть малого шуму та/чи зміщення призводить до швидкого накопичення помилок. Якщо шум має нульове середнє, він може частково компенсуватись, але постійне зміщення завжди призводить до квадратичного росту помилки положення $\epsilon_x(t) = 0,5 \cdot b \cdot t^2$.

У частотній області шум є білим або близьким до нього, тобто має рівномірну потужність у широкому частотному діапазоні. Математично шум часто моделюється як випадковий процес. Дрейф виникає у гіроскопах як результат постійної помилки (*bias*) - систематичної складової сигналу сенсора, що не пов'язана з реальними рухами [6-10].

Температурна залежність стосується як дрейфу, так і чутливості сенсорів. Наприклад, параметри кремнієвих елементів *MEMS* змінюються зі зміною температури, що впливає на калібрувальні коефіцієнти. Ця похибка може бути частково компенсована за допомогою внутрішнього термодатчика та температурної моделі калібрування [8-13].

Для зменшення впливу шумів перед інтегруванням застосовують методи цифрової фільтрації. Серед найбільш поширених - метод ковзного середнього та фільтри низьких частот. Ковзне середнє (*Moving Average Filter*) є простим і ефективним фільтром, який усереднює останні N значень сигналу, щоб згладити шумові викиди (коливання):

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_{n-i}$$

Таке рішення ефективно зменшує випадковий шум, але має затримку у відгуку, оскільки необхідно мати деяке накопичення попередніх значень. Фільтр низьких частот (*Low-Pass Filter, LPF*) фільтр - цифровий фільтр, який пропускає низькочастотні компоненти сигналу і пригнічує високочастотні. Один з найпростіших *LPF* має вигляд експоненційного згладжування:

$$y_n = \alpha \cdot x_n + (1 - \alpha) \cdot y_{n-1},$$

де x_n - вхідний сигнал з датчика, y_n - вихідний (очищений) сигнал, $\alpha \in [0, 1]$ - коефіцієнт згладжування (фільтрації), обирається експериментально, у залежності від динаміки процесів. Чим менше α , тим сильніше фільтр придушує високочастотні коливання, але тим повільніше реагує на зміни вхідного сигналу.

MEMS-гіроскоп надає точні короткострокові зміни кута, але накопичує помилки через дрейф, тоді як *MEMS*-акселерометр має високу довгострокову стабільність, але чутливий до шуму та прискорень. Комплементарний фільтр є доволі ефективним рішенням для об'єднання показників акселерометра та гіроскопа. Його суть полягає у поєднанні двох сигналів з різними частотними характеристиками: фільтр комбінує ці сигнали так, щоб компенсувати недоліки кожного з них:

$$\theta_t = \alpha \cdot \theta_{t-1} + \omega_t \cdot \Delta t + (1 - \alpha) \cdot \theta_{acc}$$

де θ_t - оцінений кут нахилу на поточному кроці, θ_{t-1} - попереднє значення цього куту, ω_t - кутова швидкість (сигнал гіроскопа), Δt - період між вимірами (шаг квантування за часом), θ_{acc} - кут, виміряний акселерометром і обчислений через арктангенс відносно вектору тяжіння, значення α обирається експериментально, найчастіше $\alpha \in (0,89 \dots 0,98)$. Метод вимірювання з комплементарним фільтром не потребує складних обчислень, тому його часто застосовують у малих автономних системах, де ресурси суттєво обмежені [11-15].

Розширений фільтр Калмана (*EKF*) є більш ефективним методом оцінки стану нелінійних систем. Він поєднує прогноз на основі моделі руху з корекцією за допомогою вимірювань. У навігаційних системах, побудованих на основі *IMU*, *EKF* забезпечує оцінку положення, швидкості та орієнтації об'єкта, об'єднуючи дані акселерометра, гіроскопа та зовнішніх джерел (наприклад, *GPS*). Загалом *EKF*, це метод оцінки позиції або швидкості об'єкта, коли у нас є тільки приблизні дані від сенсорів і модель того, як цей об'єкт рухається (або є періодичний сигнал *GPS*). Безпілотні системи нелінійні, тобто рух і його виміри досить складні і не описуються простими лінійними залежностями, але *EKF* допомагає зробити оцінку більш точною, поступово поєднуючи прогноз і реальні дані.

Перший крок роботи *EKF* - прогнозування стану. Тут користуються моделлю руху, яка описує, як система змінюється з часом. Наприклад, якщо відомі координати судна і знаємо з якою швидкістю і у якому напрямку він переміщувався, то можна передбачити, де судно буде

через невеликий проміжок часу. Окрім прогнозу стану, обчислюванням оцінюється, яка невпевненість у цьому прогнозі (за допомогою матриці коваріації). Ця матриця показує, наскільки може відрізнятись прогноз від реального стану.

Другим кроком є оновлення оцінок на основі нових даних, отриманих з сенсорів. Спочатку порівнюється реальне вимірювання з очікуваним. Різниця між ними називається інновацією, яка показує, наскільки (кількісно) фактичні дані від сенсорів відрізняються від передбачення. Після цього обчислюється коефіцієнт Калмана, який вирішує, наскільки є довіра сенсорним даним у порівнянні з прогнозом. Якщо сенсорні дані надійні (*GPS*), то коефіцієнт буде великим, і суттєво оновлюється оцінка стану. Якщо ж сигнали сенсорів суттєво відрізняються, коефіцієнт Калмана буде меншим, і є більша довіра до прогнозу. Потім оновлюється оцінка стану і додається поправка до прогнозу. Головна ідея в тому, що *EKF* постійно балансує між тим, що показує модель руху, і тим, що показують сенсори, даючи найкращу оцінку стану в кожен момент часу. Щоб працювати з нелінійними функціями, *EKF* лінійлізує їх у поточній точці, обчислюючи матриці Якобіана (за аналогією того, як похідна, функції дозволяє визначати де які параметри складної кривої лінії).

ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел підтверджує, що інерціальна навігація на основі *MEMS*-сенсорів є критично важливим, але вразливим компонентом автономної навігації безпілотних морських апаратів. Головною проблемою *IMU* є швидке накопичення квадратичної похибки позиції через систематичний дрейф, шум та температурну нестабільність датчиків. Для забезпечення безперервності та високої точності навігації в умовах, коли *GNSS*-сигнал втрачається або глушиться, необхідне застосування гібридних систем і методів сенсорного злиття даних. Найбільш ефективним інструментом для цього є розширений фільтр Калмана (*EKF*), який динамічно балансує між моделями руху судна та зовнішніми вимірюваннями. *EKF* забезпечує надійну оцінку стану (положення, швидкість, орієнтація) та мінімізує вплив систематичних помилок *MEMS*-датчиків, що є головним для стійкої експлуатації безпілотних суден у складних умовах.

2. Враховуючи виклики, пов'язані з дрейфом сигналів з *MEMS*-сенсорів і необхідністю автономної навігації на морі, подальші дослідження мають зосередитися на наступних напрямках.

2.1. Необхідно розробляти та впроваджувати більш стійкі алгоритми злиття, такі як нецентрований фільтр Калмана (*UKF*) або методи на основі глибокого навчання (*Deep Learning*), для інтеграції *MEMS IMU* з іншими автономними сенсорами (наприклад, гідроакустичними системами (*DVL*), візуальною одометрією, лідачами). Це дозволить підтримувати високу точність позиціонування та орієнтації в умовах повної відсутності *GNSS*-сигналу.

2.2. Важливо вдосконалювати адаптивні варіації фільтра Калмана (*Adaptive EKF*), які можуть динамічно оцінювати та коригувати коваріаційні матриці шуму ($\mathbf{Q}$ та $\mathbf{R}$) у реальному часі. Це критично, оскільки шум *MEMS*-датчиків і зовнішні завади (вібрація, температура) є нелінійними та мінливими, що суттєво впливає на стійкість фільтра та запобігає його розбіжності.

2.3. Для мінімізації впливу вібрації та ударів, характерних для морського середовища, необхідно досліджувати оптимальне розміщення *IMU* відносно центру маси апарату та розробляти вдосконалені системи віброізоляції. Також перспективним є розробка надлишкових структур (*multi-IMU*) та процедур калібрування (наприклад, статичні тести у шести положеннях), що підвищують точність оцінки орієнтації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Britting K.R. Inertial Navigation System Analysis (1971). K.R. Britting, New York: Wiley Interscience, 1971, 233 p.
2. Titterton D. H., Weston J. L. Strapdown Inertial Navigation Technology, 2nd Edition. – (2004). DOI: 10.1049/PBRA017E

3. Strapdown Inertial Navigation Technology (1997). D.H. Titterton&J.L. Weston. Peter Peregrinus Ltd, London, 1997, 455 p.
4. Babour N.M. Inertial Navigation Sensors (2011). N.M. Babour, NATO RTO Lecture Series, RTO-ENSET-116. Low-Cost Navigation Sensors and Integration Technology, 2011, P. 2-1–2.28.
5. Gebre-Egziabher D., Elkaim G. H., Cloutier J. R. (2006) Calibration of MEMS inertial sensors // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2006. URL: <https://iee-nems.org/ftp/papers/ieee-aim-2008-slzhou.doc>
6. Groves P. D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems (2008). ISBN-10: 1608070050
7. Haykin S. Adaptive Filter Theory, 5th Edition (2013). – Pearson, 2013. ISBN-10: 013267145X
8. Randle, E., Phillips, A. Integrated Navigation System Design for Unmanned Surface Vessels (2020). Journal of Navigation, 2020. DOI: 10.1017/S037346331900062X.
9. Trusov, A., Shkel, A. Micromachined Tuning Fork and Wineglass Inertial Sensors (2017). Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-48933-9_75.12. Naval Surface Warfare Center (NSWC). Unmanned Surface Vehicles Navigation and Control Systems Handbook, 2021.
10. Bar-Shalom Y., Li X. R., Kirubarajan T. Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory Algorithms and Software (2001). – Wiley, 2001. DOI: 10.1002/0471221279
11. Yazdi, N., Ayazi, F., Najafi, K. Micromachined Inertial Sensors (1998). Proceedings of the IEEE, 1998, 86(8): 1640–1659. DOI: 10.1109/5.704269.
12. Simon D. Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches (2006). – Wiley, 2006. DOI: 10.1002/0470045345
13. Woodman O. J. An Introduction to Inertial Navigation (2011). University of Cambridge, Computer Laboratory – Technical Report UCAM-CL-TR-696. – URL: <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>.
14. Brossard, M., Barrau, A., & Bonnabel, S. (2020). AI-IMU Dead-Reckoning: Improving the Inertial Navigation System with Artificial Intelligence. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles – URL: https://www.researchgate.net/publication/339920913_AI-IMU_DeadReckoning.
15. El-Sheimy, N., Niu, X., Chiang, K. (2007). The promise of MEMS to the navigation community. – URL: https://www.researchgate.net/publication/281006654_the_promise_of_MEMS_to_the_navigation_community

УДК 629.5.072.1: 528.28(045)

РОЛЬ АСТРОНОМІЇ В РОЗРАХУНКУ ШЛЯХУ СУДНА У ХХІ СТОЛІТТІ

Васильєв Д.В., ст. викладач, Кірик І.І., курсант гр. 1204, Серeda С.О., курсант гр. 1206

Національний університет “Одеська морська академія”, Україна

Астрономія — це наука, що вивчає Всесвіт, його небесні тіла (зірки, планети, галактики тощо), їх рух, будову, походження та розвиток. Її основний метод — спостереження, на відміну від експериментів в інших науках. Астрономія застосовується для точного визначення часу та координат, а також для дослідження космосу та нашої планети. ХХ століття стало унікальним періодом у історії мореплавства: воно почалося під знаком астрономії, а закінчилося під знаком супутників. Це була епоха, коли тисячолітні традиції зустрілися з революційними технологіями. На початку 1900-х років жоден корабель не міг вийти у відкрите море без набору для астронавігації. Це був основний і єдиний спосіб визначити своє місце у

відкритому океані. Технологія, що сягала корінням у глибоку давнину, досягла своєї апології у витонченому механічному втіленні.

Головний інструмент: Секстант. Цей точний механічний прилад, вдосконалена версія свого попередника – октанта, дозволяв виміряти кут між Сонцем, Місяцем, зірками та горизонтом. Його конструкція була геніальною у своїй простоті, що дозволяло компенсувати хитавицю палуби. Кожен штурман вмів поводитися з ним з бездоганною майстерністю. Морський астрономічний щорічник. Ця велика книга таблиць була схожа на сучасний GPS-навігатор, але у паперовій формі. У ній були розраховані положення світил на кожен день і годину року. Без цих обчислень, виконаних астрономами заздалегідь, виміри секстанта були б марними. Це був зв'язок між практикою на морі та фундаментальною наукою на суші. Робота штурмана. Він проводив виміри, потім годинами робив складні математичні розрахунки за таблицями, щоб намалювати на карті лінії положення. Перетин цих ліній і давав координати корабля. Ця процедура вимагала не лише знань, але й ретельності, бо одна помилка в розрахунках могла коштувати дуже дорого. Досвідчений штурман міг визначити місце розташування корабля з вражаючою точністю, використовуючи лише небесні світила.

Справжнім ударом по астронавігації стала поява перших супутникових систем, наприклад, американської «Transit» (також відомої як «Новонавігація»). Як це працювало? Кілька разів на день супутник пролітав над кораблем. Приймач на борту ловив його сигнал і, вимірявши зсув частоти (ефект Доплера (зміна частоти хвилі (звукової, світлової тощо), що сприймається спостерігачем, залежно від відносного руху джерела хвилі та спостерігача)), обчислював координати з неймовірною для того часу точністю. Точність, недосяжна для секстанта, і швидкість – хвилини замість годин. Щоденна робота штурмана з астронавігації була чітко стандартизованою, але вимагала глибоких знань і постійної уваги до деталей. Процес починався з підготовки інструментів. Секстант щодня перевіряли на наявність похибок. Для цього вимірювали кут між двома віддаленими предметами на березі або, у відкритому морі, між зірками. Хронометр щодня звіряли з радіосигналами точного часу, оскільки похибка всього в одну секунду давала похибку в позиції до 460 метрів. Виміри проводилися в сутінках – рано вранці та пізно ввечері, коли одночасно були видно обрії і зірки. Штурман вибирав три-чотири яскраві світила, розташовані в різних напрямках від судна. Для кожного світила проводив серію з 3-5 вимірів висоти, щоб усереднити похибку від хитавиці судна. Після кожного виміру точно фіксував час за хронометром з точністю до секунди.

Найскладнішою частиною були обчислення. Штурман послідовно виконував кілька етапів: Спочатку він обчислював часовий кут точки весняного рівнодення (ГНА Aries) для моменту спостереження. Потім визначав координати кожного світила за допомогою щорічника. Розраховував зенітну відстань (90° - висота). Вносив корекції за рефракцію (заломлення променів в атмосфері), паралакс (для Місяця) та напівдіаметр (для Сонця і Місяця).

Результатом цих обчислень були лінії положення – криві лінії на карті, що представляють можливі позиції судна. Перетин трьох таких ліній давав обчислену позицію. Типова точність становила 1-2 милі за сприятливих умов, але в шторм або при обліднінні секстанта похибка могла зростати до 5-10 миль. Досвідчені штурмани знали способи поліпшення точності – наприклад, використання серії спостережень Сонця протягом дня з подальшим усередненням результатів.

Щоденна робота штурмана тепер включала обов'язкове порівняння даних з різних систем. Вранці визначали позицію за зірками, вдень – за супутником "Transit", а в прибережних водах – за "Loran". Розбіжності між цими методами могли сягати 2-3 миль, що вимагало додаткового аналізу. Астронавігація залишалася основним методом у багатьох ситуаціях: При трансатлантичних та тихоокеанських переходах Під час тривалих океанських переходів, коли "Transit" був недоступний У випадках виходу з ладу електронного обладнання Для підтвердження даних супутникової навігації

Сьогодні астрономія виконує кілька ключових функцій у забезпеченні безпеки судноплавства. Основна цінність астронавігації полягає в її повній незалежності від технічної інфраструктури Це не просто формальність, а спосіб сформувати глибоке розуміння

фундаментальних принципів навігації. Коли курсант виконує розрахунки за допомогою морського щорічника, він розвиває просторове мислення та вчиться самостійно аналізувати навігаційну обстановку. Міжнародна конвенція ПДМВ вимагає підтвердження кваліфікації з астронавігації для отримання капітанського диплома. У військово-судноплавстві астронавігація зберігає особливе значення. Вона дозволяє кораблям виконувати завдання в умовах радіоелектронної боротьби, коли супутникові системи можуть бути виведені з ладу. Можливість скритного пересування без використання радіотехнічних засобів робить астрономічні методи цінним інструментом для спеціальних операцій. Військово-морські сили багатьох країн продовжують тренувати екіпажі у роботі з сексантом. Астронавігація знаходить застосування в наукових експедиціях, яхтингу та спортивному судноплавстві. У віддалених районах океану, де покриття супутникових систем може бути нестабільним, вміння орієнтуватися за зірками стає незамінним. Учасники навколосвітніх перегонів яхт часто демонструють високий рівень майстерності в астронавігації, використовуючи її для дублювання електронних систем. Сучасні інструменти астронавігації значно вдосконалилися. З'явилися електронні морські щорічники, спеціалізоване програмне забезпечення для розрахунків, мобільні додатки. Секстанти виробляються з поліпшеною оптикою та додатковими шкалами. Деякі великі судна обладнуються автоматизованими астроорієнтаторами, які можуть інтегруватися з судовими інформаційними системами.

Перспективи розвитку: Майбутнє астронавігації пов'язується з розвитком гібридних навігаційних систем, де традиційні методи поєднуються з сучасними технологіями. Ведуться дослідження з використанням штучного інтелекту для обробки астрономічних спостережень. Розвиваються стандартизовані протоколи використання астронавігації як резервної системи. Астрономічні методи навігації у ХХІ столітті перетворилися на стратегічний елемент системи безпеки мореплавства. Їхня роль полягає не в щоденному використанні, а в забезпеченні надійності та резервування сучасних навігаційних комплексів. Незважаючи на технологічний прогрес, астронавігація залишається невід'ємною частиною морської справи, гарантуючи безпеку судноплавства в умовах сучасних викликів. Таким чином, ХХ століття стало вирішальним періодом у історії морської навігації, пройшовши шлях від повної залежності від астрономічних методів до їх практичного витіснення електронними системами. Астронавігація, яка на початку століття була єдиним способом визначення позиції в океані, до кінця століття перетворилася на резервний метод, що використовувався лише в особливих випадках.

Проте, незважаючи на технічний прогрес, астронавігація продовжувала відігравати важливу роль протягом усього століття. Вона залишалася: Надійним резервним методом при відмові електронного обладнання Незамінним інструментом перехресного контролю точності Обов'язковим елементом професійної підготовки моряків Важливою складовою безпеки мореплавства

Технологічний розвиток астронавігації продовжується, про що свідчить поява електронних щорічників, спеціалізованого програмного забезпечення та вдосконалених інструментів. Перспективним напрямом є розвиток гібридних навігаційних систем, що поєднують традиційні астрономічні методи з сучасними технологіями, включаючи штучний інтелект для обробки спостережень. Спадщина астронавігації ХХ століття живе і сьогодні - не лише в музеях, але й у сучасних навігаційних системах, принципи роботи яких базуються на тих самих фундаментальних законах небесної механіки, що колись дозволяли мореплавцям орієнтуватися за зірками. Досвід, накопичений поколіннями штурманів, став основою для розвитку сучасних методів навігації та забезпечив безперервність розвитку морської справи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cotter, C. H. (1983). A History of Nautical Astronomy.
2. Crean, J. P. (2018). Celestial Navigation in the GPS Age
3. Маска Т., Фернандес-Мачин П. Дж. (2015). Сучасна морська астронавігація. Історія та практика. К.: Морська освіта.

4. Морський астрономічний щорічник (2024). Щорічне видання. Управління гідрографії Великої Британії та Обсерваторія США.
5. Інструкція з експлуатації секстанта C. Plath Navistar Profi (2020). C. Plath GmbH.
6. Адміралтейські морські навігаційні таблиці. NP 314. (2023). UK Hydrographic Office.
7. Johnson, G. W. (2009). The Loran-C System for Maritime Navigation. *Journal of Navigation*, 62(4), 557-567.
8. Крейн, Дж. П. (2018). Морська астронавігація в добу GPS. Одеса: Маяк.
9. Міжнародна морська організація (ІМО). (2017). Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (ПДМВ). Лондон.
10. Майкік, М. (2000). Перехід до космосу: Історія супутникової навігації. *Журнал навігації*, 53(1), 45-55.
11. Мальцев, І. В. (2018). Морська астронавігація: від секстанта до супутника. Одеса: ОНМУ.
12. Семенов, А. О. (2021). Штучний інтелект в обробці астрономічних спостережень: перспективи для морської навігації. *Вісник Державного університету інфраструктури та технологій. Серія: Транспортні технології та системи*, (45), 112-120.

УДК 656.052.1+629.7.05

ОСОБЛИВОСТІ НАВІГАЦІЇ У КАНАДІ

Крічко В. О., курсант, **Мазур О. М.**, к.т.н., доцент, **Онищенко О. А.**, д.т.н., професор

Національний університет “Одеська морська академія”, Україна

Вступ. Морська навігація у Канаді має виражені особливості, які зумовлені її унікальною географією, особливо на півночі (Арктика), а також складною системою федерального регулювання. Головні особливості навігації у Канаді можна умовно розділити на дві основні зони: Арктичні води (найбільш складні) та Південні/Прибережні води (Сент-Лоренс, Атлантика, Тихий океан). Загалом, навігація в Канаді є комплексним завданням, що визначається величезною територією, суворими кліматичними умовами та розташуванням більшої частини країни у високих широтах. Наукові дослідження виділяють дві ключові сфери, що потребують особливої уваги: 1) морська навігація в Арктиці та 2) ефективність функціонування глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), що підтверджені науковими виданнями [1-3].

1. Виклики морської навігації у Канадській Арктиці. Морські перевезення, особливо через Північно-Західний прохід (*Northwest Passage - NWP*), стають дедалі актуальнішими в умовах танення морських льодів. Однак, як показують дослідження [1], навігація залишається вкрай ризикованою (морський лід та його динаміка). Незважаючи на скорочення льодового покриву, лід залишається домінуючим фактором ризику, а тонкий, сезонний лід більш динамічний і непередбачуваний, що створює суттєві загрози для суден [5].



Рисунок 1. Тонкий, сезонний лід у Канадській Арктиці

Канадська Арктика, включаючи Північно-Західний прохід, є найбільш складною та регульованою зоною. Незважаючи на глобальне потепління, лід залишається головною навігаційною небезпекою. Льодовий покрив зберігається протягом більшої частини року. Навіть влітку може траплятися тонкий, швидкий і важко прогнозований лід. Загроза багаторічного льоду (який не тане роками) особливо висока, оскільки він товщий і твердіший. Прискорене відколювання айсбергів від Гренландії (особливо "гроулери" - невеликі шматки льоду, які важко помітити радаром) становлять серйозну небезпеку для судноплавства. Загалом, навігаційний сезон обмежений коротким літнім періодом, хоча зі зміною клімату він продовжується.

До того ж, значна частина арктичних вод недостатньо досліджена та картографована за сучасними стандартами [3]. Це призводить до низької надійності навігаційних карт і підвищеного ризику сідання на мілину.

Існують і інфраструктурні та картографічні прогалини, зокрема - неадекватні карти. Лише близько 10 % арктичних вод Канади обстежені відповідно до сучасних стандартів. Це означає високий ризик натрапити на некартовані небезпеки (мілини, підводні скелі).

Також у регіоні спостерігається гострий дефіцит портової інфраструктури, що обмежує розвиток комерційного судноплавства, круїзного туризму та обслуговування віддалених громад [1]. Катастрофічна нестача портової інфраструктури ускладнює логістику, поповнення запасів, ремонт та реагування на надзвичайні ситуації, при цьому покриття та якість існуючих систем зв'язку часто можуть бути ненадійними.

Ще однією особливістю навігації є її правове регулювання, оскільки діє складний правовий режим регулювання морських перевезень, включно з імплементацією Полярного кодексу [2].

Так, запроваджена досить складна і обов'язкова звітність (*NORDREG*). У канадських арктичних водах діє обов'язкова система звітності суден (*Northern Canada Vessel Traffic Services Zone Regulations*). Судна повинні постійно надавати інформацію про своє місцезнаходження та наміри до входу в зону, під час транзиту та після виходу. Це життєво важливо для моніторингу трафіку та швидкого реагування на інциденти. Але все це суттєво ускладнюється із-за ненадійності систем зв'язку.

Обов'язковим є закон про запобігання забрудненню арктичних вод (*AWPPA*). Це основний закон, який накладає суворі вимоги щодо запобігання забрудненню та забороняє скидання будь-яких відходів у ці води. Також необхідно виконувати Полярний кодекс (*Polar Code*). Канада дотримується Міжнародного кодексу для суден, що працюють у полярних водах, який вимагає наявності спеціальних сертифікатів, обладнання (криговий клас) та кваліфікованого екіпажу.

Існують і обмеження для роботи пасажирських суден, тобто діють додаткові суворіші правила для круїзних лайнерів, які зобов'язують мати додаткові навігаційні засоби (наприклад, гідролокатори переднього огляду) та, можливо, місцевих навігаційних експертів.

Необхідно відзначити, що існує підтримка та допомога з боку Канадської берегової охорони (CCG). Вона (CCG) надає життєво важливі послуги: криголамні послуги (для проводки суден), навігаційні попередження (NAVWARNs), а також пошук і порятунк (SAR). Розробляються спеціальні коридори для регулювання руху суден (*Low Impact Shipping Corridors*), що допомагає концентрувати навігаційні засоби та зменшує ризик інцидентів.

У Південних/Прибережних водах районах навігація більше схожа на європейську чи американську, але все ж має свої особливості.

- існує розгалужена система маяків і буїв (здійснюється підтримка великої кількості навігаційних засобів, за які відповідає (CCG);

- служби морського зв'язку та руху суден (MCTS) працюють цілодобово, надаючи інформацію про погоду, навігаційні попередження та координуючи рух для запобігання зіткнень;

- криголамні послуги здійснюються не тільки в Арктиці, але і взимку у Великих озерах та по річці Святого Лаврентія, що є підтримкою ефективності економічної діяльності.

Загалом, навігація регулюється переважно Актом про судноплавство Канади 2001 року (*Canada Shipping Act, 2001*) та іншими нормативними актами щодо безпеки та екології.

2. Проблеми супутникової навігації (GNSS) на високих широтах. Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), які є критично важливими для навігації в Канаді, стикаються з унікальними фізичними викликами через географічне розташування країни у високих широтах. Науковий контекст проблем GNSS у високих широтах [6, 7, 4] виділяє три наступні основні проблеми, які безпосередньо впливають на точність, доступність та цілісність GNSS-сигналів у Канаді.

2.1. Погіршення геометрії супутників (GDOP). Суть проблеми: більшість орбіт супутників GNSS (зокрема GPS) орієнтовані на краще покриття екваторіальних та середніх широт. На високих широтах (наприклад, у Канадській Арктиці) супутники розташовані низько над горизонтом. Як наслідок, низький кут піднесення супутників призводить до поганої геометричної конфігурації (високого показника GDOP). Це спричиняє значне зниження вертикальної точності позиціонування, роблячи визначення висоти менш надійним [8].

2.2. Іоносферна сцинтиляція (мерехтіння). Суть проблеми: високі широти знаходяться під впливом аврорального овала (зони полярного сяйва). Енергетичні частинки, що потрапляють в іоносферу Землі в цих регіонах, викликають сильну турбулентність та неоднорідності плазми. Саме це впливає на сигнал: коли GNSS-сигнал проходить крізь цю турбулентну іоносферу, він зазнає фазової та амплітудної сцинтиляції (мерехтіння) [4].

Іоносферна сцинтиляція - явище, що описує швидкі, нерегулярні флуктуації амплітуди та фази радіосигналів глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS, включаючи GPS), які виникають при їхньому проходженні крізь іоносферу Землі. Тобто це прямий вплив космічної погоди на навігаційні системи. Сцинтиляція спричинена наявністю неоднорідностей електронної густини (*Electron Density Irregularities*) в іоносфері. Ці локалізовані зони аномально високої чи низької плазмової густини діють як дифракційні ґратки та заломлювальні лінзи для радіохвиль (табл. 1).

Таблиця 1. Ефекти, що виникають внаслідок взаємодії сигналу з плазовими неоднорідностями [4, 6, 8]

Тип сцинтиляції	Фізичний механізм	Індекс оцінки
Фазова (σ_ϕ)	Заломлення (<i>Refraction</i>). Виникає переважно через великомасштабні структури (~ 1 км)	σ_ϕ (середньоквадратичне відхилення фази, рад)

Амплітудна (S4)	Дифракція та розсіяння (<i>Diffraction/Scattering</i>). Виникає через дрібномасштабні структури (~ 100 м)	S4 (нормалізоване середньо-квадратичне відхилення інтенсивності)
-----------------	---	--

2.3. Вплив на GNSS-приймачі

2.3.1. Фазова сцинтиляція (σ_ϕ) - це швидкі, випадкові зміни у фазі несучої частоти сигналу. При цьому, як наслідок, вноситься додатковий фазовий шум у вимірювання. Для високоточних GNSS-приймачів, які використовують фазу несучої частоти для точного позиціонування (наприклад, у режимах RTK/PPP), це може призвести до:

- збільшення помилки позиціонування;
- втрати фазового захоплення (*Loss of Phase Lock*) PLL-контурами (петля фазового автопідстроювання), особливо під час сильних флуктуацій, де σ_ϕ кількісно виражає ступінь хаотичності фази сигналу.

2.3.2. Амплітудна сцинтиляція (S4) - це швидкі, випадкові зміни у потужності (інтенсивності) прийманого сигналу. Внаслідок інтерференції розсіяних хвиль на приймачі виникають глибокі провали потужності (федінги), які можуть тривати менше секунди. Якщо потужність сигналу падає нижче порога чутливості приймача, це призводить до:

- втрати захоплення коду (*Loss of Code Lock*);
- переривання стеження за супутником, що знижує доступність GNSS-системи та погіршує геометричний фактор (DOP);
- (S4) кількісно виражає глибину амплітудних флуктуацій.

Фазова сцинтиляція домінує у високих широтах, тоді як амплітудна сцинтиляція часто є більш інтенсивною в екваторіальних зонах. Сцинтиляція може призвести до втрати захоплення сигналу приймачем, короткочасного зникнення позиціонування або значної похибки в даних. Це є критичним фактором ризику для авіації та високоточних морських операцій [6].

2.3.3. Обмежена видимість: хоча нові системи (як-от ГЛОНАСС та *Galileo*) забезпечують дещо краще покриття порівняно з GPS, загальна доступність сигналу в деяких найбільш віддалених північних районах Канади все ще обмежена [8].

2.3.4. Мультипат (багатопроменевість): у гірських районах або в умовах густої забудови (хоча це менш актуально для Арктики) низький кут піднесення супутників збільшує ймовірність того, що сигнал буде відбиватися від навколишніх поверхонь (сніг, гори, вода), створюючи ефект мультипату, що погіршує точність.

Висновок. Таким чином, для забезпечення безпечної та стійкої навігації в Канаді, особливо у її північних регіонах, необхідна комплексна стратегія дій. Вона має включати значні інвестиції у гідрографічні дослідження та арктичну інфраструктуру, а також розробку гібридних навігаційних систем, що здатні компенсувати вразливість GNSS до умов високих широт та іоносферних перешкод. Це є ключем до реалізації високого економічного потенціалу Арктики та гарантування безпеки життєво важливих перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lasserre, F. (2022). Canadian Arctic Marine Transportation: Issues, Opportunities and Challenges. The School of Public Policy Publications, 15(1).
2. Molenaar, E. J., & Lasserre, F. (2018). Regulation of Arctic Shipping in Canada and Russia. Arctic Review on Law and Politics, 9(1), 74-106.
3. Office of the Auditor General of Canada. (2014). Chapter 3-Marine Navigation in the Canadian Arctic. Report of the Commissioner of the Environment and Sustainable Development.
4. Prikrýl, P., Zhang, Y., Piestrak, S. W., & Smetana, R. (2015). Climatology of GPS phase scintillation at northern high latitudes for the period from 2008 to 2013. Annales Geophysicae, 33(5), 531-542.

5. Shi, C., Lasserre, F., & Li, Y. (2022). Risk Assessment of Ship Navigation in the Northwest Passage: Historical and Projection. *Sustainability*, 14(9), 5591.
 6. Skone, S., & Coster, A. (2011). GNSS in the Arctic: Issues and Opportunities. *GPS World*, 22(8), 34-40.
 7. Swaszek, P. F., Hartnett, R. J., Seals, K. C., Siciliano, J. D., & Swaszek, R. M. A. (2018). Limits on GNSS Performance at High Latitudes. *Proceedings of the 2018 International Technical Meeting of The Institute of Navigation (ION ITM)*.
 8. Wielgosz, P., Paziewski, J., & Kaczorowski, M. (2017). Global Satellite Navigation Systems at High Latitudes, Visibility and Geometry. *Journal of Navigation*, 70(5), 929-943.
- Дослідження (Skone & Coster, 2011; Swaszek et al., 2018; Prikryl et al., 2015).

УДК 629.5.017.2-047.58

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КРИТЕРІЇВ ОСТІЙНОСТІ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ

Кучер Ю.П., ст. викладач

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

У зв'язку з прийняттям Міжнародною морською організацією (ІМО) критеріїв остійності неушкоджених суден другого покоління, заснованих на врахуванні експлуатаційних характеристик судна для встановлених небезпечних динамічних явищ, таких як зміна плеча відновлювального моменту на хвилюванні, резонансна бортова хитавиця, а також брочінг та інші явища, пов'язані з маневруванням, представляється цікавим оцінити можливість їх включення в систему комплексної оцінки та нормування мореплавності з урахуванням зазначених вимог до показників, що входять до системи.

Критерії остійності неушкодженого судна другого покоління включають в себе оцінку остійності з використанням методів, узгоджених з фізикою розглянутих явищ. Для оцінки схильності судна до тих чи інших небезпечних динамічних явищ використовують «Критерії вразливості». Критерії орієнтовані на оцінку п'яти ситуацій, пов'язаних з можливою втратою судном динамічної остійності на хвилюванні. Ці ситуації включають штормування судна з непрацюючою енергетичною установкою, розвиток надмірних прискорень, чисту втрату остійності, параметричну бортову хитавицю і серфінг/брочінг судна.

На відміну від обов'язкових критеріїв остійності неушкодженого судна, сформульованих, коли поведінка судна і методи його оцінки в цих п'яти небезпечних ситуаціях не були добре вивчені, критерії динамічної остійності враховують успішний досвід застосування передових наукових інструментів і засновані на врахуванні фізики явищ.

Послідовність застосування критеріїв другого покоління можна описати наступним чином. Найпростіші критерії вразливості представлені двома рівнями: рівень 1 і рівень 2. Оцінка п'яти сценаріїв втрати остійності повинна починатися з використання цих рівнів. Рівень 1 є початковою перевіркою: якщо судно при розглянутому випадку завантаження оцінюється як не схильне до перекидання в перевіреному сценарії втрати остійності, оцінка для цього сценарію втрати остійності може бути завершена; в іншому випадку перевірка переходить на рівень 2. Якщо судно при розглянутому випадку завантаження оцінюється як не схильне до перекидання в перевіреному сценарії на рівні 2, то оцінка буде завершена; в іншому випадку застосовується пряма оцінка остійності, вводяться експлуатаційні обмеження, змінюється конструкція судна або цей випадок завантаження виключається. Як видно з цієї інформації про критерії ІМО другого покоління, на результати оцінки вразливості судна безпосередньо впливають не тільки його конструктивні особливості, але й умови експлуатації.

Оцінка вразливості судна до режиму втрати остійності з виведеною з ладу енергетичною установкою.

Для цілей оцінки вразливості рівня 1 у сценарії втрати остійності судна з виведеною з ладу енергетичною установкою використовується метод оцінки, включений до розділу 2.3 Кодексу ІМО. Оцінка вразливості рівня 2 являє собою спрощену консервативну імовірнісну міру вразливості судна до втрати остійності при виведеній з ладу енергетичній установці для розглянутого випадку завантаження, засновану на таких основних припущеннях:

- судно має непрацюючу енергетичну установку на нерегулярному хвилюванні і при поривчастому вітрі протягом певного часу;
- вітер дме і хвилі поширюються в одному і тому ж напрямку, а глибина води досить велика (глибина води більше половини довжини хвилі);
- судно розташоване лагом до вітру і хвиль;
- стан вітру характеризується середньою швидкістю вітру і спектром поривчастості;
- стан моря характеризується спектром висот хвиль, і хвилі мають довгий гребінь;
- бортову хитавицю судна можна змодельовати як систему з одним ступенем свободи.

Незважаючи на використання регламентованої фізичної схеми положення судна по відношенню до вітру і хвилювання, в розрахунок критерію присутні параметри, що характеризують умови навколишнього середовища і характеристики хитавиці в цих умовах. Це створює передумови для формування на базі розглянутого критерію відповідного показника морехідних якостей судна та розробки методу його розрахунку для подальшої інтеграції в комплексну систему оцінки.

Оцінка вразливості судна до надмірного прискорення.

Критерій вразливості рівня 1 для сценарію втрати остійності через надмірне прискорення запропоновано у такому вигляді:

$$\varphi \cdot k_L \cdot (g + 4\pi^2 h_r / T_r^2) \leq R_{EA1},$$

де $R_{EA1} = 4,64 \text{ м/с}^2$;

T_r – власний період бортової хитавиці;

k_L – коефіцієнт врахування одночасної дії різних видів хитавиці;

h_r – висота над передбачуваною віссю бортової хитавиці в місці, де можуть перебувати пасажери або екіпаж (м), для визначення якої вісь крену можна прийняти розташованою посередині між ватерлінією і вертикальною координатою центру ваги;

φ – характерна амплітуда бортової хитавиці (рад.).

Характерна амплітуда бортової хитавиці визначається в припущенні, що дисперсія бортової хитавиці переважно визначається частотами, близькими до власної частоти бортової хитавиці.

Критерій вразливості рівня 2: $C = \sum_{i=1}^N W_i C_{S,i}$.

C є довгостроковим індексом ймовірності в діапазоні від 0,0 (низька) до 1,0 (висока), який отримується як середньозважене значення короткострокових індексів $C_{S,i}$ розвитку надмірних прискорень для випадку завантаження, місцезнаходження людей в розглянутих короткострокових умовах вітру і хвилювання.

W_i – ваговий коефіцієнт, що враховує ймовірність появи тих чи інших короткострокових погодних умов.

N – загальна кількість короткострокових умов навколишнього середовища.

Оцінка вразливості судна до чистої втрати остійності.

Оцінка вразливості судна до чистої втрати остійності виконується тільки для суден з відносно високою експлуатаційною швидкістю. Якщо швидкість низька, то період часу, протягом якого судно піддається впливу зниженої остійності (зменшеному плечу відновлювального моменту), є, як правило, занадто коротким для розвитку великого кута крену. Критерій рівня 1 є спрощеним варіантом критерію рівня 2, що оцінює вразливість з використанням кривої плеча відновного моменту на хвилюванні. Критерій рівня 1 оцінює вразливість за виправленою метацентричною висотою. Оцінка рівня 1 вразливості до чистої

втрати остійності виконується з використанням консервативної апроксимації найменшого значення GM під час проходження хвилі.

Для оцінки рівня 2 потрібна оцінка за двома критеріями в умовах зменшеного плеча відновлювального моменту від дії хвилі.

$$\max (CR_1, CR_2) \leq R_{PL0},$$

де $R_{PL0}=0,06$;

CR_1, CR_2 - кожен з двох критеріїв являє собою середньозважене значення параметрів остійності судна, статично поставленого на хвилю заданої висоти і довжини.

Оцінка вразливості рівня 2 для чистої втрати остійності базується на розрахунку зважених критеріїв CR_1 і CR_2 , виходячи з визначальних їх середньозважених критеріїв C_{1i} і C_{2i} , що розраховуються для кожної розрахункової хвилі. Повинна застосовуватися поправка на вільну поверхню, що відповідає розглянутому випадку завантаження. Розрахунки проводяться для 11 положень гребеня хвилі: при гребені хвилі, що знаходиться біля середини і на відстанях $0,1L, 0,2L, 0,3L, 0,4L$ і $0,5L$ носовіше і $0,1L, 0,2L, 0,3L, 0,4L$ і $0,5L$ кормовіше від середини. З огляду на вищевикладене вплив параметрів експлуатації судна на значення критерію і можливість формування на його основі відповідного показника мореплавності є очевидними.

Оцінка вразливості судна до параметричної бортової хитавиці.

Критерій вразливості для сценарію втрати остійності при параметричній бортовій хитавиці як рівня 1, так і рівня 2 вимагає ретельного аналізу фізичних основ параметричної бортової хитавиці. Параметрична бортова хитавиця (скорочена назва офіційного терміна «резонанс параметричної бортової хитавиці») — це явище динамічної остійності, при якому посилення бортової хитавиці викликане періодичною зміною поперечної остійності на хвилюванні. Явище параметричної бортової хитавиці спостерігається в основному на зустрічних хвилях, попутних і на хвилях під кутом до носа або корми, коли частота зіткнення судна приблизно вдвічі більша за власну частоту бортової хитавиці судна, а демпфування бортової хитавиці судна є недостатнім для розсіювання додаткової енергії (накопиченої внаслідок параметричного резонансу).

Частота зустрічей з хвилями змінюється, коли судно знаходиться в русі. Коли судно йде на попутному хвилюванні або на хвилюванні під кутом до корми, напрямом хвиль і курс судна однакові. В результаті відносна швидкість мала, і судно стикається з меншою кількістю хвиль протягом одного і того ж періоду часу (в порівнянні з випадком нульової швидкості); період зустрічей збільшується (а частота зустрічей зменшується). Коли судно йде на зустрічному хвилюванні або на хвилюванні під кутом до носа, напрямом хвилювання і курс судна протилежні. В результаті відносна швидкість велика, і судно стикається з більшою кількістю хвиль за той самий час (у порівнянні з випадком нульової швидкості); період зустрічі зменшується (а частота зустрічі збільшується).

Початок параметричної бортової хитавиці залежить від частоти зустрічі, що знаходиться в діапазоні частот, де можлива параметрична бортова хитавиця. Отже, розвиток параметричної бортової хитавиці залежить від швидкості і курсу.

Оцінка вразливості судна до серфінгу/бродіння.

Критерій і норматив для числа Фруда в критерії рівня 1 були прийняті в складі циркуляра MSC/Circ.707 в 1995 р. і потім замінені циркуляром MSC.1/Circ.1228. На даний час зроблено висновок про те, що за відповідних умов хвилювання може виникнути серфінг, коли швидкість судна перевищує

$$V_s \geq 1,8\sqrt{L} / \cos (180^\circ - \beta),$$

де V_s — швидкість судна у вузлах;

β — кут зустрічі з хвилею в градусах.

Припускаючи, що при попутних хвилях $\beta = 180^\circ$, і перетворюючи формули так, щоб вони були засновані на числі Фруда, отримуємо:

$$F_n \geq 1,8 \cdot 0,5144 / \sqrt{g} = 0,296 \approx 0,3.$$

Це вважається нижньою межею порогу для серфінгу за будь-яких початкових умов для звичайних суден на найгіршому хвилюванні. Найгірша довжина хвилі для серфінгу

порівняння з довжиною судна. Довжина крутих океанських хвиль має певні обмеження, тому ймовірність серфінгу довгих суден невелика. Таким чином, критерії вразливості рівня 1 також встановлюють поріг довжини судна 200 м.

Оскільки критерій рівня 1 являє собою просту оцінку числа Фруда, дані щодо опору або тяги не потрібні. Однак критерії вразливості рівня 2 вимагають використання надійних оцінок опору та тяги.

Пропонований ІМО критерій ризику втрати остійності внаслідок брочингу під час руху судна на гребені попутної хвилі може бути модифікований з урахуванням уточнення діапазону чисел Фруда, при яких реалізується захоплення судна попутною хвилею, і коригування умови захоплення попутною хвилею виходячи з припущення про відомість значення частоти обертання гребного гвинта

ЛІТЕРАТУРА

1. Resolution MSC.267(85) – International Code on Intact Stability 2008, s.l.: IMO.
2. IACS Rec. No. 34. Standard Wave Data, 2001.
3. MSC.1/Circ.1200.
4. Kuteynikov M.A. Possibility of integrating IMO second-generation stability criteria in complex seaworthiness norms system. 2025. EDN EIPDXD.

УДК 629.7.072: 681.5.04

СПРОЩЕНІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ ІНЕРЦІАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ МАЛИХ БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ

Лошаков М. І., курсант гр. 1501, Курдюк С. В., PhD, старший дослідник, Інститут ВМС,
Онищенко О. А., д. т. н., професор

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Вступ. Морські безпілотні апарати (*Unmanned Surface Vehicles, USV*) набувають критичного значення як у сфері національної оборони, так і в цивільних додатках, включаючи геореференціювання, морські обстеження, моніторинг навколишнього середовища та автономну логістику [1]. Ефективність *USV* безпосередньо залежить від надійності їхніх навігаційних систем, особливо здатності підтримувати високу точність позиціонування та орієнтації в умовах, де сигнали глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) можуть бути ослаблені або повністю відсутні.

Ринок *USV* демонструє стійке зростання - прогнозований сукупний річний темп зростання (*CAGR*) складає 5,0 %. [2, 3]. Таке швидке розширення посилює потребу в масштабованих та економічно ефективних навігаційних рішеннях. Загалом, *USV* висувають унікальні вимоги до застосованих навігаційних компонентів, що підтверджено експлуатацією в суворих морських умовах. Ці вимоги включають високу стійкість до ударних навантажень (наприклад, 2000*g* живучості (*survivability*) для окремих моделей *IMU* (*Inertial Measurement Unit* - інерціальних вимірювальних систем) [4], механічну міцність, та, що є найважливішим для тривалих автономних місій, низьке енергоспоживання, необхідне для максимізації часу роботи без поповнення запасу енергії.

Вибір інерціального вимірювального модуля (*IMU*) для *USV* нерозривно пов'язаний із компромісом між вартістю, розміром та продуктивністю і є вкрай актуальним завданням.

Основний матеріал. Мікроелектромеханічні системи (*MEMS*) *IMU*, завдяки своїй компактності, малій вазі, габаритів та нижчій ціні (часто меншій ніж половина вартості якісних гіроскопів *FOG* - *Fiber Optic Gyroscopes*) [5], є привабливим вибором для платформ, де корисне навантаження та розмір апарату строго обмежені [1-5].

Проте недоліки *MEMS*-сенсорів, порівняно з волоконно-оптичними гіроскопами *FOG*, включають нижчу нативну точність, вищий рівень шуму, значну чутливість до температурних змін та вищу нестабільність зміщення (*Bias Instability*) [4-8]. Цей технологічний компроміс породжує фундаментальний, актуальний для вирішення, виклик: для досягнення тактичного рівня точності, який зазвичай асоціюється з *FOG*, *MEMS*-системи вимагають значно складнішої компенсації помилок.

Ця вимога підвищення точності демонструє, що низька вартість апаратного забезпечення *MEMS*, яке ідеально підходить для масового виробництва *USV*, потребує перекласти технічну складність на інший рівень - на складні, високошвидкісні обчислювальні платформи та активну науково-дослідну діяльність (*R&D*) для розробки адаптивних алгоритмів визначення координат. Таким чином, сучасні інвестиції зміщуються з дорогого, високоточного апаратного забезпечення на інтелектуальне програмне забезпечення, здатне ефективно компенсувати вроджені помилки сенсорів. Обмеження розміру та ваги *USV* диктують використання *MEMS*, що, у свою чергу, вимагає суворого контролю фізичних інтерференцій (вібрація, електромагнітні завади), щоб мінімізувати подальше погіршення й без того високих шумових характеристик *MEMS* [8-10].

Високопродуктивні *MEMS IMU*, такі як тактичні *S-Class* (наприклад, *HGGuide HG4930*), підкреслюють цю зміну парадигми, пропонуючи мініатюрні розміри (наприклад, 65×51×35,5 мм [1, 7] та ефективне енергоспоживання (до 2 Вт), що є критичним для морських платформ, але вимагають передових методів інтеграції та фільтрації.

MEMS - це повноцінні мікроелектромеханічні пристрої, які інтегрують механічні елементи, мікросенсори, мікроприводи та схеми обробки сигналів на одній мікросхемі. Основними компонентами *MEMS*, що використовуються в суднових навігаційних системах, є гіроскопи та акселерометри, принцип дії яких базується на різних фізичних ефектах [7-11].

Акселерометр - чутливий елемент інерціальної системи навігації, який вимірює проекцію уявного прискорення на вісь чутливості. Принцип дії *MEMS* акселерометра оснований на вимірюванні електричної ємності. Сенсорний елемент складається з двох нерухомих металевих обкладинок (електродів) та рухомої обкладки, яка підвішена між ними і навантажена інерційною масою. Коли на пристрій діє прискорення, інерційна маса переміщується. Це переміщення змінює відстань d між рухомою та нерухомими пластинами (обкладинками) конденсатора. Оскільки ємність конденсатора залежить від відстані між пластинами, тому зміна відстані призводить до зміни електричної ємності конденсатора. Електронна схема з датчиком ємності перетворює цю зміну ємності у вихідний електричний сигнал - заряд, напругу або струм. Часто використовується диференціальний режим з'єднання двох конденсаторів у акселерометрі для збільшення амплітуди та покращення лінійності сигналу. Подвійним інтегруванням значення вихідного сигналу акселерометра обчислюється швидкість об'єкта на якому встановлено акселерометр.

Принцип дії *MEMS* гіроскопу наступний. *MEMS* гіроскопи, які також називають електронними гіроскопами, переважно використовують силу Коріоліса для вимірювання кутової швидкості. Гіроскоп використовує коливальні механічні елементи, виготовлені з кремнію. Принцип полягає у використанні взаємно ортогональних коливань (вібрацій) та обертань. Коли об'єкт, на якому встановлено гіроскоп, починає обертатися (тобто на нього діє кутова швидкість), на його масу, що коливається, починає діяти сила Коріоліса. Ця сила спричиняє зміщення (відхилення) рухомої частини. Відхилення фіксується внутрішніми ємнісними сенсорами. Зміна електричної ємності між рухомими та нерухомими мікроелектродами є пропорційною кутовій швидкості обертання пристрою. Електронна схема з датчиком ємності перетворює цю зміну ємності у вихідний електричний сигнал. Таким чином, *MEMS* гіроскоп перетворює кутову швидкість об'єкта в сигнал постійної напруги, пропорційний цій кутовій швидкості [7-13].

У загальних випадках: а) задача орієнтації судна вирішується двома гіроскопами, у яких у початковий момент часу кінетичні моменти перпендикулярні один одному; б) задача орієнтації та навігації вирішується одним гіроскопом Γ та двома акселерометрами (A_x і A_y).

Така безінерціальна навігаційна система (північний канал БІНС) може бути реалізована за схемою, яка зображена на рис. 1.

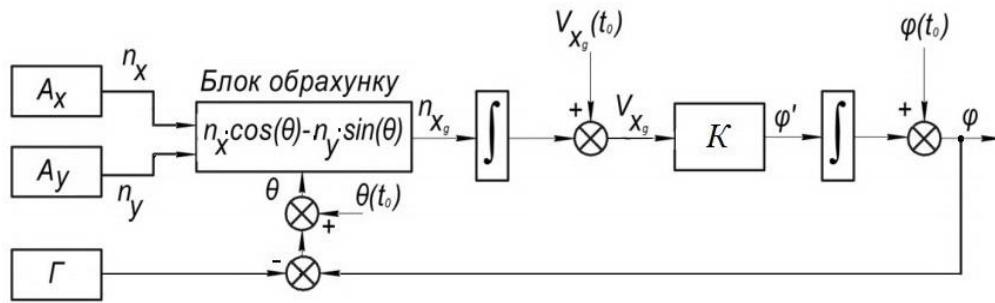


Рисунок 1. Структурна схема найпростішої реалізації одного каналу БІНС на елементах *MEMS* (одному гіроскопі та двох акселерометрах)

Наведена на рис. 1 конфігурація є сильно спрощеною порівняно зі стандартною 6-осьовою (3 гіроскопи + 3 акселерометри) безінерціальною навігаційною системою. Вона (рис. 1) може вирішувати завдання орієнтації та навігації лише за умови, що рух об'єкта суворо обмежений або відомий (наприклад, рух переважно в одній площині), і часто вимагає зовнішніх датчиків для доповнення інформації. Але у багатьох випадках, коли є необхідність у мінімізації вартості обладнання і невеликий час роботи без зв'язку з ГНСС чи оператором, така схема задовільно виконує свої функції.

Для *MEMS* обов'язковим є початкова виставка у *БІНС* на нерухомій основі, яка робиться згідно з місцевою системою географічних координат, визначеною напрямками справжньої півночі та місцевої вертикалі. Передбачається, що навігаційна система координат нерухома відносно Землі. У цій ситуації акселерометри вимірюють три ортогональні компоненти сили, необхідної для протидії силі тяжіння, а три гіроскопи вимірюють компоненти швидкості обертання Землі в тих самих напрямках. Така система включає акселерометри, чутливі осі яких мають бути виставлені згідно з північною, східною та вертикальною осями базової системи відліку. Подібним чином визначають північний, східний і вертикальний гіроскопи. Початкова виставка досягається шляхом регулювання орієнтації основи, поки виміряні компоненти сили та швидкості руху Землі не стануть рівними очікуваному значенням. Горизонтальні компоненти сили тяжіння, що діє в північному та східному напрямках, номінально дорівнюють нулю. Тому панель приладів обертається, доки вихідні сигнали північного та східного акселерометрів не досягнуть нуля, таким чином вирівнюючи платформу. Оскільки відомо, що східна складова швидкості Землі також дорівнює нулю, платформу обертають навколо вертикалі, доки вихідний сигнал східного гіроскопа дорівнюватиме нулю, таким чином досягаючи виставки в азимуті. Такий процес називається гірокомпасуванням, що є попереднім для настроювання БІНС [8-15].

Схема побудови БІНС (див. рис. 2), надає змогу використовувати як блок одноосісних акселерометрів так і один тривісний акселерометр, що суттєво підвищує технічні характеристики навігаційної системи. Незважаючи на те який блок акселерометрів використовується, усі акселерометри мають певні групи похибок.

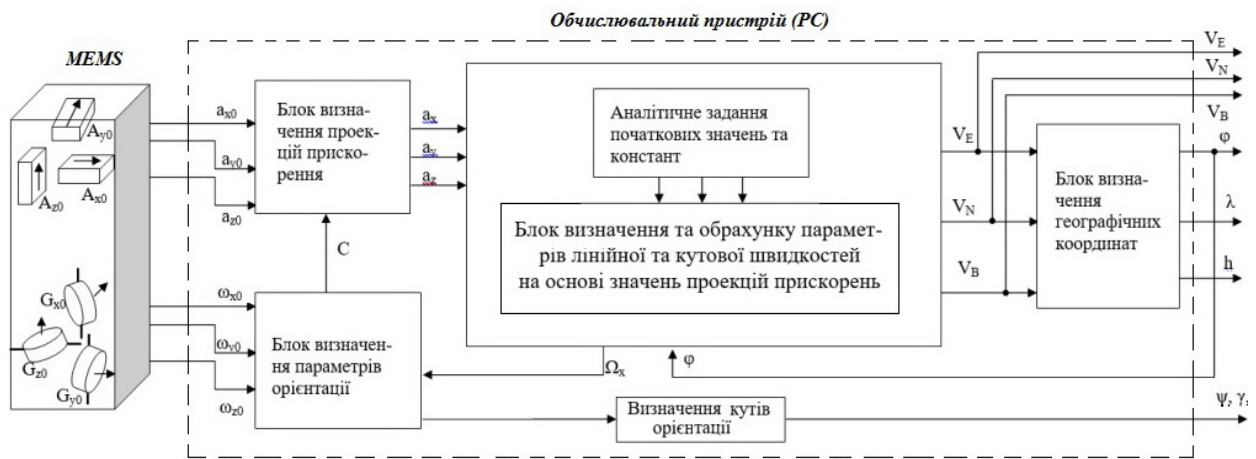


Рисунок 2. Загальна функціональна схема побудови БІНС на елементах MEMS

Однією із основних похибок акселерометра є зміщення нуля. Зміщення нуля акселерометра впливає: при однократному інтегруванні на значення лінійної швидкості, при двократному інтегруванні – на значення розрахованого місцеположення. Оцінити значення похибки можна за наступною формулою:

$$\delta_p = \int b_a \cdot t \cdot dt = 0,5 \cdot b_a \cdot t^2,$$

де b_a - зміщення нуля акселерометра, δ_p - похибка визначення швидкості або координати; t – час руху судна. Значення похибки δ_p залежить від значення зміщення нуля акселерометра, що є комплексною величиною, яка залежить від багатьох факторів. Зазвичай ці похибки можна якісно оцінити провівши стендові (лабораторні) дослідження MEMS.

USV може бути обладнаний різноманітними датчиками або системами, які здатні забезпечувати інформацію про координати, яка може бути використана для системи інерціальної навігації на борту під час автономного руху. Відповідні дані можуть бути надані через супутник і вважатися еталонними, або створені за допомогою наземної радіолокаційної системи чи мобільного зв'язку. Похибки координат зростають в системі інерціальної навігації в результаті неточностей встановлення і налаштування MEMS та в результаті неякісної програмної обробки результатів вимірювання координат (швидкості, курсу). Шляхом порівняння координат, наданими зовнішніми джерелами (еталонними) з оцінками координат, що генеруються БІНС, отримують оцінки похибок (див. рис. 3). На основі моделі похибок БІНС можна визначити похибки з різниці координат.



Рисунок 3. Використання фільтрації Калмана у БІНС із застосуванням MEMS

На рис. 3 наведена класична схема інтеграції двох навігаційних систем, де одна, еталонна, вважається точною (наприклад, супутникова), а інша, ведена, побудована на основі

MEMS і є менш точною та накопичує помилки. На цьому рисунку (рис. 3) позначено: помилки крену - $\Delta\alpha$, тангажу - $\Delta\beta$, курсу - $\Delta\delta$; помилка швидкості по Півночі - ΔV_N , помилка швидкості по Сходу - ΔV_E ; оцінена/скоригована швидкість по Півночі та по Сходу позначена, як $\sim$; виміряна швидкість по Півночі та по Сходу позначена як $\wedge$.

Фільтр Калмана використовує різницю вимірних швидкостей між системами, щоб обчислити та повернути поправки ($\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, $\Delta\delta$ і помилки швидкостей ΔV_N і ΔV_E) до веденої системи, тим самим підвищуючи її точність. Корекція "плеча важеля" (Lever arm correction) потрібна, якщо *MEMS* датчики встановлені не у центрі мас апарата. Також необхідне налаштування фільтра Калмана. Загалом на судно діє хитавиця. Heave (вертикальна хитавиця) - рух корпусу вгору-вниз вздовж вертикальної осі (Z); Pitch (тангаж) - обертання корпусу навколо горизонтальної поперечної осі (підйом/опускання носа). Наприклад, на низьких частотах (тобто при русі на великих морських хвилях) вертикальна хитавиця (Heave) часто знаходиться у фазовому зсуві 90° відносно інших рухів (таких, як тангаж та крен). Це означає, що коли, наприклад, ніс судна знаходиться у найвищій точці (максимальний тангаж), вертикальна швидкість (heave velocity) може бути нульовою, і навпаки. Точне моделювання цього фазового зсуву у 90° має критичне значення для налаштування фільтра Калмана, який повинен точно враховувати цю нелінійну залежність. Якщо ця залежність не змодельована правильно, це може призвести до зниження точності всієї БІНС при оцінці позиції та швидкості USV в умовах хвиль.

Висновки. Застосування *MEMS*-сенсорів у навігаційних системах малих безпілотних апаратів є ключовим компромісом між низькою вартістю, компактністю та необхідною точністю. Незважаючи на вроджені недоліки *MEMS* (вищий шум та дрейф, порівняно з FOG-гіроскопами), їхня економічна ефективність перекладає технічну складність з апаратного забезпечення на інтелектуальні алгоритми. Для досягнення тактичного рівня точності є обов'язковим використання гібридних схем (інерціальна навігаційна система/глобальна навігаційна супутникова система), де фільтр Калмана є центральним елементом для компенсації дрейфу датчиків *MEMS*. Успішна експлуатація таких систем у морських умовах вимагає точного моделювання динаміки руху (наприклад, фазовий зсув хитавиці) та використання додаткових методів для контролю фізичних інтерференцій, зокрема вібрації та електромагнітних завад.

ЛІТЕРАТУРА

1. SBG Systems. Новий IMU на основі MEMS, здатний визначати напрямок незалежно від GNSS. Systemnet. Режим доступу: <https://systemnet.com.ua/novini/novyuy-imu-na-osnovi-mems-zdatnyy-vyznachaty-napriamoknezalezno-vid-gnss/>.
2. Глобальний ринок безпілотних поверхневих транспортних засобів (USV). Emergen Research. Режим доступу: <https://www.emergenresearch.com/ru/industry-report/unmanned-surface-vehicle-market>.
3. ADIS16480 iSensor®: Complete Inertial System (Data Sheet). Analog Devices, Inc. Режим доступу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adis16480.pdf>.
4. Choosing an IMU: FOG vs MEMS IMUs. Canal Geomatics. Режим доступу: <https://canalgeomatics.com/knowledgebase/choosing-imu-fog-vs-mems-imus/>.
5. The Difference Between MEMS and FOG IMUs. Geospatial World. Режим доступу: <https://geospatialworld.net/prime/special-features/difference-between-mems-fog-imus/>.
6. 10-осьові MEMS IMU: Пояснення переваг, компонентів та варіанти використання. Garmin. Режим доступу: <https://www.garmin.com/uk/learn/10-axis-mems-imu>.
7. Han, M., Kim, H., & Lee, W. Reduction of Pyro-shock for MEMS Inertial Measurement Unit. MDPI Sensors. 2022. Режим доступу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35808532/>.
8. U. S. Department of Energy. Study on an Electromagnetically Levitated Vibration Isolation System (ELVIS). NASA Technical Reports Server. 1994. Режим доступу: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19940031399>.

9. A Basic Overview of EMI Shielding Techniques & Concepts. Laird. Режим доступу: (https://www.mouser.lt/pdfDocs/abasicoverviewofemishieldingtechniquesconcepts_mouse_r.pdf).
10. How to create optimal EMI shielding: 101 EMI shielding tips and tricks. Holland Shielding Systems. Режим доступу: <https://hollandshielding.com/en/101-emi-shielding-tips-and-tricks>.
11. Lorusso, M., & Pirozzi, E. A GNSS/INS Sensor Fusion Approach for USV Global Position Estimation. MDPI Applied Sciences. 2023. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/8/4213>.
12. Saponieri, P. A. The Influence of ADCP Sensor Placement on USV Dynamics. MDPI Sensors. 2021. Режим доступу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7830698/>.
13. Giberti, A. et al. Low-Cost MEMS-Based IMU Calibration Procedure for Enhanced Performance in Dynamic Applications. MDPI Sensors. 2010. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/10/1/456>.
14. Hu, M. et al. Multi-position Installation Error Correction for MEMS-IMU Redundant Structure. PMC. 2023. Режим доступу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12029845/>.
15. Fossen, T. I. Real Time Estimation of Ship Motions Using Kalman Filtering Techniques. Massachusetts Institute of Technology (MIT). 1982. Режим доступу: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/18537>.

УДК 551.578.46:551.326(098.1)

ВПЛИВ ТВЕРДИХ І РІДКИХ ОПАДІВ НА УТВОРЕННЯ МОРСЬКОГО ЛЬОДУ В КАНАДСЬКІЙ АРКТИЦІ

Малюга Е. Є., ст. викладач

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ

У контексті глобального потепління особливу увагу наукової спільноти привертають арктичні регіони, які нагріваються майже у чотири рази швидше, ніж Земна куля в середньому [1]. За даними NASA та National Snow and Ice Data Center (NSIDC), зимовий морський льодовий покрив Арктики в 2025 році досяг свого найнижчого рівня за 47 років супутникових спостережень. Максимальна площа криги була на 1,32 мільйона квадратних кілометрів нижчою за середній рівень за період з 1981 по 2010 рік [2, 3]. Тому, за умов сезонного послаблення льодового покриву, морські шляхи між Атлантичним і Тихим океанами через Північно-Західний прохід набувають додаткового значення, як потенційно здатні скоротити тривалість рейсів і вартість вантажоперевезень, порівняно з маршрутом через Панамський канал [4, 5]. Це обумовлює актуальність і необхідність оцінки метеорологічних факторів, зокрема опадів, що впливають на створення, наявність і танення морської криги на маршруті.

Основна частина

Поява снігу на морський кризі, в залежності від багатьох факторів, може призвести до абсолютно протилежних результатів. Так, з одного боку, збільшується вага та товщина системи лід-сніг. В разі підтоплення снігу морською водою, створюється так звана снігова крига (snow ice). Це найчастіше відбувається на поверхні однорічного льоду (FYI) восени – на початку зими. В разі просочування талої чи дощової води вниз і наступного її замерзання, над кригою виникає так званий накладений лід (superimposed ice), що спостерігається переважно на поверхні багаторічного льоду (MYI) наприкінці весни – раннім літом. Таким чином в обох випадках маємо зростання товщини крижаного шару. До речі, останнім часом Північний Льодовитий океан переживає період поступового переходу від переважання багаторічної криги до домінування сезонної однорічної [6]. Тепер MYI, перенесений влітку в південну

частину моря Баффіна, вже не може витримати сезон танення [7]. З іншого боку, сніговий покрив має теплоізоляційні властивості і стримує як потоки холоду, спрямовані вниз (при падінні температури повітря), так і потоки тепла від підлідної води, спрямовані назовні, (що зменшує втрати тепла). Отже, це сповільнює льодоутворення [8].

Крім того, сніг підвищує відбиття падаючих сонячних променів (альbedo) і тим самим стримує прогрів поверхні і процеси танення. Водночас, кліматичні зміни призводять до зменшення кількості снігопадів, більш раннього початку та продовження строків плавлення криги, що в підсумку значно скорочує площу льодового покриву і долю снігового покриття над ним. Відкрита океанічна вода (маючи до того ж менше альbedo, ніж у снігу) сильніше прогрівається, що додатково перешкоджає виникненню криги. Тому, як свідчать супутникові виміри, з 1980 років середнє альbedo Арктики поступово знижується. Причинами цього, приблизно на 70%, є зменшення випадання снігу через підвищення температури, а зменшення об'єму морського льоду відповідає за більшу частину решти [9].

Багато дослідників зазначають, що потепління Арктики в цілому збільшує там кількість опадів. Враховуючи зменшення кількості снігопадів, маємо зростання долі дощів (rain-on-snow, або ROS). Хоча при цьому за умови замерзання може створитися накладений лід (superimposed ice), найчастіше, навіть незначна кількість ROS призводить до пришвидшення танення снігу та в подальшому криги під ним. В подальшому прогнозується, що дощ буде домінуючим типом опадів в Арктиці [10,11,12].

Висновки

Підсумовуючи вищесказане, можна стверджувати, що тверді та рідкі опади є важливими факторами, які впливають на процеси створення, сезонний приріст, існування і танення криги в Канадській Арктиці. Цей вплив, в залежності від багатьох умов, може бути як позитивним, так і негативним, але, беручи до уваги тенденції скорочення площі морської криги та заміщення багаторічного льоду на сезонний однорічний в останні десятиріччя, негативний ефект переважає. В свою чергу це відкриває додаткові перспективи для судноплавства у збільшенні трафіку через Північно-Західний прохід.

ЛІТЕРАТУРА

1. Rantanen, M. et al. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun Earth Environ* 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
2. Riordon J. (2025). NASA, NSIDC Scientists Say Arctic Winter Sea Ice at Record Low. URL: <https://www.nasa.gov/earth/arctic-winter-sea-ice-at-record-low/>
3. Arctic sea ice hits record low maximum extent for the year. (2025). *National Snow and Ice Data Center*. URL: <https://nsidc.org/news-analyses/news-stories/arctic-sea-ice-hits-record-low-maximum-extent-year>
4. Ruibo L. et al. (2015). Changes in sea ice conditions along the Arctic Northeast Passage from 1979 to 2012. *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 119, pp. 132-144. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.08.004>
5. Jin-Lei Chen et al. (2023). Impacts of 1.5 °C global warming on hydrological conditions of navigation along the Northern Sea Route and Northwest Passage. *Advances in Climate Change Research*, Vol. 14 (6), pp. 904-912. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2023.11.010>
6. Merkouriadi I. et al (2020). Quantifying the Potential for Snow-Ice Formation in the Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, Vol. 47 (4). <https://doi.org/10.1029/2019GL085020>
7. Kwok R. (2018). Arctic sea ice thickness, volume, and multiyear ice coverage: losses and coupled variability (1958–2018). *Environ. Res. Lett.* Vol. 13 (10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae3ec>
8. Holland, M. et al (2021) The influence of snow on sea ice as assessed from simulations of CESM2. *The Cryosphere*, 15, pp. 4981–4998, <https://doi.org/10.5194/tc-15-4981-2021>
9. Zhang, R. et al. (2019) Unraveling driving forces explaining significant reduction in satellite-inferred Arctic surface albedo since the 1980s, *P. Natl. Acad. Sci. USA*. Vol. 116 (48). <https://doi.org/10.1073/pnas.1915258116>

10. Lauer M. et al. (2023). Influence of atmospheric rivers and associated weather systems on precipitation in the Arctic. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Vol. 23 (15). <https://doi.org/10.5194/acp-23-8705-2023>
11. Dou, T. Et al. (2019). A key factor initiating surface ablation of Arctic sea ice: earlier and increasing liquid precipitation. *The Cryosphere*. Vol. 13(4). <https://doi.org/10.5194/tc-13-1233-2019>
12. Bintanja, R., Andry, O. (2017). Towards a rain-dominated Arctic. *Nat. Clim. Change*. 7, pp. 263–267. <https://doi.org/10.1038/nclimate3240>

УДК 629. 54 - 52 - 049. 5 (045)

РОЛЬ OPERATIONAL DESIGN DOMAIN (ODD) У БЕЗПЕЦІ АВТОНОМНИХ СУДЕН

Маркітан В.В., *ст. викладач*

Національний Університет «Одеська Морська Академія» (Україна)

Вступ. Автономні морські судна змінюють традиційні уявлення про судноводіння, переводячи частину операційної відповідальності від людини до алгоритмів. Operational Design Domain або ODD — це набір умов і обмежень, в яких автономна система може безпечно й ефективно виконувати свої завдання. Поняття ODD запозичене з автомобільної галузі і в сфері розробки MASS найчастіше фігурує як «operational envelope», «обмеження експлуатації» або «умови застосовності» у технічних звітах, національних проєктах і матеріалах ІМО. У морському контексті ODD охоплює навігаційні умови, типи маршрутів, характеристики судна, доступні сенсори та інфраструктуру зв'язку. Чітке визначення та валідація ODD стають фундаментом для безпеки, сертифікації та інтеграції MASS у існуючі морські операції. [1,2]

Актуальність теми. Поширення MASS прискорюється, але їх безпечна експлуатація залежить не тільки від алгоритмів керування, а й від ясних меж застосовності цих алгоритмів. Без застосування ODD:

- зростає ризик помилкового поводження систем у нетипових умовах;
- ускладнюється розподіл відповідальності між оператором, виробником і судновласником;
- сертифікація і регуляторний контроль стають фрагментованими.

Крім того, ODD допомагає в інтеграції MASS у порти і судноплавні коридори, де змішані потоки — пілотовані та автономні судна — вимагають прозорих правил взаємодії. З огляду на ІМО-ініціативи та розвиток національних правил, тема ODD стає ключовою для практичної реалізації безпечних автономних операцій.

Постановка задачі. Мета статті — описати роль ODD у забезпеченні безпеки автономних суден і запропонувати структуру підходу до його визначення та валідації. Конкретні задачі:

1. Ідентифікувати основні компоненти ODD для морських застосунків.
2. Проаналізувати, як ODD впливає на прийняття рішень системою та людським оператором.
3. Визначити методи валідації та контролю ODD під час експлуатації.
4. Надати практичні рекомендації для розробників, операторів та регуляторів.

Результати дослідження.

Основні компоненти. ODD для MASS слід розглядати як багаторівневу модель, що включає:

- **Навігаційне середовище:** відкриті моря, прибережні зони, вузькі проходи, підхід до порту, район з інтенсивним рухом.
- **Метеоумови:** видимість, хвилювання, вітер, крижаний покрив.

- **Технічні характеристики судна:** розміри, осадка, маневреність, системи приводу.
- **Датчики і зв'язок:** типи і калібрування РЛС, камер, ехолота, GNSS, AIS, доступність супутникового та портового зв'язку.
- **Операційні процедури і інтерфейси:** можливість дистанційного керування, рівень автоматизації, протоколи переходу управління на човновий екіпаж.
- **Обмеження часу і задачі:** швидкість проходження, роботи в нічний час, вантажні операції, маневри в екстрених ситуаціях.

Вплив на прийняття рішень. Чітко визначений ODD обмежує простір, у якому автономна система приймає рішення без людського втручання. Підходи до розробки ODD :

- **Правила відповідності:** система виконує операції лише якщо всі параметри поточного стану входять у межі ODD.
- **Режими деградації:** при виході за межі ODD система переходить у режим обмеженої автономії або ініціює передачу контролю оператору.
- **Пріоритети безпеки:** ODD повинен враховувати сценарії, де безпека має вищий пріоритет за ефективність, наприклад, при зниженій видимості або втраті GNSS. Валідація і моніторинг. Ефективна валідація ODD складається з декількох рівнів:
- **Модульне тестування:** симуляції сенсорів та окремих алгоритмів у межах заданих сценаріїв.
- **Інтеграційні тести:** модельні маршрути з реальною або синтетичною ситуацією щільності руху суден.
- **Польові випробування:** поступове розширення ODD від контрольованих тестових трас до складних реальних умов.
- **Операційний моніторинг:** логування відхилень, метрики відповідності ODD, механізми оновлення і повторної валідації після змін у ПЗ або апаратурі.

Управління ризиками і регуляція. ODD полегшує створення «безпечних зон» для тестування і сертифікації. Регулятори можуть вимагати документи, що описують ODD, методи тестування та плани деградації. Також ODD спрощує визначення меж відповідальності: якщо інцидент стався у межах декларованого ODD, оцінка причин і винних сторін відбувається за іншими правилами, ніж поза ним.

Висновки. Operational Design Domain — не технічна дрібниця, а базова концепція, яка визначає придатність, безпеку та сертифікаційний шлях автономних суден. Чітко сформульований ODD дає змогу:

- знизити ризики за рахунок прозорих меж автономної дії;
 - встановити зрозумілі процедури передачі керування при виході за межі ODD;
 - прискорити процес сертифікації та інтеграції MASS у змішані морські середовища.
- Рекомендації для практичного застосування ODD:
- розробникам — документувати ODD як частину архітектури системи та передбачати механізми деградації;
 - операторам — впроваджувати моніторинг відповідності реального стану судна до заявленого ODD і регулярні тренування для ситуацій виходу за межі;
 - регуляторам — вимагати стандартизовані формати опису ODD і процедури валідації для узгодження сертифікації.

Запровадження ODD як стандартного компоненту розробки і експлуатації MASS підвищить прогнозованість поведінки автономних суден і стане ключовим кроком до безпечної масштабної інтеграції автономії в світове судноплавство.

ЛІТЕРАТУРА

1. https://www.sae.org/standards/j3016_202104-taxonomy-definitions-terms-related-driving-automation-systems-road-motor-vehicles.
2. https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/PublishingImages/Pages/MASS/07_Wu%20Sun_Proposals%20on%20framework%20of%20MASS%20Code.pdf.

3. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/About/Events/Documents/2024%20IMO-ROK%20MASS%20Symposium%20presentations31.%20Development%20of%20MASS%20Code%20-%20Charles%20McHardy%28MASS%20CG%20Chair%29.pdf>.
4. 20Code%20-%20Charles%20McHardy%28MASS%20CG%20Chair%29.pdf.

УДК 656.61.052.4:004.8(045)

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Оборотов В. Ю., курсант, Гайченя О. В., к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ

У сучасному судноплаванні дедалі більшого значення набувають інтелектуальні системи управління, що базуються на технологіях штучного інтелекту (ШІ). Збільшення інтенсивності морських перевезень, складність маршрутів і зростання вимог до безпеки суден спонукають галузь до автоматизації та цифровізації.

Впровадження ШІ дозволяє забезпечити високий рівень ситуаційної обізнаності, знизити вплив людського фактору, оптимізувати витрати на паливо, підвищити ефективність і безпечність судноплавства.

Основна частина

1. Сутність систем управління судном із застосуванням ШІ

Система управління судном із використанням штучного інтелекту – це комплекс програмно-апаратних засобів, що аналізує навігаційні дані, приймає рішення щодо курсу, швидкості, маневрів та дій екіпажу.

Така система виконує повний цикл: збір даних → аналіз → прийняття рішення → виконання дії.

ШІ дає змогу не лише реагувати на зміни обстановки, а й прогнозувати розвиток подій – наприклад, траєкторії інших суден чи зміни погодних умов.

2. Архітектура інтелектуальної системи управління

Типова архітектура включає кілька рівнів:

- Сенсорний рівень – джерела даних: GPS, RADAR, ECDIS, камери, сонари, AIS.
- Аналітичний рівень – обробка сигналів, об'єднання даних (data fusion).
- Алгоритмічний рівень – моделі машинного навчання, прогнозування, оптимізація траєкторій.
- Рівень управління – прийняття рішень і передача команд на виконавчі механізми.
- Інтерфейс екіпажу – відображення інформації на екранах, система підказок і контролю рішень людини.

Завдяки такій структурі досягається узгоджене функціонування сенсорів і автоматизованих алгоритмів у режимі реального часу.

3. Сенсорне забезпечення та джерела даних

Надійність системи залежить від точності й повноти даних. Основні сенсори:

- Радари – відображають навколишні об'єкти, берегову лінію, інші судна.
- Камери – формують зображення для комп'ютерного зору (object detection).
- Сонар або багатопроменевий ехолот (multibeam sonar) – аналізує рельєф дна.
- AIS (Automatic Identification System) – передає дані про положення, курс, швидкість інших суден.
- Метеодатчики – дають інформацію про вітер, хвилювання, тиск.

Усі ці дані поєднуються системою злиття інформації (data fusion), що формує єдину картину обстановки.

4. Алгоритми та методи штучного інтелекту

У системах управління судном застосовуються:

- Нейронні мережі (CNN, RNN) – для розпізнавання об'єктів на зображеннях і прогнозування траєкторій.
- Model Predictive Control (MPC) – алгоритм оптимізації руху, який враховує обмеження судна, течії та хвилювання.
- Методи навчання з підкріпленням (reinforcement learning) – дозволяють системі вчитись на власному досвіді, вибираючи найкращі дії.
- Алгоритми уникнення зіткнень – аналізують ймовірні траєкторії руху інших суден і розраховують безпечні маневри.

Такі алгоритми використовують потоки даних у реальному часі та здатні швидко реагувати навіть на складні ситуації.

5. Приклади реальних впроваджень

1. Sea Machines Robotics (США) – система «AI-powered Vessel Vision» для моніторингу навколишнього середовища за допомогою відео та радарів.
2. Yara Birkeland (Норвегія) – перше повністю електричне автономне судно, яке виконує рейси без екіпажу.
3. Mayflower Autonomous Ship (IBM) – дослідницький корабель із системою «AI Captain», здатний самостійно планувати маршрут і уникати зіткнень.
4. Orca AI – платформа для допомоги навігаторам, що аналізує відеопотоки й сигналізує про небезпечні ситуації.

Ці приклади демонструють, що автономне або напіваавтономне судноплавство – вже реальність.

6. Переваги використання ШІ у судовому управлінні

- Підвищення безпеки: автоматичне виявлення перешкод і швидка реакція на загрози.
- Зниження людського фактору: система контролює втомленість екіпажу, помилки та неточності.
- Оптимізація витрат: скорочення витрати палива, оптимальні маршрути.
- Екологічна ефективність: зменшення викидів завдяки раціональним швидкісним режимам.
- Підтримка екіпажу: інтелектуальні підказки при складних маневрах або в умовах поганої видимості.

7. Виклики та ризики впровадження

Разом із перевагами виникають і проблеми:

- Надійність алгоритмів – необхідність перевірки рішень перед практичним застосуванням.
- Кібербезпека – ризик злому або підміни даних сенсорів.
- Правові аспекти – хто несе відповідальність у разі аварії за участі автономного судна.
- Погодні та зовнішні фактори – хвилі, течії, магнітні збурення можуть впливати на роботу датчиків.
- Етичні питання – межа автономії, роль людини у прийнятті рішень.

8. Інтеграція в існуючі системи судна

Інтелектуальні системи впроваджуються поступово, сумісно з традиційними:

- ECDIS (електронні карти) – основа для навігації.
- RADAR, AIS, GPS – забезпечують інформацію про навколишнє середовище.
- Автопілот і рулева система – приймають команди від ШІ.
- Системи зв'язку – супутникові або радіоканали для передачі даних у центр управління.

Гібридна інтеграція дозволяє зберегти контроль людини та підвищити точність рішень.

9. Кібербезпека та резервні режими

З огляду на високу залежність від електроніки, кіберзахист є критично важливим. Застосовують шифрування даних, ізоляцію мереж, системи виявлення вторгнень. Крім того, передбачено резервні режими – перехід у ручне управління при збоях або втраті зв'язку.

Людина завжди має можливість втрутитися у роботу системи.

10. Регулювання та стандарти

Міжнародна морська організація (ІМО) розробляє стандарти для Maritime Autonomous Surface Ships (MASS).

Питання сертифікації, відповідальності та страхування автономних суден ще опрацьовуються.

Країни-лідери (Норвегія, Японія, Сінгапур, Південна Корея) вже проводять випробування на спеціальних полігонах і створюють правові рамки.

11. Економічні та екологічні аспекти

Інтелектуальні системи дають змогу:

- скоротити витрати на паливо до 10–20%;
- зменшити витрати на екіпаж у довгостроковій перспективі;
- оптимізувати логістику маршрутів і портових стоянок;
- знизити екологічні викиди CO₂, що відповідає політиці «зеленого» судноплавства.

Усе це підвищує конкурентоспроможність судновласників.

12. Перспективи розвитку

У майбутньому очікується:

- поява повністю автономних суден, здатних здійснювати рейси без екіпажу;
- спільна робота флотилій (взаємодія суден через ІІІ-мережі);
- хмарні системи управління флотом, що дозволяють віддалено контролювати рух і технічний стан;
- розвиток систем штучного прогнозування погодних умов, які автоматично коригуватимуть маршрути.

Висновки

Впровадження систем управління судном із використанням штучного інтелекту – один із ключових напрямів розвитку морського транспорту ХХІ століття.

ІІІ суттєво підвищує ефективність, безпеку та екологічність судноплавства.

Однак важливо забезпечити контроль людини, надійність алгоритмів і кіберзахист.

Поступова інтеграція таких систем, навчання персоналу й міжнародна координація дозволять створити безпечне «розумне море» майбутнього.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sea Machines Robotics – <https://sea-machines.com/>
2. IBM Mayflower Project – <https://newsroom.ibm.com/mayflower-images>
3. Yara Birkeland Project – <https://www.yara.com/knowledge-grows/game-changer-for-the-environment/>
4. IMO: MASS Regulatory Scoping Exercise – <https://www.imo.org>
5. Wired Magazine: Rolls-Royce Autonomous Ships Article (2018).

УДК 656.61.052

АНАЛІЗ ФОРМИ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДАНИХ ПРО МАНЕВРЕНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОГО РОЗРАХУНКУ ШЛЯХОВИХ ТОЧОК ТА ТРАЕКТОРІЙ РУХУ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ МОРСЬКИХ ОПЕРАЦІЙ

Перевертов Д.С., аспірант, керівник Мальцев А.С, д.т.н., професор

Вступ. Сучасний етап розвитку судноплавства характеризується невідомим зростанням вимог до безпеки й ефективності морських перевезень. Разом з цим зростають ризики та збитки від найдрібнішої помилки під час виконання звичайних морських операцій – заходу та виходу з порта, проходження вузькостей, каналів, або зон інтенсивного судноплавства. Критичну важливість має обережне планування рейсового циклу судна з урахуванням усіх можливих навігаційних ризиків.

У таких умовах безпека операції безпосередньо залежить від здатності судноводія точно прогнозувати та контролювати траєкторію судна. Однак судно є складним динамічним об'єктом, поведінка якого визначається не тільки зовнішніми факторами, але і його власними маневреними характеристиками. Для розрахунку траєкторії руху судна під час маневру необхідно розуміти його характеристики поворотності, до яких відносять геометричні параметри кривої циркуляції – видвиг, пряме зміщення, тактичний діаметр тощо.

Найперший крок до здійснення безпечної експлуатації судна, - складання плану навігаційного переходу (або «voyage plan») на електронній чи паперовій карті, звертаючи особливу увагу на будь-які небезпечні ділянки, в які може потрапити судно. Цей план традиційно складається з набору прямолінійних відрізків, з'єднаних між собою в так званих шляхових точках («waypoints»). Грамотний вибір шляхових точок при плануванні рейсового циклу судна є основою безпечної навігації і повинен виконуватись за чітким алгоритмом. [1]

Однак, такий підхід є дещо спрощеним. Судно, маючи значну інерцію, не може миттєво змінити свій курс у шляховій точці. Реальний рух судна під час виконання повороту є не прямолінійною, а складною криволінійною траєкторією. Ігнорування цієї траєкторії та відсутність її точного розрахунку призводить до неконтрольованого відхилення від запланованої лінії шляху, що є неприпустимим у вузькостях або при розходженні з іншими суднами. Таким чином, можемо побачити наявну потребу у високоточному представленні координат шляхових точок судна при плануванні морських операцій, і зображення його фактичної траєкторії руху під час безпосередньої навігації.

Для досягнення необхідної точності, система планування повинна вміти розраховувати та прогнозувати траєкторію руху судна не як набір прямих ліній, а як плавну, реалістичну криву, що враховує інерцію та специфіку поведінки судна. Ця вимога стає неймовірно важливою для розвитку автономного судноплавства (MASS) – за визначенням IMO MSC, судно з автономністю четвертого ступеня буде таким, де система управління повинна самостійно приймати рішення, окрім іншого, про безпечний маневр, базуючись на високоточному прогнозуванні своєї майбутньої позиції.[2]

Постановка задачі. Метою доповіді є аналіз та оцінка існуючих форм представлення даних про маневрені характеристики судна та визначення найбільш ефективної форми, що задовольняє вимогам високоточного розрахунку траєкторії руху, а також має можливості інтеграції у електронні системи навігаційного мосту.

Результати досліджень. Відповідно до Резолюції ІМО А.601(15), маневрена інформація на борту судна може бути надана у вигляді наступних документів[3]:

1. Лоцманська карточка (Pilot Card): призначена для використання лоцманами, заповнюється капітаном, повинна містити інформацію про поточний стан судна, його завантаження та наявні маневрені засоби;
2. Wheelhouse Poster: повинен постійно знаходитись на навігаційному містку, містить загальні відомості та інформацію про маневрені характеристики судна;
3. Manoeuvring Booklet: повинен містити більш детальну маневрену інформацію, включати в себе інформацію з Wheelhouse Poster, та іншу додаткову інформацію, включаючи ту, що отримується шляхом натурних випробувань.

Найбільш поширеним з цих документів є саме Wheelhouse Poster, тому зосередимось на ньому та на інформації про маневрені характеристики, яка представлена на ньому. Зазвичай цей плакат містить наступну інформацію у графічному та табличному вигляді:

- криві циркуляції («turning circles»): графічне зображення траєкторії судна при повній перекладці стерна (зазвичай 35°) ліворуч та праворуч, із зазначенням ключових параметрів: висув, пряме/зворотнє зміщення, тактичний та усталений діаметр циркуляції;
- гальмівні характеристики: дані про шлях та час гальмування судна (вибіг, шлях активного гальмування) при різних початкових швидкостях;
- вплив мілководдя на посадку судна;
- інформація про аварійні маневри.

Основне призначення такої форми — надати навігаторам швидко оцінку інерційних та поворотних властивостей судна. Незважаючи на недоліки для комп'ютерних систем, ця форма представлення має чіткі переваги. По-перше, це візуальна наочність — дані представлені у максимально простому графічному вигляді. По-друге, це стандартизація — судноводій завжди знатиме про наявність подібного плакату на борту судна та про інформацію, яку він може там побачити. По-третє, це енергонезалежність — інформація в такому вигляді буде завжди доступною навіть у випадку повного знеструмлення судна.

Незважаючи на свою корисність, ця форма представлення даних є фундаментально непридатною для вирішення задачі високоточного представлення координат шляхових точок та фактичної траєкторії руху судна у сучасних навігаційних системах.

Це обумовлено трьома ключовими недоліками:

1. Недостатня ступінь дискретизації даних;
2. Відсутність можливості інтеграції з електронними системами;
3. Зображення даних в ідеальних умовах, без урахування зовнішніх впливів.

Найголовніша проблема полягає в тому, що дані на плакаті представлені лише для двох крайніх експлуатаційних станів: "у повному завантаженні" (full load) та "у баласті" (ballast). В реальній експлуатації судно майже завжди знаходиться у проміжному стані, маючи часткове завантаження.

До того ж, "Wheelhouse Poster" — це графічне зображення, призначене для людини, а не комп'ютерів. Сучасна електронно-картографічна система (ECDIS) чи інтегрована навігаційна система не може "зчитати" цей плакат для виконання жодних розрахунків. Система не може звернутися до цього плакату із запитом: "Яким буде мій радіус повороту при осадці 9.2м та перекладці стерна на 15° ?", адже для комп'ютера ці дані не існують у придатній для обробки формі.

Нарешті, варто зазначити, що дані на плакаті зазвичай отримані під час ходових випробувань в ідеальних умовах: на глибокій воді та за відсутності значного вітру чи течії. Стандартний набір тестів для визначення маневрених характеристик регулюється Резолюцією ІМО MSC.137(76), і включає в себе, поміж іншого, випробування «зиг-заг» та аварійної зупинки[4]. Отримані такі чином дані завжди супроводжуються приміткою про те, що вони можуть відрізнятися в реальних умовах експлуатації - ця форма представлення не враховує, наприклад, ефект мілководдя, який кардинально змінює маневрені характеристики судна, зокрема, значно збільшуючи його тактичний діаметр циркуляції та висув, що було встановлено експериментальним шляхом[5].

Якщо ми шукаємо форму, що є задовільною для вирішення цих проблем — пропонується звернути увагу на нову табличну форму представлення даних про маневрені характеристики. Її сутність полягає в тому, щоб відображати дані у вигляді великої кількості багатовимірних таблиць, або «look-up tables» (LUT). Система ECDIS у реальному часі виконує багатовимірну інтерполяцію між цими таблицями з урахуванням актуального стану судна, щоб отримати точні дані про маневрені характеристики на будь-якому етапі експлуатації. Ці таблиці можна зосередити як у вигляді стандартизованого паперового документу, так і у вигляді спеціального файлу даних для електронних систем.

У спрощеному вигляді, файл даних LUT можна представити як набір окремих груп таблиць для кожного параметра циркуляції. Для кожної вузлової осадки існує своя матриця, скажімо, наприклад, "Швидкість – Кут стерна", що повертає значення конкретного параметра. Приклад зобразимо на табл. 1.

Таблиця 1. Приклад таблиці для вузлової точки видвигу(advance) у кбт: осадка 5.0м, баласт

Швидкість \ Кут стерна	10°	15°	20°	25°
4 вузли	3.0	2.5	2.1	1.9
8 вузлів	3.4	2.8	2.4	2.1
12 вузлів	3.8	3.1	2.6	2.3

Ця форма представлення даних вирішує зазначені нами проблеми наступним чином:

1. Інтерполяція: Коли судноводій вводить у ECDIS, наприклад, поточну осадку 7.1м, заплановану швидкість 10 вузлів та обирає для повороту кут стерна 15°, система автоматично:
 - Звертається до відповідних груп таблиць (для "Видвигу", "Такт. діаметру" тощо).
 - Знаходить найближчі вузлові точки по осі осадки (наприклад, Таблиця 3.1 для 5.0м та Таблиця 3.2 для 8.0м).
 - Інтерполіє дані між ними для осадки 7.1м.
 - Одночасно інтерполіє дані по осі швидкості (між рядками "8 вузлів" та "12 вузлів") для 10 вузлів.
 - Звертається до стовпця "15°".
 - В результаті система отримує унікальний, високоточний набір всіх параметрів циркуляції для поточного стану судна та конкретного запланованого маневру.
2. Інтеграція: Оскільки дані представлені у цифровому, табличному вигляді, ECDIS або інші системи можуть миттєво звернутися до них, щоб, знаючи актуальні параметри циркуляції, розрахувати точну криволінійну траєкторію майбутнього повороту та визначити точне положення точки початку маневру (Wheel Over Point) при плануванні маршруту.
3. Адаптивність: Додавши ще один вимір (наприклад, "Глибина/Осадка"), ця модель може автоматично коригувати розрахунки траєкторії при входженні судна на мілководдя з будь-яким співвідношенням глибини до осадки.

Висновки. Проведений аналіз демонструє чіткий розрив між стандартами представлення даних, створених у минулому сторіччі, і сучасною необхідністю у високій точності, ефективності, та швидкості розрахунків для великої кількості ситуацій, які можуть виникнути під час виконання морських операцій. Традиційна форма відображення маневрених даних судна у вигляді Wheelhouse Poster виконує важливу функцію візуального довідника, проте є фундаментально непридатною для вирішення задач, що потребують більшої точності даних в різноманітних експлуатаційних умовах.

Відмінним доповненням або заміною традиційної форми може стати динамічна параметрична модель, представлена у вигляді багатовимірних таблиць LUT, яка може бути інтегрована з сучасними навігаційними системами та використана для точного розрахунку поточних маневрених характеристик судна, його прогнозованої криволінійної траєкторії руху та дійсних координат шляхових точок під час планування навігаційного переходу.

Незважаючи на те, що цифрова форма є оптимальною для інтеграції в ECDIS та автоматизованих розрахунків, повна відмова від фізичних носіїв інформації створює непотрібні ризики при аварійних ситуаціях, що пов'язані з повним знеструмленням судна або тотальним збоєм в роботі інтегрованих навігаційних систем. Таким чином, виникає також необхідність у створенні нового, стандартизованого паперового документу (під назвою схожою на «Maneuvering Booklet»), який би слугував надійним резервним джерелом. Цей документ повинен містити інформацію, ідентичну до тої, що використовується в електронних

системах, зберігатися на навігаційному містку та бути доповненням або, можливо, заміною традиційної графічної форми.

Такий підхід поєднує високоточне цифрове моделювання із принципами гарної морської практики, а також відкриває значні перспективи для подальшого розвитку морської галузі у напрямку автоматизованого судноплавства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шумілова К., Шумілов Д. Технологічні ризики при маневруванні морського судна в рейсовому циклі. Monograph. – Primedia eLaunch, Boston, USA, 2024. – 203 p.
2. MSC 100/20/Add.1 Annex 2 - Framework For The Regulatory Scoping Exercise For The Use Of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). https://maiif.org/wp-content/uploads/2019/06/MS-100_20-Annex-20-1.pdf
3. IMO Resolution A.601(15) - Provision And Display Of Manoeuvring Information On Board Of Ships
4. IMO Resolution MSC.137(76) – Standards For Ship Manoeuvrability
5. Okuda, R., Yasukawa, H., Sano, M. *et al.* Study of shallow-water effects on ship maneuverability using free-running model tests. *J Mar Sci Technol* **30**, 268–294 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00773-024-01047-7>
6. Wang, Qingwu & Zhong, Ming & Shi, Guoyou & Zhao, Jian & Chunjiang, Bai. (2021). Route Planning and Tracking for Ships Based on the ECDIS Platform. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3078899

УДК 629.5.072:621.3.049.76

MEMS-ТЕХНОЛОГІЇ В ІНЕРЦІАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСАХ БЕЗПІЛОТНИХ МОРСЬКИХ СУДЕН

Прибила О. О., курсант гр.1405, Гаврилюк Т. К., наук. співробітник, Інститут ВМС,
Онищенко О. А., д.т.н., професор

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Вступ. Морські безпілотні судна (надводні апарати, *Unmanned Surface Vehicles - USV*) займають все більш значну частку у сучасних системах спостереження, навігації, охорони кордонів, океанографічних досліджень, вантажної логістики та інших застосувань. Їхньою головною характеристикою є високий рівень автономності, що вимагає безперервної та стійкої навігації навіть у складних умовах: шторм, сильні коливання і вібрації від дії хвиль і впливу двигунів, вітру, порушення стійкості сигналу GNSS і інших систем зв'язку, радіоелектронні перешкоди, відсутність зв'язку з оператором тощо.

Сучасні інерціальні навігаційні системи (*INS*) на базі мікроелектромеханічних сенсорів (*MEMS*-сенсорів) є **актуальне** рішення для багатьох *USV* [1-3, 8, 9, 12-14] і стають основою компактних, енергетично-економічних і недорогих навігаційних модулів, які легко інтегруються в *USV*. Проте їх точність обмежена завадами (шумами), температурними дрейфами та нестабільністю нульової лінії вимірювання [1-4].

Основна частина. *MEMS*-сенсори - це сформовані на кремнієвих підкладках з використанням технологій мікроелектроніки мікроелектромеханічні структури (масиви пружних елементів, тонких балок або вібраційних контурів). Навігаційні *MEMS* включають у себе акселерометри (для вимірювання прискорення) і гіроскопи (для вимірювання кутової швидкості). Додатковими сенсорними елементами є магнітометри, датчики тиску та висоти. Існує клас більш складних комбінованих (гібридних) *IMU* (*Inertial Measurement Unit*). Але для ефективного функціонування *USV* за призначенням, критично важливими для *INS* є маса,

енергоспоживання, стійкість до вібрацій та температури, можливість тривалої роботи без періодичної перекалібровки *MEMS* [4-8].

Типовий *MEMS*-акселерометр складається з елемента масою m , підвішеного на пружних підвісах з жорсткістю k та з демпфуванням c (див. рис. 1).

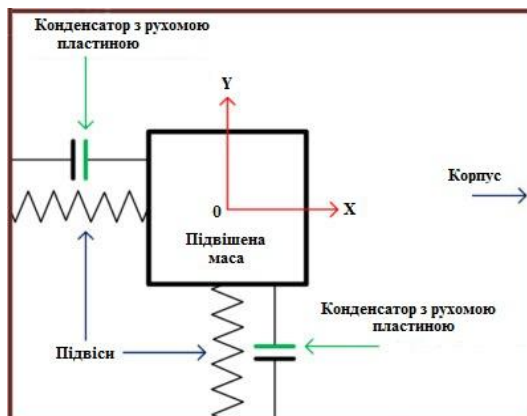


Рисунок 1. Спрощена конструкція *MEMS*-акселерометра

Відомо, що зсув маси, згідно закону Гука, пропорційний прискоренню. При малих зміщеннях маси m існує лінійна залежність між зміщенням маси (мм) і напругою (В) на виході електричної мостової схеми з двох конденсаторів з рухомими обкладинками (пластинами). Загалом, механічна модель акселерометра підпорядкована законам примусових коливань. Рівняння руху підвішеної маси за координатою наступне:

$$m \cdot d^2x/dt^2 + c \cdot dx/dt + k \cdot x = m \cdot a(t),$$

де: x - зміщення підвішеної маси; $a(t)$ - зовнішнє прискорення, яке необхідно виміряти.

Найчастіше приймають, що при відносно малих частотах коливань $x \approx (m/k) \cdot a(t)$.

Для визначення напруги, пропорційної зміщенню, використовується ефект зміни ємності C між рухомою і нерухомою електродними пластинами конденсаторів:

$$C = \varepsilon \cdot A / d,$$

де: ε - діелектрична проникність, A - площа електродів, d - відстань між пластинами.

Загалом, можна навести такий алгоритм роботи сенсора: зміна $d \rightarrow \Delta C \rightarrow$ аналоговий сигнал $\rightarrow$ цифровий вихід сенсора [5-10].

Гіроскоп у системі *MEMS* вимірює кутову швидкість на основі сили Коріоліса:

$$F_C = 2 \cdot m \cdot (v \times \Omega),$$

де: m - маса, v - швидкість її вібрації, Ω - вектор кутової швидкості.

Вібруюча маса має "drive"-осциляцію. Якщо на неї впливає обертання платформи (корпусу), виникає ортогональна "sense"-осциляція, яка є корисним сигналом.

Камертонні гіроскопи є однією з найпопулярніших конструкцій *MEMS*-гіроскопів. Ці конструкції мають однакові маси, що рухаються з однаковою амплітудою, але в протилежних напрямках. Коли обертальний рух відбувається перпендикулярно до осі керування, цей рух створює силу Коріоліса, яка змщує рушійний рух до осі зондування. Механізм керування та зондування, що використовує електростатичне приведення та ємнісне зондування відповідно, забезпечує підвищений рівень чутливості у порівнянні з іншими конструкціями гіроскопів [12-19]. Схематичне зображення роботи *MEMS*-камертонного гіроскопу показано на рисунку 2.

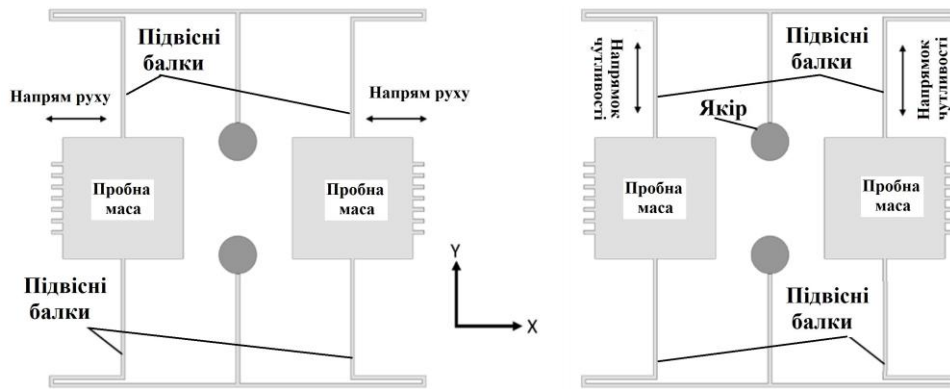


Рисунок 2. Принцип дії базового камертонного гіроскопу MEMS

Пробна маса є центральним компонентом усіх інерціальних датчиків (у тому числі таких, як MEMS-гіроскопи та акселерометри). Принцип роботи гіроскопу ґрунтується на ефекті Коріоліса [1-3, 6-9].

Декілька пробних мас всередині гіроскопу постійно коливаються в одній площині на певній частоті, які рухаються у електростатичному зв'язку. Коли гіроскоп обертається, на пробні маси, що коливаються, діє сила Коріоліса. Ця сила змушує маси відхилятися в перпендикулярному напрямку відносно основного руху. Електростатичні датчики, розташовані з боків, вимірюють це перпендикулярне відхилення. Величина відхилення прямо пропорційна кутовій швидкості обертання гіроскопа. На основі цього вимірювання вбудована електроніка гіроскопу розраховує кутову швидкість обертання і видає електричний сигнал.

Основними шумовими та дрейфовими характеристиками MEMS є: *Bias instability* (дрейф нульового сигналу), *Angle Random Walk (ARW)*, випадкові зміни кута через шум гіроскопа), *Velocity Random Walk (VRW)*, випадкові помилки прискорення). Зниженню впливу цих завад приділяється окрема увага дослідників [8-12].

Наприклад, якщо акселерометр має постійне зміщення b_a , то помилка положення Δp зростає квадратично ($\Delta p(t) = (0,5 \cdot b_a \cdot t^2)$), тобто, навіть невеликий дрейф з часом призводить до значних помилок визначення координат, особливо, якщо без корекції за допомогою GNSS. Тому обов'язковим є застосування ZUPT-калібрування (*Zero Velocity Update* - процес використання нульової швидкості для точного калібрування інерціальних датчиків). Інтегровані навігаційні системи INS на MEMS-сенсорах не є самодостатніми системами. Для тривалої автономної роботи USV застосовується інтегроване позиціонування, де INS доповнюється (апаратно і програмно):

- GNSS (позиція та швидкість);
- DVL (доплерівський вимірювач швидкості відносно води або дна);
- магнітометр, радіолокаційні та оптичні датчики.

Для обробки сигналів цих сенсорів застосовують спеціальні фільтри Калмана, що є окремим дослідницьким завданням.

При порівнянні траєкторій руху одного з типів малих USV у режимах: а) INS без корекції; б) INS + GNSS; в) INS + GNSS + DVL, експериментально встановлено, що:

- INS без корекції втрачає точність до декількох сотень метрів вже за 15–30 хвилин руху судна, яке рухається зі швидкістю близько 20 км/г;
- INS + GNSS тримає похибку обчислення координат (за той же час і з такою ж швидкістю судна) меншу, ніж 2–5 м;
- INS + GNSS + DVL забезпечує стабільність визначення координат меншу 1 м, навіть при помірному хвилюванні.

З досвіду експлуатації експериментальних зразків MEMS, встановлених на малих USV, можна сформулювати наступні інженерні рекомендації.

1. Обов'язковою є температурна компенсація елементів *MEMS* з механічною ізоляцією модулів *IMU* від корпусних вібрацій.
2. Необхідне регулярне *ZUPT*-калібрування під час стоянки судна та на низьких швидкостях руху судна.
3. Для тривалих автономних рейсів *USV* обов'язковим є застосування попередньої та періодичної автоматичної корекції.

Висновки

1. Розглянуто застосування мікроелектромеханічних систем (*MEMS*), які зараз починають активно використовуватися у навігаційних системах морських безпілотних надводних апаратів. Показано, що у сучасній літературі основна увага приділена удосконаленню конструкцій *MEMS*-акселерометрів та *MEMS*-гіроскопів, програмній компенсації їх шумових характеристик та впливу похибок на якість процесів навігації, а також методам фільтрації та інтеграції із супутниковими (*GNSS*) і допоміжними навігаційними засобами. Показано, що велика увага науковців приділена побудові нових архітектур інтегрованих *INS/GNSS* систем, аргументованому створенню рекомендацій щодо вибору класу і типу *MEMS* для різних задач автономного морського судноплавства і спеціальних операцій.

2. Доведено, що *MEMS* є основним елементом сучасних навігаційних систем морських безпілотних надводних апаратів завдяки компактності, енергоефективності та низькій вартості. Основними обмеженнями їх точності є не тільки шуми і температурні дрейфи, а і та нестабільність нульової лінії. Інтеграція *MEMS* з *GNSS* і *DVL* у рамках розширеного фільтра Калмана дозволяє забезпечити високу точність автономного позиціонування навіть при частковій втраті супутникового сигналу або іншого каналу зв'язку. Підвищення якості вимірювань за допомогою *MEMS* у поєднанні з алгоритмами машинного навчання для компенсації дрейфів є одним із перспективних напрямів подальшого розвитку автономної навігації морських платформ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Titterton, D., Weston, J. Strapdown Inertial Navigation Technology. 2nd Edition. The Institution of Engineering and Technology, 2004. ISBN: 978-0863413582.
2. Farrell, J. Aided Navigation: GPS with High Rate Sensors. McGraw-Hill, 2008. ISBN: 978-0071493291.
3. El-Sheimy, N., Hou, H., Niu, X. "Analysis and Modeling of Inertial Sensors Using Allan Variance." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(1): 140–149. DOI: 10.1109/TIM.2007.908635.
4. Woodman, O. "An introduction to inertial navigation." Technical Report UCAM-CL-TR-696, University of Cambridge, 2007.
5. Salychev, O. S. Inertial Systems in Navigation and Control, 2004. ISBN: 978-5931790327.
6. Grewal, M., Andrews, A. Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB. 4th Ed. Wiley-IEEE, 2014. DOI: 10.1002/9781118984964.
7. IEEE Std 1559-2009. Standard for Inertial Sensor Terminology. IEEE Standards Association, 2009.
8. IMO MSC.1/Circ.1580 (2020). Guidance on Maritime Autonomous Surface Ship Trials. Видання "Міжнародна морська організація".
9. Randle, E., Phillips, A. "Integrated Navigation System Design for Unmanned Surface Vessels." Journal of Navigation, 2020. DOI: 10.1017/S037346331900062X.
10. Yazdi, N., Ayazi, F., Najafi, K. "Micromachined Inertial Sensors." Proceedings of the IEEE, 1998, 86(8): 1640–1659. DOI: 10.1109/5.704269.
11. Trusov, A., Shkel, A. "Micromachined Tuning Fork and Wineglass Inertial Sensors." Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-48933-9_75.12. Naval Surface Warfare Center (NSWC). Unmanned Surface Vehicles Navigation and Control Systems Handbook, 2021.

12. Lorusso, M., & Pirozzi, E. A GNSS/INS Sensor Fusion Approach for USV Global Position Estimation. *MDPI Applied Sciences*. 2023. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/8/4213>.
13. SBG Systems. Новий IMU на основі MEMS, здатний визначати напрямок незалежно від GNSS. *Systemnet*. Режим доступу: <https://systemnet.com.ua/novini/novyiy-imu-na-osnovi-mems-zdatnyy-vyznachaty-napriamoknezalezchno-vid-gnss/>.
14. Глобальний ринок безпілотних поверхневих транспортних засобів (USV). *Emergen Research*. Режим доступу: <https://www.emergenresearch.com/ru/industry-report/unmanned-surface-vehicle-market>.
15. ADIS16480 iSensor®: Complete Inertial System (Data Sheet). *Analog Devices, Inc.* Режим доступу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adis16480.pdf>.
16. Choosing an IMU: FOG vs MEMS IMUs. *Canal Geomatics*. Режим доступу: <https://canalgeomatics.com/knowledgebase/choosing-imu-fog-vs-mems-imus/>.
17. The Difference Between MEMS and FOG IMUs. *Geospatial World*. Режим доступу: <https://geospatialworld.net/prime/special-features/difference-between-mems-fog-imus/>.
18. 10-осьові MEMS IMU: Пояснення переваг, компонентів та варіанти використання. *GuideNav*. Режим доступу: <https://guidenav.com/mems-imu/>.
19. Han, M., Kim, H., & Lee, W. Reduction of Pyro-shock for MEMS Inertial Measurement Unit. *MDPI Sensors*. 2022. Режим доступу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35808532/>.

УДК 656.052.1+629.7.05

КВАНТОВА НАВІГАЦІЯ: ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОАТОМНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ ТА NV- ЦЕНТРІВ, СТРАТЕГІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ АВТОНОМНОСТІ

Прибила О. О., курсант, Мазур О. М., к. т. н., доцент, Онищенко О. А., д.т.н.,
професор

Національний університет “Одеська морська академія”, Україна

Вступ. Квантова навігація (КН) є одним із найбільш стратегічних та перспективних напрямів сучасної науки і техніки, що базується на використанні квантових явищ для забезпечення високоточної просторової орієнтації та визначення координат у середовищах, де традиційні системи, такі як GNSS (Global Navigation Satellite System), втрачають ефективність [2]. Основою цих технологій є використання фундаментальних властивостей частинок — суперпозиції, запутаності та хвильових характеристик атомів і фотонів.

На відміну від класичних навігаційних систем, що залежать від зовнішніх сигналів і є вразливими до навмисних перешкод (спуфінгу, глушіння) та кібератак, КН забезпечує повну автономність і неперервність навігаційних процесів [1]. Вона не потребує супутникового зв'язку, що робить її критично важливою для оборони, морських та авіаційних операцій, а також для захисту критичної інфраструктури.

Відтак, розвиток квантових сенсорів, що дозволяють проводити вимірювання з рекордною точністю, відкриває нову еру у сфері навігації, авіації, космічних досліджень та оборони [3, 4].

1. Теоретичні основи квантової навігації. В основі квантової навігації лежить квантова механіка, що описує поведінку мікрочастинок (електронів, атомів, фотонів) через феномени суперпозиції та запутаності. Саме ці властивості дозволяють створювати сенсори, які здатні визначати прискорення, обертання, гравітаційне або магнітне поле з надзвичайною точністю [2]. Ключовими прикладами є квантові

акселерометри, гіроскопи, гравіметри та магнітometri, які функціонують без необхідності зовнішніх сигналів на відміну від супутникових систем [4].

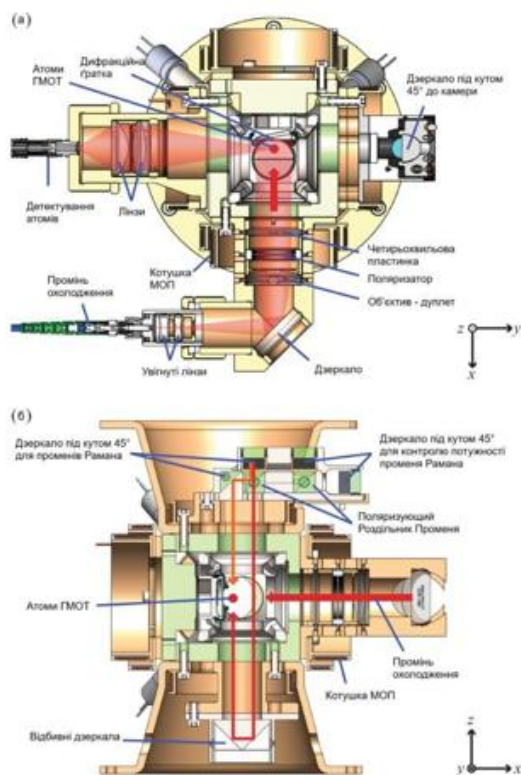


Рисунок 1. Принцип роботи квантового інтерферометра для визначення прискорення.

У таких сенсорах стан квантової системи змінюється під впливом зовнішніх полів або руху, а вимірювання інтерференційного зсуву фази дозволяє отримати інформацію про переміщення з точністю, що суттєво перевищує класичні межі. Цей цементуючий принцип відкриває шлях до створення концепції “абсолютної навігації”, коли координати обчислюються виключно з внутрішніх даних сенсорів.

2. Сучасні технології квантових сенсорів. Серед провідних технологічних напрямків квантової навігації слід виділити холодноатомну інтерферометрію, що використовує надохолоджені атомні хмари або конденсати Бозе-Ейнштейна (БЕ) для вимірювання прискорення та обертання [4]. Такі системи формують основу квантових інерціальних вимірювальних блоків (ІМВ).

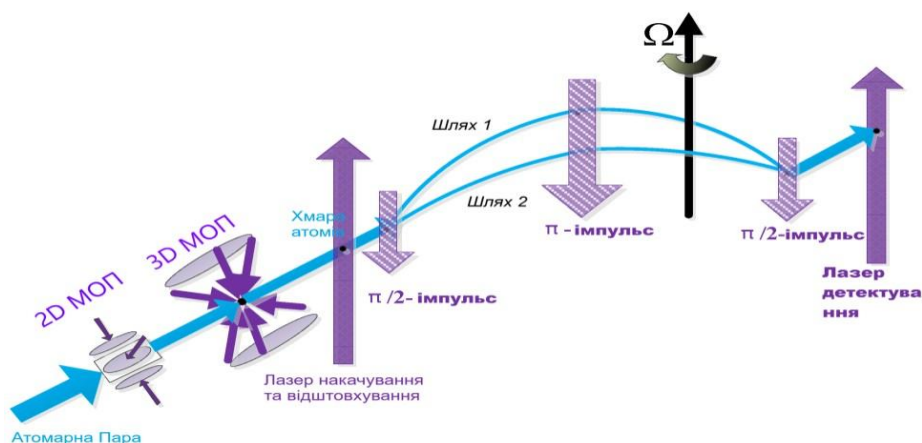


Рисунок 2. Холодноатомна інтерференція з використанням конденсату Бозе-Ейнштейна.

Наприклад, провідні дослідницькі центри, як-от MIT, Imperial College London та NIST, вже продемонстрували роботу компактних холодноатомних гіроскопів, здатних вимірювати обертання Землі у реальному часі. Важливо, що у 2024–2025 роках були проведені перші успішні польові тести на морських платформах, що показали стабільність роботи навіть у нестабільних умовах руху [2, 3].

Альтернативним, але не менш важливим, напрямом є використання центрів азотної вакансії (NV-центрів) у кристалах алмазу, які дозволяють проводити високоточні вимірювання магнітного поля навіть за кімнатної температури [1].

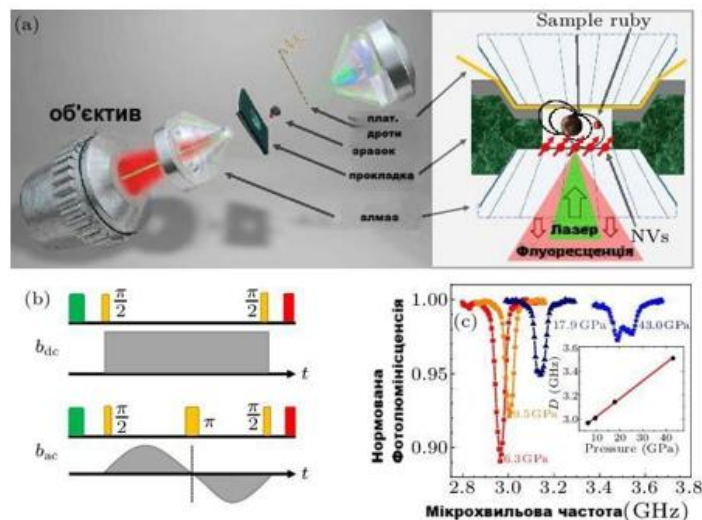


Рисунок 3. Структура NV-центру в алмазі для квантового вимірювання магнітного поля

Такі датчики особливо перспективні для створення мініатюрних приладів, які можна інтегрувати у навігаційні модулі безпілотників, автономних транспортних систем чи підводних дронів [3].

Оптично накачувані магнітometri та надпровідні кубіти також демонструють потенціал для застосування у високоточних навігаційних системах [1]. Слід підкреслити, що паралельний розвиток технологій квантової комунікації дозволяє створювати криптографічно захищені канали синхронізації таких сенсорів, формуючи єдину квантову навігаційно-комунікаційну мережу [2].

3. Прикладні аспекти та військові застосування. Однією з фундаментальних переваг Квантової Навігації (КН) є можливість роботи у середовищах, де GNSS недоступний — під землею, під водою або у зонах із заглушенням сигналу. Згідно з дослідженнями Лабораторії ім. Лоуренса в Ліверморі (LLNL), вказані системи є критично важливими для оборонної галузі, зокрема у сфері навігації підводних човнів, безпілотних літальних апаратів та автономних систем [1].

Оборонні агентства США, Великої Британії та Японії вже фінансують програми з інтеграції квантових навігаційних модулів у бортові системи стратегічних носіїв. Окремої уваги заслуговують прототипи “безшумної навігації” (silent navigation), які дозволяють рухатись без будь-якого випромінювання радіохвиль, повністю зберігаючи прихованість об’єкта [2].

Зокрема, компанії Boeing та Phasor Quantum вже провели успішні випробування гібридних квантово-класичних систем, які поєднують інерціальні сенсори та квантові магнітometri, що забезпечують високу стійкість і точність навіть за відсутності супутникових сигналів [3].

Крім військових застосувань, КН розглядається як основа для наступного покоління цивільних авіаційних систем, автоматизованого судноплавства та геодезії

високої точності. Наприклад, квантові гравіметри можуть забезпечити більш точне картографування морського дна та пошук корисних копалин [4].

4. Перспективи розвитку та виклики. Незважаючи на значні успіхи, квантова навігація стикається з низкою технологічних викликів. Серед них — підвищена чутливість до зовнішніх факторів (температури, тиску, магнітних полів), складність мініатюризації та висока вартість технологій [1, 2].

Ключовою проблемою залишається питання масштабування: більшість лабораторних зразків досі потребують вакуумних камер, систем охолодження та лазерного контролю, що ускладнює їх використання у мобільних умовах [4].

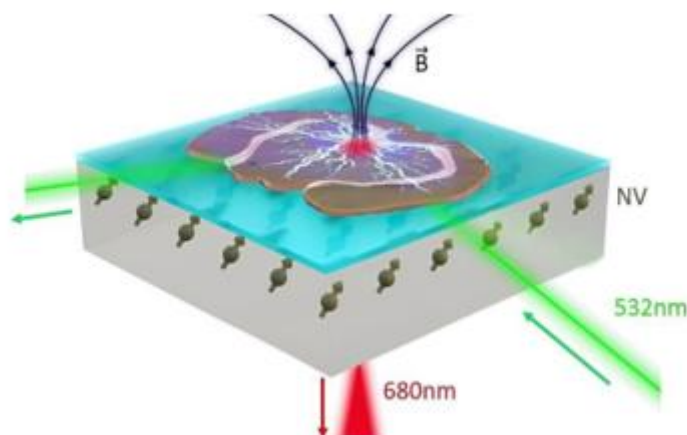


Рисунок 4. Лабораторний прототип квантового сенсора нового покоління.

Проте прогрес у галузі фотоніки, надпровідних матеріалів та кремнієвих квантових чипів дає змогу обережно прогнозувати появу переносних (портативних) рішень протягом наступного десятиліття [3]

Активні дослідження у галузі стабілізації квантових станів і створення портативних систем дозволяють очікувати появу компактних, енергоефективних і комерційно доступних квантових навігаційних пристроїв.

Ймовірно, у майбутньому квантова навігація буде поєднана з технологіями штучного інтелекту, що зможуть прогнозувати та компенсувати відхилення вимірювань у реальному часі. Це забезпечить точність позиціонування до сантиметрового рівня навіть у повній відсутності зовнішніх орієнтирів.

Висновок. Квантова навігація є стратегічно важливим напрямом розвитку сучасних технологій, що здатен радикально змінити підходи до визначення координат і орієнтації у просторі. Поєднання теоретичних досягнень квантової фізики, новітніх сенсорних систем і штучного інтелекту відкриває перспективу створення автономних платформ нового покоління.

Таким чином, її впровадження стане вирішальним фактором технологічної незалежності держав, а також безпеки транспортної, енергетичної та оборонної інфраструктури. У довгостроковій перспективі квантова навігація може стати так само поширеною, як сьогодні GPS, але з набагато вищим рівнем автономності, точності та надійності.

Подальше зниження вартості, мініатюризація та підвищення стійкості квантових сенсорів стануть визначальними чинниками їхнього широкого впровадження в навігаційні системи майбутнього [1, 4].

ЛІТЕРАТУРА

1. Burkey, M. T. (2025). How Quantum Sensing Will Help Solve GPS Denial in Warfare.

Lawrence Livermore National Laboratory.

2. Kealy, A., & Greentree, A. (2025). A Quantum Leap for Navigation. Royal Institute of Navigation Journal, 17-20.
3. Nguyen, P., & Zhao, L. (2024). Hybrid Quantum-Classical Navigation Networks. Nature Quantum Technologies, 3(2).
4. Smith, J., Brown, L., & Müller, H. (2025). Developments for Quantum Inertial Navigation Systems Employing Bose- Einstein Condensates. Applied Physics Reviews, 12(4).

УДК 656.61.052

СУЧАСНІ МЕТОДИ АСТРОНОМІЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ СУДНА

О. О. Райнов, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ

Астрономічна навігація протягом багатьох століть була основним засобом орієнтування суден у відкритому морі. Вона стала логічним етапом розвитку навігаційних методів, що базуються на спостереженнях небесних тіл і застосуванні фундаментальних астрономічних та математичних закономірностей. Саме використання секстанта, хронометра та морських альманахів забезпечило можливість далеких океанських плавань за відсутності берегових орієнтирів.

Незважаючи на широке впровадження глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), астрономічна навігація й надалі зберігає статус обов'язкової складової професійної підготовки судноводіїв відповідно до вимог Конвенції ПДНВ (STCW). Водночас практичне застосування астрономічних методів на сучасних судах є обмеженим, що породжує дискусії щодо їхньої актуальності, обсягу викладання та ролі в майбутньому морської галузі.

Актуальність досліджень. Огляд наукових джерел засвідчує, що значна частина публікацій зосереджена на аналізі окремих методів астрономічного визначення місцеположення, у тому числі з використанням сучасних технічних засобів, таких як електронні картографічні навігаційні інформаційні системи (ECDIS), цифрові секстанти та інші інноваційні рішення. Разом із тим комплексних досліджень, спрямованих на оцінювання поточного стану та перспектив розвитку астрономічної навігації в морській галузі — як з позицій формування професійних компетентностей судноводіїв, так і в контексті системи морської освіти загалом — залишається недостатньо.

З метою формування системного бачення зазначеної проблематики у даній роботі здійснено аналіз чинних нормативних документів ІМО та Конвенції ПДНВ, узагальнено результати наукових досліджень, а також розглянуто найбільш поширені сучасні методи астрономічного визначення місцеположення судна.

Постановка задачі. Метою даної статті є аналіз сучасних методів астрономічного визначення місцеположення судна, оцінка нормативних вимог до підготовки судноводіїв, а також визначення перспектив розвитку астрономічної навігації в умовах цифровізації та автоматизації судноплавства.

Результати досліджень

Нормативні вимоги та освітній контекст

Міжнародна морська організація через Конвенцію ПДНВ регламентує мінімальні вимоги до знань і навичок палубних офіцерів. Зокрема, у таблицях А-II/1 та А-II/2 Кодексу ПДНВ передбачено обов'язок судноводія вміти визначати місцеположення судна шляхом астрономічних спостережень із досягненням прийнятної точності. Однак варто зазначити, що,

хоча Конвенція ПДНВ вимагає від палубних офіцерів підтвердження професійної компетентності з астрономічної навігації, згідно з главою V Конвенції SOLAS, правило 19, на судах не передбачено обов'язкову наявність секстанта.

Типовий курс астрономічної навігації охоплює морську астрономію, роботу із секстантом, урахування інструментальних похибок, редукцію спостережень, побудову ліній положення, визначення широти та довготи, а також корекцію компаса за небесними тілами. Детальніший опис змісту навчання наведено в методичних документах ІМО, зокрема в модельних курсах 7.01 та 7.03. Разом із тим на практиці виникає певна невідповідність між обсягом знань, які курсанти здобувають під час навчання, та реальним використанням цих навичок у професійній діяльності.

У межах перегляду вимог STCW окремі держави-члени ІМО пропонували скоротити або спростити курс астрономічної навігації, залишивши її переважно як резервний метод для океанського плавання. Манільські поправки до STCW зберегли вимогу володіння астрономічною навігацією, що підтверджує її значення для забезпечення безпеки судноплавства. Однак хочеться зазначити, що згідно робочого документу (НТВ 11/ВР.4) 11-ї сесії Підкомітету з питань людського фактору, підготовки та несення вахти (НТВ) Міжнародної морської організації (ІМО), який є звітом Робочої групи, якій було доручено провести комплексний огляд Конвенції та Кодексу ПДНВ, з таблиць Кодексу ПДНВ А-II/1-3 та В-II/1 посилання на небесну навігацію, перевірку помилок компаса за допомогою небесних тіл та використання секстантів слід видалити. Робоча група засідала з 10 по 13 лютого 2025 року під головуванням капітана Кетлін Бернс Мауро (Сполучені Штати). До речі Україна в цій Робочій групі теж була представлена.

США та Великобританія вже давно підтримують обмежене скорочення вимог до астрономічної навігації за умови збереження її як резервного навігаційного засобу та інструмента для визначення поправок компаса. Спроби повністю замінити астрономічну навігацію комп'ютеризованими методами, зокрема у США, не були реалізовані. Британські рекомендації передбачають збереження базових практичних навичок роботи із секстантом, модернізацію застарілих тем із використанням програмного забезпечення та вилучення окремих неактуальних елементів курсу.

Дослідження з морської освіти свідчать, що студенти сприймають традиційну астрономічну навігацію як складну через термінологію та математичні розрахунки, що зумовлює пошук нових візуалізованих і цифрових методів навчання. Водночас, попри окремі спроби модернізації освітнього процесу, загальне сприйняття астрономічної навігації як складної або застарілої дисципліни істотно не змінилося, а її практичне застосування випускниками на сучасних судах залишається досить обмеженим.

Сучасні методи астрономічного визначення місцеположення

Сучасний етап розвитку астрономічної навігації характеризується поєднанням класичних теоретичних основ із цифровими технологіями, автоматизацією та інтеграцією з електронними навігаційними системами. На відміну від історичних методів, які повністю ґрунтувалися на ручних вимірюваннях і розрахунках, сучасні підходи орієнтовані на підвищення точності, зменшення трудомісткості та адаптацію до реальних умов експлуатації судна.

Класичні астрономічні методи

До класичних методів астрономічного визначення місцеположення належать методи, що базуються на спостереженні висот і азимутів небесних тіл із використанням секстанта, хронометра та морських альманахів. Найбільш поширеним серед них є метод перехоплення (метод Марка Сент-Ілера). Цей метод докладно описано в численних навігаційних посібниках і підручниках [1,2,3]. Його сутність полягає у визначенні різниці між обчисленою та виміряною висотою небесного тіла, що дозволяє побудувати лінію положення судна. Перетин двох або більше таких ліній дає навігаційну точку.

До інших класичних методів належать лінія положення Сомнера, прямі методи визначення координат [4,5], позамередіанні методи [6], а також методи визначення широти та

довготи за окремими світилами. Перевагою класичних підходів є їхня повна автономність і незалежність від електронних засобів. Недоліками залишаються значна трудомісткість, вимоги до високої кваліфікації судноводія та залежність від метеорологічних умов і видимості горизонту.

Комп'ютеризовані методи астрономічної навігації

Комп'ютеризовані методи є логічним розвитком класичних підходів і передбачають використання програмного забезпечення для планування спостережень, редукції вимірювань і побудови ліній положення. У цьому випадку вимірювання висот небесних тіл зазвичай виконуються традиційним секстантом, однак обчислювальні операції автоматизуються.

Застосування спеціалізованих програм істотно скорочує час визначення місцеположення та зменшує ймовірність арифметичних і графічних помилок. Крім того, такі методи полегшують навчальний процес і роблять астрономічну навігацію більш доступною для практичного використання. Водночас вони частково залежать від електронних пристроїв і джерел живлення, що знижує рівень автономності порівняно з повністю ручними методами.

В роботі [7] автор вперше застосував генетичний алгоритм для оптимізації розрахунків у задачах визначення місцеположення. Цей метод імітує біологічну еволюцію, що дозволяє уникати локальних мінімумів і підвищує точність розв'язку. Подальші дослідження, наприклад в роботах [8,9], показали ефективність комбінованих алгоритмів, які об'єднують геометричні та чисельні методи.

Окремі методи базуються виключно на точному вимірюванні азимутів небесних тіл і не потребують використання секстанта. Один із таких підходів ґрунтується на визначенні двох точок, близьких до обчисленого місцеположення судна, які лежать на ізоазимутальній кривій — кривій однакових азимутів небесного тіла відносно великого кола [6]. Проте основною проблемою азимутальних методів є складність точного вимірювання азимутів стандартними оптичними приладами [9]. Аналогічні обмеження властиві методам, що поєднують вимірювання вертикального кута одного небесного тіла з визначенням його азимуту. Хоча такі методи добре відомі в теорії, на практиці вони застосовуються вкрай рідко [10,11]. Усі ці методи не автономні, оскільки вимагають відповідного устаткування і програмного забезпечення. До того ж вони не дозволяють зменшити вплив випадкових погрішностей, обумовлених географічними координатами місця судна і положенням полюса освітленості світила на поверхні Землі, а також виключити вплив систематичних погрішностей виміру параметрів світил.

Інтеграція астрономічної навігації з ECDIS

Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку є інтеграція астрономічних методів із електронними картографічними навігаційними інформаційними системами (ECDIS). Сучасні ECDIS, хоча й не мають повноцінних модулів астрономічної навігації, дозволяють будувати лінії та кола положення, виконувати графічне перенесення спостережень і візуалізувати результати розрахунків.

Інтеграція з ECDIS забезпечує наочність, підвищує ситуаційну обізнаність судноводія та створює умови для подальшої автоматизації астрономічного визначення місцеположення. Порівняно з традиційними паперовими картами, ECDIS значно спрощує побудову навігаційних елементів і дозволяє поєднувати астрономічні дані з іншими джерелами навігаційної інформації. Найбільш бажаним сучасним рішенням вважається модернізація ECDIS шляхом інтеграції з програмним забезпеченням для астрономічних навігаційних розрахунків.

Цифрові секстанти та мобільні пристрої

Подальший розвиток астрономічної навігації пов'язаний із використанням цифрових секстантів, приладів зі штучним горизонтом та мобільних пристроїв, оснащених високоточними датчиками орієнтації. Ці засоби дозволяють автоматично вимірювати кути між небесними тілами та горизонтом, фіксувати час спостережень і передавати дані до програмного забезпечення для обробки.

Перевагою таких рішень є спрощення процесу спостережень і зменшення вимог до практичних навичок користувача. Недоліком залишається залежність від електроживлення та надійності електронних компонентів, що обмежує їх використання як єдиного резервного засобу навігації.

Сьогодні будь-який користувач може завантажити собі з GooglePlay додаток CamSextant або подібний до нього та використати свій смартфон для вимірювання просторової орієнтації небесних тіл, тобто частково замінити традиційні навігаційні прилади, зокрема секстант [12].

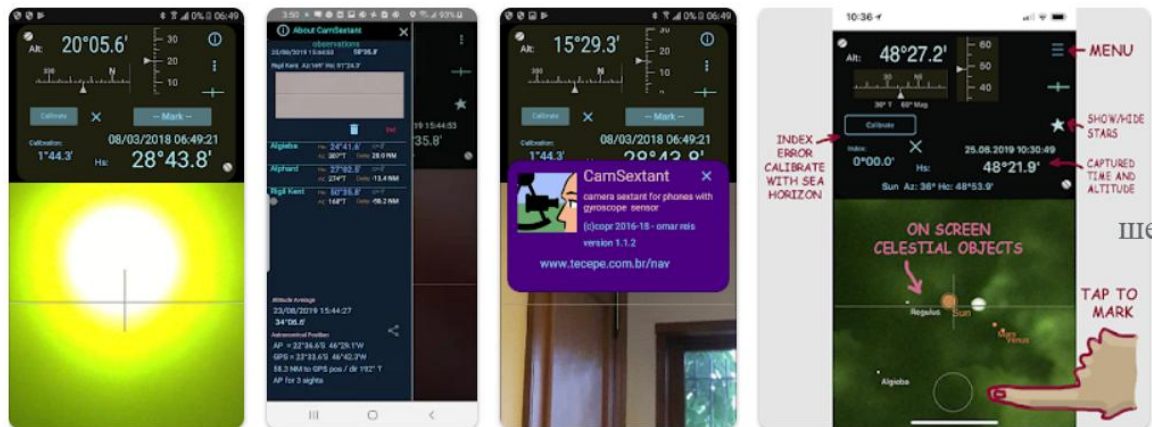


Рисунок 1. Мобільний додаток CamSextant

Перспективні автоматизовані та альтернативні методи

До найбільш перспективних сучасних методів належать системи автоматичного супроводу зірок і навігація за сигналами пульсарів. Такі системи використовують небесні тіла як природні навігаційні маяки та забезпечують високу точність визначення положення без використання супутникової інфраструктури. Наразі ці технології мають переважно військове або наукове застосування, однак у майбутньому можуть знайти використання й у цивільному судноплаванні [13,14].

Порівняльний аналіз сучасних методів

Порівняльний аналіз сучасних методів астрономічного визначення місцеположення судна показує, що жоден із них не є універсальним. Комп'ютеризовані методи та інтеграція з ECDIS підвищують точність і оперативність, однак ці методи не автономними, оскільки вимагають відповідного устаткування і програмного забезпечення. До того ж вони не дозволяють зменшити вплив випадкових погрешностей, обумовлених географічними координатами місця судна і положенням полюса освітленості світила на поверхні Землі, а також виключити вплив систематичних погрешностей виміру параметрів світил. Цифрові секстанти та мобільні пристрої спрощують спостереження, проте знижують рівень незалежності від технічних систем. Перспективні автоматизовані методи демонструють найвищий потенціал, але наразі залишаються складними та дорогими для масового використання.

Класичні ручні методи забезпечують максимальну автономність, але є трудомісткими та менш точними. Також вони мають низку обмежень, зокрема залежність від метеорологічних умов, видимості горизонту та часу доби.

Таким чином, оптимальним підходом на сучасному етапі є комбіноване застосування астрономічної навігації, за якого класичні методи зберігаються як резервні, а сучасні цифрові та автоматизовані рішення використовуються для підвищення ефективності та безпеки судноводіння.

Висновки

Аналіз національних і міжнародних ініціатив свідчить, що питання ролі та значення астрономічної навігації в подальшому розвитку морської галузі набуває дедалі більшої

актуальності. Обговорення зосереджуються навколо доцільності її викладання в закладах морської освіти, необхідності збереження астрономічної навігації серед обов'язкових професійних компетентностей майбутніх судноводіїв, а також перспектив її практичного використання в умовах сучасного судноплавства.

Ключовим ризиком для астрономічної навігації залишається можливість її повного вилучення з переліку обов'язкових компетентностей, визначених Конвенцією ПДНВ, що може призвести до втрати важливого резервного навігаційного інструмента.

У перспективі викладання астрономічної навігації потребує адаптації до сучасних умов шляхом оптимізації обсягу й тривалості навчальних курсів, спрощення надмірно складних теоретичних положень та концентрації на мінімально необхідному наборі методів і навігаційних задач, орієнтованих на практичне застосування.

Сьогодні астрономічна навігація, попри домінування супутникових навігаційних систем, ще зберігає важливе значення як резервний і незалежний метод визначення місцеположення судна. Сучасні методи її реалізації, засновані на цифровізації, автоматизації та інтеграції з ECDIS і мобільними пристроями, роблять астрономічну навігацію більш доступною та придатною для практичного використання. Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення компактних інтегрованих систем, які поєднують астрономічні, інерційні та оптичні засоби навігації, що забезпечить високу точність і стійкість у складних умовах експлуатації судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Astro navigation: The Admiralty manual of navigation Vol. 2. 11th ed. The Nautical Institute, 2018.
2. Bowditch, N. The american practical navigator. Bethesda, Maryland: DMAHTC, 2022.
3. Burch, D. Celestial navigation. 2nd edition. Starpath, 2015. ISBN 9780914025467.
4. W. Gery, S. The direct fix of latitude and longitude from two observed altitudes. Journal of The Institute of navigation [online]. Wiley, 1996, vol. 44, no. 1, p.15-24, [Accessed: Mai, 2024]. Available at: <https://doi.org/10.1002/j.2161-4296.1997.tb01935.x>
5. Ruiz, G. A. Vector solution for the intersection of two circles of equal altitude. The Journal of Navigation [online]. Cambridge University Press, 2008, vol. 61, no. 2, p. 355-365. [Accessed: Mai, 2024]. ISSN 1469-7785. Available at: <http://dx.doi.org/10.1017/S0373463307004602>
6. Lušić, Z. Astronomical position without observed altitude of the celestial body. The Journal of Navigation. Cambridge University Press, 2018. vol.71, no. 2, p. 454–466, [Accessed: Mai, 2024]. ISSN 1469-7785. Available at: <http://dx.doi.org/10.1017/S037346331700073X>
7. Tsou, M.-C. Genetic Algorithm for Solving Celestial Navigation Fix Problems. Polish Maritime Research, 19(2), 2012, 54–59.
8. Nguyen, V. S., & Im, N. K. Development of Computer Program for Solving Astronomical Ship Position Based on Circle of Equal Altitude Equation and SVD-Least Square Algorithm. Journal of Navigation and Port Research, 38(2), 2014, 89–96.
9. Soung, V.; Kyun-Im, N.; Dao, Q.: Azimuth method for ship position in celestial navigation. International Journal of e-Navigation and Maritime Economy [online]. Korea Advanced Institute for Maritime Safety and Technology in Mokpo National Maritime University, Elsevier, 2016, vol. 7, p. 55-62 [Accessed: Mai, 2024]. ISSN 2405-5352. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enavi.2017.06.006>.
10. Soung Nguyen, V. A theoretical approach of astronomical ship positioning using a single celestial body and secant technique. International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems. 2020, vol. 20, no.1, p. 1-7. [Accessed: Mai, 2024]. Available at: <http://dx.doi.org/10.5391/IJFIS.2020.20.1.1>.

11. Wei, Z.; Xiaofeng, X.; Yuanzhe, Wu. A new method of single celestial-body sun positioning based on theory of mechanisms. Chinese Journal of Aeronautics [online]. Chinese Society of Aeronautics and Astronautics & Beihang University, 2015, vol. 29, no.1, pp. 248-256. [Accessed: Mai, 2024]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2015.12.009>.
12. Grm, G.; Grm, A.: Testing the functionality and applicability of smart devices for a handheld celestial navigation system. Naše more [online]. 2021, Vol. 68, no.3, p. 157-166, [Accessed: Mai, 2024]. ISSN 0469-6255. Available at: <http://dx.doi.org/10.17818/NM/2021/3.3>.
13. Adamson, J. Use of pulsars for ship navigation: an alternative to the sextant, The Journal of Navigation [online]. Cambridge University Press, 2022, vol. 75 no.5, p. 1049–1068, [Accessed: Mai, 2024]. Available at: <http://dx.doi.org/10.1017/S0373463322000297>.
14. Zhang J., Yang J., Wang S., Liu X., Wang Y., and Yu X. A self-contained interactive iteration positioning and orientation coupled navigation method based on skylight polarization. Control Engineering Practice, 2021, 111: 104810, doi: 10.1016/j.conengprac.2021.104810.

УДК 656.61.052

РОЗВИТОК АСТРОНОМІЧНИХ МЕТОДІВ НАВІГАЦІЇ МОРСЬКИХ СУДЕН ОСНОВІ СИГНАЛІВ ПУЛЬСАРІВ

Прощенко К.К., курсант гр. 1303, Райнов О.О., ст. викладач

Національний університет “Одеська морська академія” (Україна)

Вступ. Сучасні морські навігаційні системи базуються переважно на використанні супутникових сигналів глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), таких як GPS, Galileo, BeiDou та GLONASS. Проте зростаюча залежність судноводіння від цих систем створює ризики у випадках глушіння сигналів, технічних збоїв або кібератак. Це обумовлює необхідність розвитку автономних методів навігації, здатних забезпечувати визначення координат судна незалежно від супутникової інфраструктури. Одним із перспективних напрямів є застосування астрономічних методів навігації, зокрема технології, що використовують сигнали пульсарів — нейтронних зір, які випромінюють регулярні електромагнітні імпульси у рентгенівському та радіодіапазонах. На основі цих сигналів можливо створювати системи високоточного автономного позиціонування, відомі під назвою XNAV (X-ray Navigation). Дана технологія активно розробляється у рамках програм NASA, ESA та DARPA для космічних апаратів, але може мати суттєвий потенціал для адаптації у морській навігації, зокрема для аварійного орієнтування суден у відкритому океані.

Актуальність досліджень. Проблема точності та надійності визначення місцезнаходження суден є однією з ключових у сучасному судноплаванні. Порушення роботи GNSS через навмисне глушіння або природні перешкоди здатне спричинити небезпечні навігаційні ситуації, особливо під час руху в складних метеоумовах або у районах з обмеженим супутниковим покриттям. Розвиток астрономічних методів навігації, зокрема за допомогою пульсарів, відкриває можливість створення повністю автономної системи визначення координат судна, яка не потребує зовнішніх передавачів сигналів. Висока стабільність періоду пульсарних імпульсів (похибка до 10^{-15} с) дозволяє потенційно досягати високої точності позиціонування, достатньої для автономної та резервної навігації. Таким чином, дослідження принципів та перспектив впровадження XNAV у морській навігації є актуальним завданням для підвищення безпеки та автономності судноплавства.

Постановка задачі. Мета дослідження – проаналізувати розвиток і перспективи використання сигналів пульсарів у навігаційних системах морських суден, визначити

принципи роботи системи XNAV та можливі шляхи її інтеграції у суднові комплекси управління. Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

- 1) розглянути фізичні принципи формування сигналів пульсарів та їх навігаційний потенціал;
- 2) дослідити структуру та алгоритми функціонування системи XNAV;
- 3) проаналізувати досяжну точність системи XNAV у сценаріях аварійної та резервної навігації морських суден;
- 4) оцінити можливості та умови практичного впровадження пульсарної навігації у складі комбінованих суднових навігаційних комплексів.

Результати досліджень. Пульсари — це швидко обертові нейтронні зорі, які випромінюють періодичні імпульси електромагнітного випромінювання з надзвичайно високою довготривалою стабільністю періоду. Саме ця стабільність, яка за оцінками досягає рівня $10^{-13} - 10^{-15}$, робить пульсари перспективними природними навігаційними орієнтирами [1,2]. Особливу цінність для навігаційних застосувань мають мілісекундні пульсари, сигнали яких характеризуються чітко відтворюваним фазовим профілем. Метод XNAV базується на вимірюванні часу надходження імпульсів від кількох відомих пульсарів та зіставленні цих вимірювань з еталонними фазовими моделями, сформованими на основі довготривалих астрономічних спостережень [3,4]. Різниця між прогнозованим і фактичним часом приходу імпульсу дозволяє визначити проєкційну відстань до пульсара вздовж напрямку його випромінювання, а сукупність таких вимірювань для кількох пульсарів забезпечує реконструкцію просторового положення приймача (рис. 1).

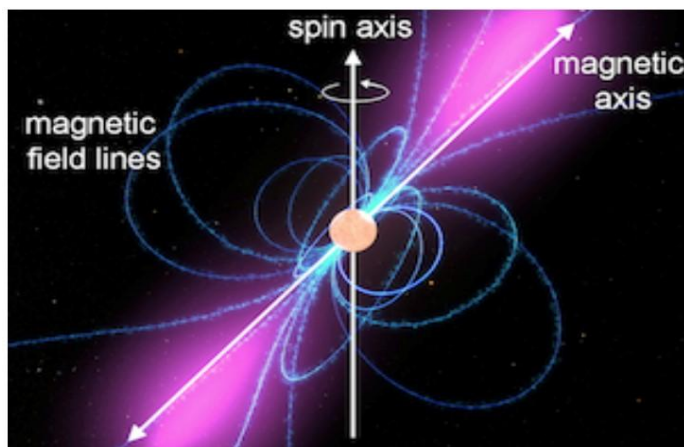


Рисунок 1. Принцип роботи пульсарної навігації

Ключовою перевагою пульсарної навігації є її автономність: система не потребує наземної або супутникової інфраструктури, а використовує виключно природні космічні джерела сигналів [1]. Узагальнена архітектура системи XNAV включає приймальні детектори (рентгенівські або радіочастотні), високостабільний опорний годинник, каталог пульсарів з відомими ефемеридами, а також алгоритми фазового аналізу та оцінки положення, зокрема на основі фільтра Калмана [1,4]. Практична реалізація такої системи вимагає врахування системних затримок, впливу атмосфери та синхронізації часових шкал. Для морського застосування особливого значення набувають компактність апаратури, стійкість до вібрацій та впливу морського середовища. У наукових роботах розглядається можливість інтеграції пульсарної навігації з існуючими судновими системами — ECDIS, інерціальними та гіроскопічними комплексами — як автономного резервного джерела навігаційної інформації (рис. 2) [2].

Результати чисельного моделювання та імітаційних експериментів, виконаних J. Adamson, свідчать, що при використанні сигналів 3-4 пульсарів і точності вимірювання часу імпульсів на рівні 10^{-6} с можливо досягти точності визначення місця судна в межах 1–2 км [2]. У разі використання одного пульсара похибка зростає до 5–7 км, що, однак, залишається прийнятним для аварійного або орієнтовного позиціонування у відкритому морі. Показано, що

подальше підвищення часової роздільної здатності та якості прийому сигналу потенційно дозволяє зменшити похибку визначення координат до сотень метрів, що узгоджується з ілюстративною залежністю точності позиціонування від точності часових вимірювань, вираженої через відношення сигнал/шум (SNR), наведеною на рис. 3 [2].

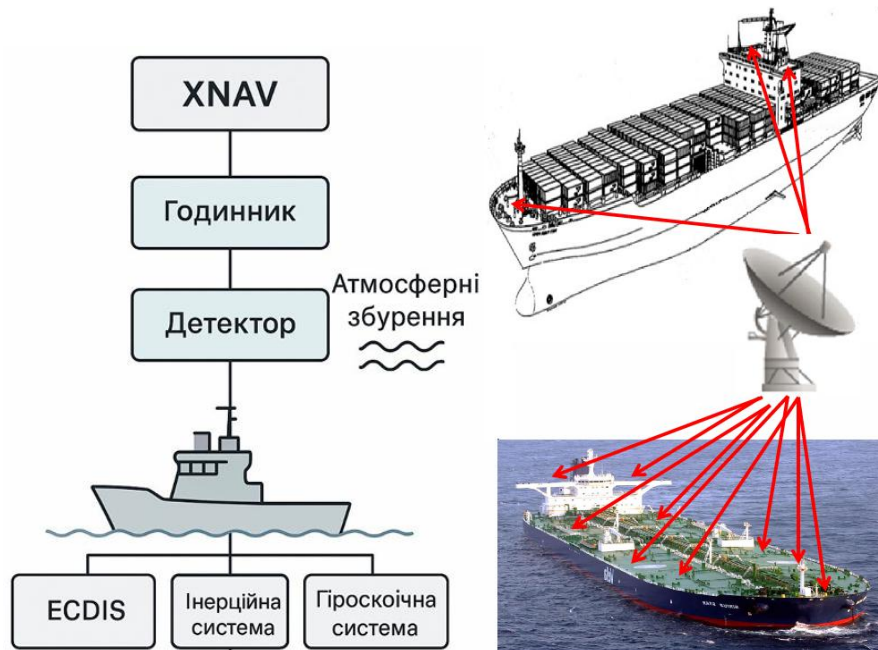


Рисунок 2. Гіпотетична архітектура XNAV для морського застосування. Схема потенційних місць розташування 3 або 9 x 10 м² радіоантен

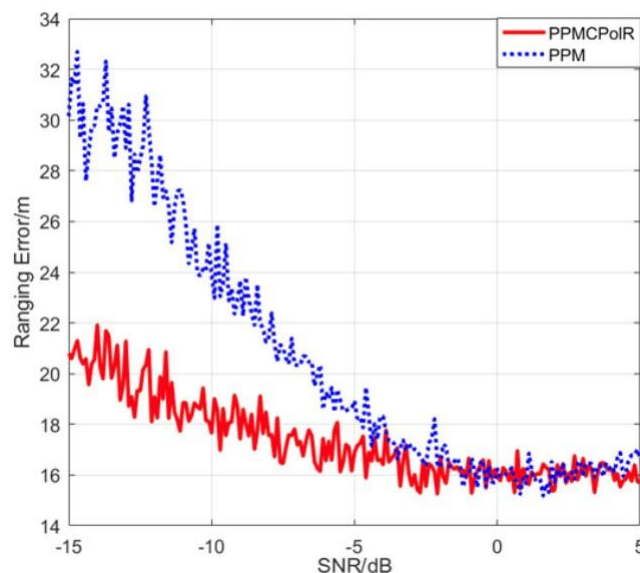


Рисунок 3. Залежність точності позиціонування від кількості пульсарів та точності вимірювання часу (через відношення сигнал/шум, SNR)

Додатково встановлено, що застосування інтерферометричних антенних систем, розміщених на надбудові судна, дає змогу компенсувати низьку інтенсивність пульсарних сигналів та підвищити відношення сигнал/шум [2]. Разом із розвитком методів цифрової обробки сигналів це створює передумови для практичної реалізації пульсарної навігації у

морському судноплавстві. У межах проведеного експерименту J. Adamson також проаналізував вплив кількості вимірювань та часових інтервалів між ними на кінцеву точність позиціювання. Розрахунки виконувались на основі серії фазових вимірювань з інтервалом близько двох хвилин протягом декількох циклів інтегрування сигналу, що дозволило зменшити випадкові похибки та уточнити розв'язок навігаційної задачі. Показано, що використання трьох незалежних пульсарних сигналів забезпечує однозначне визначення координат судна, тоді як залучення чотирьох і більше пульсарів формує перевизначену систему рівнянь, що підвищує стійкість результату до похибок вимірювань. Отримані експериментальні результати підтверджують, що поєднання багатопульсарного підходу, високоточної часової синхронізації та інтерферометричної антенної конфігурації є ключовими умовами досягнення прийнятної навігаційної точності при використанні пульсарів у морських умовах (рис. 4).

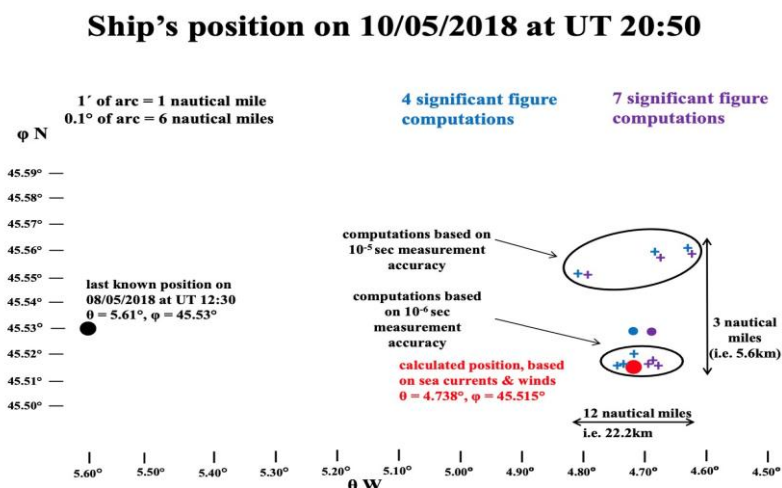


Рисунок 4. Визначення місцеположення судна за сигналами пульсарів у сценарії аварійної навігації (за J. Adamson)

Пульсарна навігація займає проміжне місце між супутниковими та класичними астрономічними методами. GNSS забезпечують найвищу точність та оперативність, проте є залежними від інфраструктури та вразливими до зовнішніх впливів. Секстант, у свою чергу, є повністю автономним засобом, але потребує ручних вимірювань, сприятливих умов видимості та високої кваліфікації навігатора. Пульсарна навігація поєднує автономність астрономічних методів із автоматизованою обробкою сигналів, характерною для сучасних електронних систем. Вона не потребує супутникового сегмента та не залежить від наземних станцій, що робить її потенційно стійкою до глушіння та відмов GNSS.

Незважаючи на перспективність, пульсарна навігація має низку обмежень. Насамперед це складність та габарити приймального обладнання, необхідність високочутливих антен і точних часових стандартів. Морське середовище з його вібраціями, електромагнітними завадами та обмеженим простором ускладнює реалізацію таких систем. Крім того, точність методу поки що не дозволяє розглядати його як основний засіб навігації. Технологічна готовність перебуває на рівні дослідних та демонстраційних рішень, що вимагає подальших експериментів і випробувань.

Найбільш доцільним напрямом використання пульсарної навігації є її застосування як резервної або доповнювальної системи. Вона може бути корисною для автономних або безекіпажних суден, у високих широтах, а також у сценаріях навігації в умовах повної відмови GNSS.

Дослідження ESA та NASA у сфері пульсарної навігації свідчать про довгостроковий інтерес до цієї технології, що дає підстави розглядати її як елемент майбутніх комплексних навігаційних систем.

Висновки. Демонстраційні космічні експерименти NASA NICER/SEXTANT підтвердили принципову можливість автономного визначення координат за пульсарними сигналами без зовнішнього зв'язку, що підтверджує коректність базових алгоритмів XNAV і для позакосмічних застосувань. Проведений аналіз підтверджує, що пульсарна навігація є науково обґрунтованим та перспективним напрямом розвитку автономних навігаційних систем. Дослідження показують, що за умови використання кількох пульсарів і сучасних методів фазового аналізу система XNAV здатна забезпечувати визначення місцеположення судна з точністю, достатньою для резервної та аварійної навігації. Основною перевагою XNAV є її повна незалежність від супутникових і наземних радіонавігаційних систем, що робить її стійкою до радіоелектронних перешкод, глушіння та відмов GNSS. У поєднанні з інерціальними та електронними навігаційними засобами пульсарна навігація може значно підвищити безпеку мореплавства, особливо в умовах обмеженої навігаційної доступності. Подальші дослідження мають бути спрямовані на адаптацію пульсарних навігаційних систем до морських умов експлуатації, зменшення габаритів апаратури та інтеграцію XNAV у складі комбінованих суднових навігаційних комплексів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sheikh, S. I., et al. Spacecraft Navigation Using X-ray Pulsars. AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference, 2006. — <https://doi.org/10.2514/6.2006-6753>
2. Adamson, J. Use of Pulsars for Ship Navigation: An Alternative to the Sextant. Journal of Navigation, 2022. — <http://dx.doi.org/10.1017/S0373463322000297>
3. European Space Agency. Navigating with Pulsars. ESA Official Portal — https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/05/Navigating_with_pulsars
4. Winternitz, L. B., Mitchell, J. W., et al. SEXTANT X-ray Pulsar Navigation Demonstration: Additional On-Orbit Results. NASA Technical Reports Server, 2019. — <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20180003358/downloads/20180003358.pdf>
5. NASA Goddard Space Flight Center. NICER/SEXTANT X-ray Navigation Demonstration. NASA Official Page — <https://www.nasa.gov/nicer/>
6. Mitchell, J. W., Winternitz, L. B., et al. SEXTANT: Mission Operations Architecture and Initial On-Orbit Results. NASA Technical Reports Server, 2018. — <https://ntrs.nasa.gov/>
7. Winternitz, L. B., et al. Performance and Sensitivity Analysis of XNAV Systems. NASA Technical Reports Server, 2022. — <https://ntrs.nasa.gov/>
8. Yidi, W. Review of X-ray Pulsar Spacecraft Autonomous Navigation. Journal of Navigation and Control, 2023. — <https://doi.org/10.1016/j.ast.2023.02.004>
9. Malgarini, A., Franzese, V., Topputo, F. Application of Pulsar-Based Navigation for DeepSpace CubeSats. Aerospace, 2023. — <https://doi.org/10.3390/aerospace10020152>

СЕКЦІЯ 2 ЕЛЕКТРОННІ КОМПЛЕКСИ СУДНОВОДІННЯ ТА ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ

УДК 629.123

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ МОРСЬКИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ, РАДІОЗВ'ЯЗКУ, А ТАКОЖ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ І РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Кошевий В. М., д.т.н., професор, **Шишкін О.В.**, д.т.н., професор, **Харченко Р. Ю.**, к.т.н., доцент, **Купровський В.І.**, к.т.н., доцент, **Пашенко О.Л.**, ст. викладач, **Грищенко В. В.**, ст. викладач

Національний Університет «Одеська Морська Академія» (Україна)

Анотація. Пропонується розроблення методів і засобів забезпечення кібербезпеки систем морської навігації і радіозв'язку в умовах практично найбільш ймовірних сценаріїв втручань в роботу зазначених систем. Значну увагу при цьому виділено саме інтегрованим системам навігації і радіозв'язку, що отримані останнім часом на базі інноваційного рішення організації радіозв'язку на якісно новому рівні, в стандартизації засобів управління радіозв'язком, покращення ситуаційної обізнаності і зменшення вахтового навантаження моряків, які досягнути за рахунок спільної обробки даних засобів навігації і радіозв'язку, використання нових сучасних технологій і методів оброблення інформації, опинилися вразливими до кібератак, як раз завдяки їх інтегруванню з засобами навігації АІС і ГНСС, на які переважно і спрямовані кібератаки. Заплановані результати дозволять підвищити достовірних даних про надводну навігаційну обстановку і забезпечити контроль працездатності, ідентифікації і локалізації джерел впливу і прийняття відповідних дій у разі кібератак на системи, які є критичними для безпеки судноплавства.

Вступ. В сучасній морській навігації стають частішими такі методи втручання в роботу Глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) за рахунок кібератак на приймач ГНСС, такі як *Jamming* (глушіння), де таке втручання відбувається шляхом випромінювання на частотах роботи супутників сигналів з шумовою модуляцією засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) з потужністю, яка значно перевищує потужність сигналів, що надходять від різних супутників і приймач перестає надавати координати користувачам які потрапляють в зону дії шумового сигналу; *Spoofing* (підробка) модуляцією яку використовують передавачі супутників) – передбачає випромінювання засобами РЕБ підроблених сигналів (на тих же частотах і з такою же модуляцією яку використовують передавачі супутників), які завдяки їх підвищеною потужністю по зрівнянню з сигналами від супутників заміщають ці сигнали в приймачах ГНСС, що змушує приймачі обчислювати невірне положення суден та/або час і як наслідок відхилення від курсу, що вказує на негативні наслідки на коректне функціонування безпосередньо засобу навігації і необхідності відповідного його захисту. Крім того некоректне функціонування приймача ГНСС, значно зменшує ефективність і оперативність роботи системи Глобального морського зв'язку у разі лиха та безпеки (ГМЗЛБ), у котрій суттєво використовується інформація, яка отримується з приймача ГНСС, для автоматичного оновлення координат судна та часу такого оновлення у різних складових системи ГМЗЛБ. У разі використання інтегрованої системи зв'язку в УКХ, ПХ, КХ діапазонів хвиль ГМЗЛБ з навігаційною автоматичною ідентифікаційною системою (АІС), що значно підвищує оперативність зв'язку у стандартних умовах, у разі наявності кібер втручань на приймач ГНСС, може втратити свої переваги при відсутності відповідних заходів захисту. Так як функціонування АІС суттєво пов'язано з приймачем ГНСС, який є одним із більш важливих складових АІС.

Актуальність розробки обґрунтована зростанням ризиків безпечного судноплавства та національної безпеки внаслідок проявів кіберзлочинності як у світі в цілому, так і в Азово-Чорноморському басейні з боку певних структур. Сучасні системи морської навігації, радіозв'язку та відповідні інтегровані системи побудовані на всебічному використанні

цифрових технологій що базуються на інтегруванні систем зв'язку та навігації і тому потенціально вразливі до кібернетичних атак, які переважно направлені на ГНСС та АІС за рахунок використання відповідних засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), зокрема берегового базування для здійснення кібератак і не приймалися до уваги за часи розробки цих систем. Прикладна проблема полягає у тому, що отримані останнім часом інноваційні рішення організації радіозв'язку на якісно новому рівні з врахуванням практичних потреб судноводіїв щодо оперативності зв'язку, в стандартизації засобів управління радіозв'язком, покращення ситуаційної обізнаності (що дуже важливо для задач моніторингу надводної навігаційної обстановки) і зменшення вахтового навантаження моряків, які досягнуті за рахунок інтегрування та спільної обробки даних засобів навігації і радіозв'язку, використання нових сучасних технологій і методів оброблення інформації, опинились вразливими до кібератак, як раз завдяки їх інтегруванню з засобами навігації АІС і ГНСС, на які переважно і спрямовані кібератаки. Особливістю таких кібератак є їх системний характер, так як вони направлені безпосередньо на вказані навігаційні системи, за допомогою засобів РЕБ у різних сценаріях їх використання. Це унеможливило використання традиційних методів виявлення кібератак і захисту від них, які розроблені для інформаційного захисту комп'ютерних мереж і засновані на використанні різноманітних паролів та антивірусних програм, і потребують розробки нових підходів. Зважаючи на те, що сучасна навігація у сферах як цивільного так і військового судноплавства заснована на використанні глобальних супутникових систем, порушення функціонування цих систем має негативні наслідки для безпеки судноплавства і економічної діяльності. Проект спрямований на вирішення проблеми протидії кібератакам, які торкаються сфер національної безпеки та оборони України та цивільного судноплавства. Впровадження нових систем навігації таких як автоматична ідентифікаційна система (АІС), електронна картографічна навігаційна і інформаційна система (ЕКНІС), або її аналога у вигляді Інформаційного дисплею з розширеними можливостями щодо інтегрування систем навігації і зв'язку, створили умови для переходу на якісно новий рівень морського радіозв'язку за техніко-експлуатаційними показниками. Особливістю морського наземного зв'язку є використання цифрового вибіркового виклику (ЦВВ), який за Регламентом радіозв'язку (РР) передбачає подальшому обміну голосовими або текстовими повідомленнями. Процедура встановлення адресного зв'язку має певні складнощі, які пов'язані з використанням вахтовим судноводієм ручних операцій пов'язаних з вибором частот (каналів) і процедур для встановлення зв'язку. В інших системах сучасного зв'язку, наприклад, мобільного стільникового ці процедури виконуються автоматично, але у морі встановлення зв'язку складає для судноводія певну проблему, пов'язану з необхідністю витрати додаткового часу, з огляду на необхідність одночасно несення навігаційної вахти і управління судном. Попередні дослідження показали, що за рахунок інтегрування систем навігації і зв'язку та спільної обробки інформації можливо отримання надійного адресного зв'язку в діапазонах ультракоротких хвиль (УКХ), проміжних та коротких хвиль (ПХ/КХ). без виконання судноводієм додаткових рутинних операцій, які суттєво погіршує оперативність зв'язку. Напрацювання авторів у цьому напрямку відображені в зарубіжних наукових монографіях, підручнику із грифом МОН України, чисельних статтях і докладах на міжнародних конференціях, патентах на винаходи України і Німеччини. За результатами роботи сформована низка пропозицій, які були представлені на державному рівні від України в структури Міжнародної морської організації (ІМО). Ці пропозиції були підтримані на сесіях Підкомітетів ІМО з Радіозв'язку, пошуку та рятування (COMSAR), Безпеки навігації (NAV), Навігації, зв'язку та пошуку і рятування (NCSR), Комітету безпеки мореплавства (MSC) MSC94; MSC97. Особливо слід відзначити документи NCSR 4.7.1; NCSR 5.6.1 які також, як і перелічені вище документи, були розроблені в НУ ОМА науковцями кафедри "Морського радіозв'язку" і представлені на державному рівні від України на 4й і 5й сесіях підкомітету ІМО NCSR, в яких вперше було вказано на можливість використання інформаційних дисплеїв інших ніж ECDIS, наприклад додатковий Conning display, або використання екрану радару у якості Інформаційного дисплею, тільки з використанням принципів відображення графічної

інформації схожих із ECDIS при інтегруванні систем радіозв'язку (ЦБВ) та навігації (АІС, ГНСС). Крім того у документі NCSR 5.6.1 вперше було наведено принцип розширення діапазону дії інтегрованого засобу зв'язку на ПХ/КХ діапазон радіохвиль за рахунок використання супутникового АІС (Sat-AIS). Вказані пропозиції були підтримані підкомітетом. З 2019р. до кінця 2021р. у рамках виконання науково прикладної роботи по постанові Кабінету Міністрів України був розроблений і практично виготовлений діючий макет інтегрованої системи зв'язку УКХ ПХ/КХ діапазону хвиль, який об'єднував відповідні засоби навігації і радіозв'язку вказаних вище, у вигляді апаратно програмного комплексу (АПК). АПК пройшов успішну перевірку в реальних морських умовах за допомогою і при участі Державного підприємства "Морська Пошукова Рятувальна Служба" м. Одеса. З початку 2022р. планувалося почати роботи пов'язані з розробкою серійного зразка виробу, мали домовленість про зустріч з представниками деяких закордонних фірм, але початок війни в Україні зруйнували всі наші плани в цьому напрямку. Тім більш, що у наслідок зростання ризиків безпечного судноплавства та національної безпеки завдяки проявів кіберзлочинності як у світі в цілому, так і в Азово-Чорноморському басейні з боку певних структур, а також внаслідок інтегрування та спільної обробки даних засобів навігації і радіозв'язку, використання нових сучасних технологій і методів оброблення інформації, опинились вразливими до кібератак, як раз завдяки їх інтегруванню з засобами навігації АІС і ГНСС, на які переважно і спрямовані кібератаки, поставило у ряд першочергових завдань удосконалення виробу з точки зору його захищеності від кібератак. Слід зауважити, що незважаючи на уразливість інтегрованої системи зв'язку з боку можливих кібервтручань, деякі компанії пішли на розробку серійних варіантів виробів інтегрованого засобу радіозв'язку, у рамках концепції, що розглянута вище, без прийняття яких не будь заходів по захисту виробу від кібератак. Нам відомий приклад такої розробки яка була створена на основі ідеї наших розробок, вказаних вище, за рахунок інтегрування системи радіозв'язку в УКХ діапазону хвиль (УКХ ЦБВ) та навігації (АІС і ГНСС), з використанням у якості Інформаційного дисплею екрану радару JMR-9200/7200 series Marine Radar, виробленого компанією JRC Japan Radio Corporation.

Досвід експлуатації систем морської навігації і радіозв'язку засвідчив нові виклики безпечної і ефективної експлуатації цих систем. За останні 10 років спостерігається значний ріст кібератак на судові системи. У зв'язку з цим резолюція MSC.428(98) ІМО закликає до врахування кіберризиків належним чином на морських суднах з 1 січня 2021 року. Тому досягнуті напрацювання потребують подальшого розвитку саме з акцентуванням на управління кіберризиками на морському транспорті. Впровадження цифрових, мережевих технологій поряд з отриманням величезних переваг і перспектив розвитку має і негативний ефект через появу потенційних деструктивних наслідків. Кіберзлочини є одним з видів таких наслідків. На морському транспорті кібератаки зафіксовані, як свідчить аналіз джерел інформації, на всьому спектрі судового і комунікаційного обладнання, включно радари, ГНСС, АІС, ЕКНІС, усі типи радіообладнання супутникового і наземного зв'язку (див. перелік відкритих публікацій [1 - 10] нижче. Крім того критичний вплив мають кібер втручання в операційні технології автономних суден[5]. Певною мірою вплив кіберзлочинів може бути пояснений розробкою і впровадженням морських систем, наприклад, АІС, ЦБВ, а також ГНСС наприкінці минулого сторіччя, коли цей негативний фактор не міг був врахований. Необхідність стандартизації судового обладнання і відкритий рівноцінний доступ усіх суден до систем, які забезпечують безпеку судноплавства, також стає підґрунтям для створення злочинних технологій. Аналіз наукових публікацій освідчує що трендом розвитку методів і засобів забезпечення морської кібербезпеки є інтегрування різних систем для гарантованого забезпечення функціональності і сумісності судового обладнання в умовах різноманітних сценаріїв зовнішніх втручань. Розробка ідеї інтегрування систем морської навігації і радіозв'язку та спільне використання різних технологій і обробка даних дозволила отримати нові науково-практичні результати з метою вдосконалення техніко-експлуатаційних характеристик систем наземного радіозв'язку, знаходячись при цьому в рамках застосування конвенційного судового обладнання за міжнародними вимогами та забезпечення його

сумісності. Нові виклики в сфері морського судноплавства потребують перенесення акценту досліджень з навігаційної безпеки (Safety) на забезпечення кібербезпеки (Cybersecurity). На морському транспорті кібербезпека обов'язково крім класичної інформаційної безпеки враховує безпеку операційних технологій (Operational Technology, OT). Морські OT включають крім програмного забезпечення також апаратуру, різноманітні механізми, енергетичні та пропульсивні установки, технологічні процеси, а також обов'язково системи морської навігації і радіозв'язку. Ризики деструктивного впливу (атак) на OT можливі як по кабельним каналам, так і по радіоканалам. У зв'язку з ростом кіберзагроз та враховуючи потенційні величезні втрати Міжнародна морська організація ухвалила резолюцію ІМО MSC.428(98) про управління кіберризиками на морі в системі управління безпекою. За цим документом кіберризики повинні враховуватися належним чином на морських суднах після 1 січня 2021 року.

Зниження ризику кіберінцидентів - мета побудови ефективного захисту. Стратегія побудови захисту в глибину і в ширину (всеосяжний захист). Задача захисту приймачів ГНСС і АІС розбивається на два основних блока – виявлення (детектування) кібервтручання та визначення його типу (при джаммінгу видається відмова приймача від видачі координат, а при спуфінгу відбувається зміщення значень координат). Другим етапом обираються подальші дії щодо захисту приймача ГНСС. Існує ряд методів захисту від глушіння та спуфінгу приймачів ГНСС[4]:

- Використання антенних решіток для просторового розділення корисних і завадових сигналів за рахунок придушення бокових пелюсток діаграми спрямованості антенної решітки з напрямку приходу завадового сигналу та з високим коефіцієнтом посилення головного пелюстка діаграми спрямованості з напрямку приходу корисних сигналів від супутників, з використанням або адаптивного або зонального методів придушення бокових з урахуванням наявності апріорних даних о можливих напрямках приходу завадових сигналів. Такий підхід до захисту приймачів ГНСС використовуються як у разі *Jamming*, так і у разі *Spoofing* [5].

- Застосування алгоритмів розділення та придушення спуфінгових (завадових) сигналів з використанням спектральних методів розділення сигналів з урахуванням доплерівського зсуву спектру корисних сигналів від супутників, за рахунок відповідної обробки сигналів у приймачі ГНСС. Така обробка може також використовуватися сумісно з просторовою обробкою з використанням антенної решітки;[6];

- Спектральної та просторової селекції сигналів (з використанням кореляційних матриць та за допомогою компенсаційного підходу) у разі кібервтручання типу *Spoofing*.

- Інтеграція приймачів ГНСС з дублюючими системами (back-up systems) навігації такими як: інерційні вимірювальні модулі гірокомпаса; наземні засоби радіонавігації типу Лоран; додаткова інтеграція цих радіонавігаційних засобів з АІС; радіолокаційні буї (типу Ramarks, наприклад) сумісно з буями, які передають DGPS Corrections; Радіостанцій визначення напрямку (Radio Direction-Finding Station) сумісно зі станціями, які передають сигнали точного часу (наприклад MAINFLINGEN (DCF77); Eastern European Time (EET)); різні системи з використанням режиму R-mode.

- Для підвищення точності, надійності (у тому числі кіберзахищеності) застосовують інтеграцію двох або більше різних ГНСС, за рахунок використання універсальних приймачів, які налаштовані на прийом сигналів від кількох ГНСС. Таки інтегровані системи з використанням вказаних приймачів отримали назву Satellite Based Augmentation Systems (SBAS).

- Використання відбиття сигналів суднових радарів від так званих навігаційних створів, які розтошовані вздовж берегової лінії з точно відомими координатами для визначення координат судна; або використовувати метод обрешеної радіолокації, яка пов'язана з отриманням пубової координатної інформації від берегових радарів за допомогою відповідних засобів зв'язку і у відповідному форматі з метою підвищення точності і дальності дії.

- Використання компонентів e-Navigation, які інтегрують супутникові та наземні засоби зв'язку і навігації. Зокрема інтегрування даних, які отримуються з супутникової системи

зв'язку Iridium, рамках розповсюдження інформації з безпеки мореплавства, з судновим АІС, а саме данні про координати судна, з прив'язкою до часу їх отримання.

Окремо розглядається задача захисту повідомлень АІС за допомогою цифрового підпису при спробах роботи під прикриттям чужого морського ідентифікатора (ММСІ). Для захисту суднових комп'ютерів і мереж: використання брандмауерів, фізичної охорони судна відповідно до плану охорони (SSP), сегментація мереж, контроль доступу, процедури використання знімних носіїв, політика використання паролів, підготовленість персоналу. Де також є можливість додаткового використання електронного підпису.

ЛІТЕРАТУРА

1. Androjna, A., Brcko, T., Pavic, I., & Greidanus, H. (2020, October 20). Assessing Cyber Challenges of Maritime Navigation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(10), 776. DOI: 10.3390/jmse8100776
2. Czaplewski, K., & Goward, D. (2016, June). Global Navigation Satellite Systems - Perspectives on Development and Threats to System Operation. *TransNav, The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(2), 183-192. DOI: 10.12716/1001.10.02.01
3. Goudosis, A., & Katsikas, S.K. (2019, June 14). Towards a Secure Automatic Identification System (AIS). *Journal of Marine Science and Technology*, 24, 410-423. DOI: 10.1007/s00773-018-0561-3
4. Grant, A., Williams, P., Ward, N., & Basker, S. (2009, April). GPS Jamming and the Impact on Maritime Navigation. *The Journal of Navigation*, 62(2). DOI: 10.1017/S0373463308005213
5. Gu, Y., Goetz, J.C., Guajardo, M., & Wallace, S.W. (2021, July). Autonomous Vessels: State of the Art and Potential Opportunities in Logistics. *International Transactions in Operational Research*, 28(4), 1706-1739. DOI: 10.1111/itor.12785
6. Hansen, A., Mackey, S., Wassaf, H., Shah, V., Wallischek, E., Scarpone, C., Barzach, M., & Baskerville, E. (2021, January). Complementary PNT and GPS Backup Technologies Demonstration Report. Cambridge (MA): U.S. Department of Transportation, John A Volpe National Transportation Systems Center, Report DOT-VNTSC-20-07. https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2021-01/FY%2718%20NDAA%20Section%201606%20DOT%20Report%20to%20Congress_Combinedv2_January%202021.pdf
7. Kessler G. C., "Protected AIS: A Demonstration of Capability Scheme to Provide Authentication and Message Integrity," *TransNav – the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 14, No. 2, June 2020, pp. 279–285.
8. Meland, P. H., Bernsmed, K., Wille, E., Rødseth, Ø. J., and Nesheim, D. A. "A Retrospective Analysis of Maritime Cyber Security Incidents," *TransNav – the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 15, No. 3, Sept. 2021, pp. 519–530.
9. Oruç, A., Gkioulos, V., & Katsikas, S. (2022, January). Towards a Cyber-Physical Range for the Integrated Navigation System (INS). *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 107. DOI: 10.3390/jmse10010107
10. Wolsing, K., Saillard, A., Bauer, J., Wagner, E., van Sloun, C., Fink, I.B., Schmidt, M., Wehrle, K., & Henze, M. (2022, September). Network Attacks Against Marine Radar Systems: A Taxonomy, Simulation Environment, and Dataset. *Proceedings of the IEEE 47th Conference on Local Computer Networks (LCN)*, Edmonton, Alberta, Canada.
11. Proposed amendments to the Interim Iridium SafetyCast service manual. Submitted by IHO, WNWNS-SC, SERCOM / NCSR 8/9, 15 December, 2020.
12. IMO NCSR 4/7. Report of the Correspondence Group on the Development of additional modules to Performance Standards for Integrated Navigation Systems. Submitted by China. 28 November 2016.
13. IMO NCSR 4/8. First draft of the Guidelines. Submitted by Norway and IHO. 2 December 2016.

14. IMO NCSR 4/7/1 Proposal to provide two-way connections of communications equipment, including VHF DSC controller, with INS. Submitted by Ukraine. 30 December 2016.
15. NCSR 5/6/1. Integration and presentation of available navigation-related information exchange via communication equipment by integrating VHF/MF/HF DSC into INS. Submitted by Ukraine, 15 December 2017.
16. H. Karahalios. Appraisal of a Ship's Cybersecurity efficiency: the case of cyber attack. Journal of Transportation Security, Publishing 2020. <https://doi.org/10.1007/s12198-020-00223-1>
17. Koshevyy V.M., Shyshkin O.V. Developments of Interface for VHF, MF/HF Communication Using DSC in GMDSS Services in the Framework of E-navigation Concept. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 3 – September 2021, pp. 593 – 60.
18. Koshevyy V.M., Konovets V.I., Shyshkin O.V. SMART Digital Selective Calling User Interface on the Base of Integration Maritime Navigation and Radiocommunication Equipment. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 2 – June 2021, pp. 291 – 297. DOI: 10.12716/1001.15.02.03
19. O.V. Shyshkin, V.I. Konovets, V.M. Koshevyy. AIS R-Mode Trilateration for GPS Positioning and Timing Insurance. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 17, No. 3 – September 2023, pp. 585- 590.
20. V.M. Koshevyy Synthesis of Waveform-Filter pairs under Additional Constraints with Group-Complementary Properties IEEE, Radar Conference 2015, May 2015, Arlington, VA (USA), pp. 0616-0621.
21. V. Koshevyy, O. Pashenko Improved compound multiphase waveforms with additional amplitude modulation (periodic mode) for marine radars // The Second International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2017), 11 – 15 September 2017 Odessa, Ukraine, pp. 1 – 6.
22. Шишкін, О., Пашенко, О., Купровський, В. (2025). Розвиток морського УКХ радіозв'язку для ефективного та безпечного судноплавства. Судноводіння Shipping&Navigation ISSN 2306-5761 | 2618-0073 НУ ОМА, № 37, С. 47 – 62. DOI: 10.31653/2306-5761.37.2025.47-62

УДК 629.123

ОБРОБКА ПСЕВДОВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПОДАВЛЕННЯ СПУФІНГОВИХ СИГНАЛІВ

Кошевий В.М., д.т.н., професор, Пашенко О.Л., магістр, старший викладач

Національний університет «Одеська Морська Академія» (Україна)

Анотація. Застосування алгоритмів розділення та придушення спуфінгових (завадових) сигналів з використанням спектральних методів розділення сигналів з урахуванням доплерівського зсуву спектру корисних сигналів від супутників, за рахунок відповідної обробки сигналів у приймачеві ГНСС [1].

Зростання інтересу щодо використання псевдовипадкових сигналів та їх обробки пов'язано значною мірою з розширенням сфери їх застосувань [перш за все завдяки зростання відповідних потреб розвитку у космічній області з урахуванням потреб військового призначення у тому числі. Основні зусилля у напрямку розвитку цих застосувань були сфокусовані на вибіру форматів сигналу і на техніці обробки які мали забезпечити переваги вибору сигналу, особливо захищеність від спуфінгових кібератак. Еволюція цифрових мобільних радіо систем та зростаючі вимоги до систем позиціонування сумісно з додатковими можливостями, які надає широке використання великих

інтегральних схем при практичній реалізації електронних ланцюгів підвищеної складності, що в результаті і привело до частого використання обробки псевдовипадкових сигналів як життєво здатну техніку для багатьох цивільних та комерційних застосувань. Успішне застосування у супутникових навігаційних системах і третього – покоління мобільного зв'язку надали докази щодо концепцій псевдовипадкових сигналів обробки як важливої і критично необхідної для сучасних комунікаційних та інформаційних систем.

У докладі розглядаються питання які пов'язані з застосуванням алгоритмів розділення сигналу спуфінга (завадовий сигнал) і сигналів від супутників (корисні сигнали) з використанням оцінки потужності і доплерівського зсуву частот прийнятих сигналів та подальшим придушенням виявленого спуфінга сигналу за рахунок відповідної додаткової фільтрації, яка при цьому залишає практично не змінними рівень корисних сигналів у приймачеві ГНСС.

Опис системи ГНСС. Система ГНСС складається з трьох підсистем [2] -- Підсистема навігаційних космічних апаратів (НКА) складається з супутників, які передають спеціальні сигнали, що сумісно з передачею навігаційних повідомлень з інформацією про орбіту, місто положення НКА і часу передавання повідомлення використовуються для виміру затримки супутникова сигналу та обчислення дальності до НКА, що має назву псевдодальність. -- Підсистема контролю і управління складається з наземних станцій, котрі відслідковують НКА у межах видимості, збирають данні кількох передач та оновлюють навігаційні данні, відомості про стан атмосфери, інформацію для корекції, а також управління супутником. -- Підсистема користувачів включає приймачі ГНСС.

Сигнал, що передається супутниками GPS. Сигнал, який передається супутникам GPS (Global Position System, це скорочена назва американської ГНСС – NAVSTAR GPS) складається з трьох основних компонентів - Несуча
- Дальнімірні коди (псевдовипадкові послідовності)
- Навігаційні повідомлення.

Кожний НКА модулює несучу двома широкосмуговими псевдовипадковими послідовностями: цивільним грубим кодом (C/A) загального доступу [2], і закритим точним кодом (P), котрий використовується задля військових потреб або державними органами з особливими повноваженнями. Код C/A є підкласом псевдовипадкових послідовностей (ПВП) (код Голда) довжиною 1023 біта, який передається зі швидкістю 1.023 Мбіт/с, з цього витікає, що сигнали з кодом C/A, які включають 1023 імпульси передаються супутниками безперервно, без інтервалів, з періодом повторення співпадаючим з довжиною самого сигналу (порядку 1 мсек). Кожен НКА має унікальний код C/A, по якому він ідентифікується. Завдяки багатоканальному доступу з кодовим розділенням (CDMA), він приймається роздільно від кодів інших НКА системи, що передається на той самій частоті. Р-код – це ПВП довжиною 6.1871×10^{12} біт. Він передається зі швидкістю 10,23 Мбіт/с, а час передавання складає 7 діб. З початку 1994 року передається шифрована версія коду Р, яка зветься кодом Р(Y). Цей код забезпечує захист від спуфінга або інших сфальшованих передач виключно для військових застосувань. Код Р(Y) представляє собою код Р, модульований послідовністю для шифрування (Wкод.) Після додавання коду навігаційних повідомлень (шляхом сумування по модулю 2 0) обидві кодових сигнали C/A та Р(Y) модулюють несучу L1 (1575,42 МГц, при цьому вказані обидві компоненти сигналу, які модулюють несучу L1, є когерентними і знаходяться по фазі у квадратурі одна до одної (зсунуті на 90 град.) (дивись Рис. 1) для зручності їх розділення в приймачеві на виході

квадратурного фазового детектору. Код P(Y), або код P також модулює несучу L2 (1227,6 МГц). Алгоритм формування сигналу, що описаний вище, представляє сигнали які передається супутниками GPS [2], наведено на Рис.1

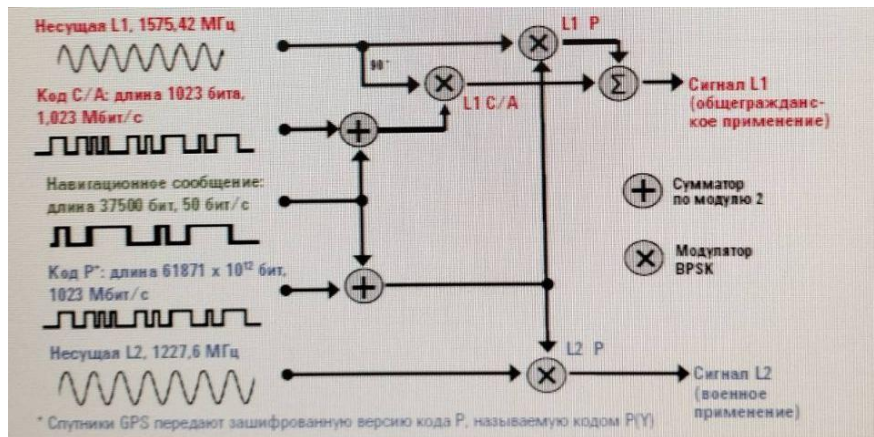


Рисунок 1

Навігаційне повідомлення GPS Навігаційне повідомлення містить 37500 біт даних, які розділені на 25 кадрів (сторінок). Повне повідомлення може бути передано за 12,5 хвилин так як швидкість передавання даних невелика – 50 біт/с. Кожен кадр складається з 5 під кадрів, які містять у собі дані для виправлення показаній годинника приймача, дані з конфігурації та працездатності бортової апаратури, а також дані ефемерид або точну інформацію про орбіту супутника що передає, а також частину даних альманаху з інформацією щодо орбіт усіх супутників групировки. У приймачеві дані ефемерид кожного супутника використовуються для визначення просторого розміщення супутника, а дані часу передачі для виправлення показаній годинника приймача, необхідних для обчислювання місцезнаходження приймача. Ці дані містяться у перших трьох під кадрах, тому приймач має отримати необхідні дані мінімум за 16 с (у гіршому випадку за 30с). Як вказано на Рис.1, сформована послідовність кодів навігаційних повідомлень сумується по модулю 2 з кодом C/A та кодом P і далі подаються на модулятор несучих L1 та L2. При цьому модуляція кодом C/A змішаною з кодами навігаційних повідомлень провадиться для несучої L1, яка є зсунутою по фазі на 90 град. ,на відміну від модуляції несучої L1 кодом P теж змішаної з тими же кодами навігаційних повідомлень, але без зсуву несучої по фазі (дивись Рис.1). це необхідно для подальшого розділення цих сигналів в приймачеві GPS за допомогою квадратурного фазового детектору. В приймачеві інформація з навігаційних повідомлень у вигляді 25 кадрів (сторінок, дивись навігаційні повідомлення GPS) відокремлюється за рахунок відповідної обробки несучих L1, L2 та передається в блок навігаційних повідомлень. При цьому у модульованій несучій залишається тільки модуляція кодами C/A та P і такий очищений модульований сигнал поступає в блок кореляційної обробки. Порядок розташування інформації щодо навігаційного повідомлення GPS, наведено на Рис.2 [2].

Додатковий блок обробки, який включається до складу приймача ГНСС GPS з ціллю виявлення, синхронізації зі сигналом спуфінгу і подальшим його придушенням. В Додатковому блоці обробки, який включається до складу приймача ГНСС GPS, використовується сигнал коду C/A після його очищення від кодів навігаційних повідомлень на несучій частоті L1 (Дивись: Навігаційне повідомлення GPS) . Цей сигнал створюється на виході квадратурного фазового детектору, який є складовою частиною стандартного приймача GPS. Далі в приймачеві ця інформація з навігаційних повідомлень

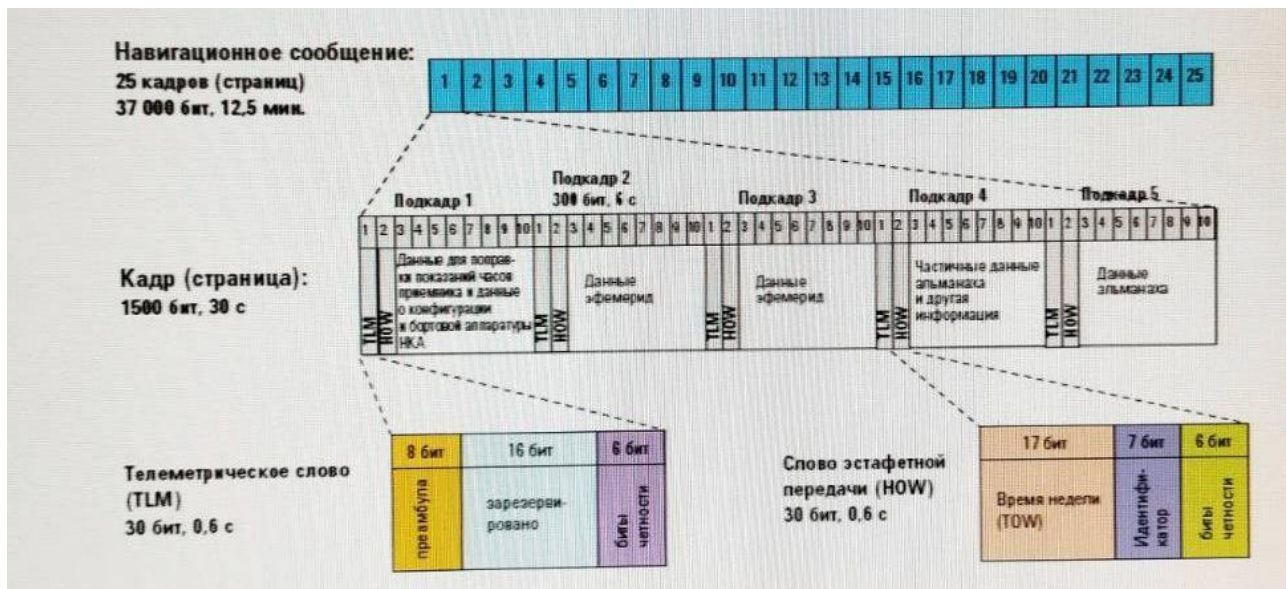


Рисунок 2

відокремлюється за рахунок відповідної обробки несучих L1 та передається в блок навігаційних повідомлень. При цьому у модульованій несучій залишається тільки модуляція кодами C/A та P і такий очищений модульований сигнал поступає в Додатковий блок обробки (у нашому випадку, що розглядається, мається на увазі тільки сигнал модульований кодом C/A). Далі на основі статистичних оцінок потужності і доплерівського зсуву частоти сигналу щодо відношення сигналу, який аналізується щодо належності до класу спуфінгових (у разі необхідності допустимо додавати аналіз деяких додаткових параметрів) сигнал підлягає синхронізації за допомогою даних, які одержуються з блоку навігаційних повідомлень і з блоку кореляційної обробки сигналів коду C/A і далі відповідної фільтрації з ціллю його придушення. Відповідні алгоритми фільтрації наведені на Рис. 3, Рис.4.

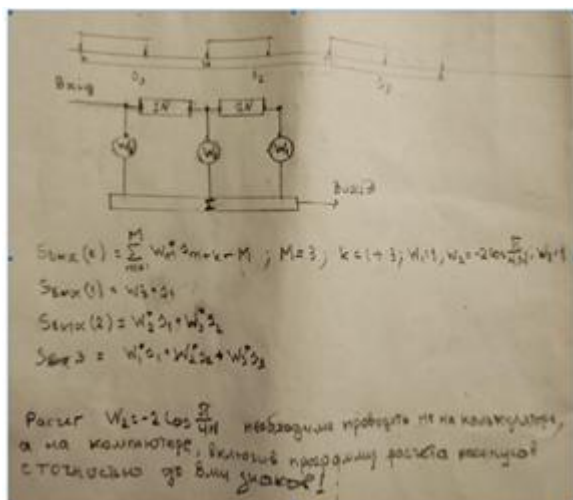


Рисунок 3

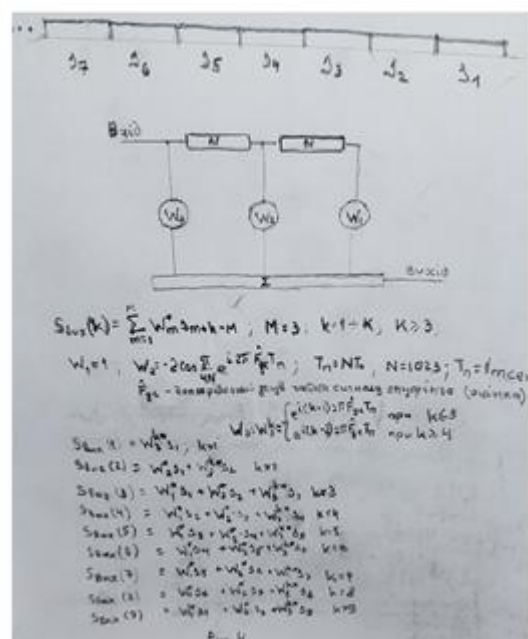


Рисунок 4

На Рис. 3 наведено алгоритм функціонування нашої першої розробки захисту від сигналу спуфінгу від наземних РЕ Б (Радіо Електронних засобів Боротьби), які на перших етапах не використовували при формуванні сигналів спуфінгу зсув доплерівської частоти, які мають реальні супутникові сигнали, а формували тільки сигнали підвищеної потужності на основі відповідних C/A кодових конструкцій в бібліотеці CDMA GPS, у суміші з кодом навігаційних повідомлень без додавання доплерівського зсуву частоти несучій (частота доплерівського зсуву дорівнює нулю) на відміну від несучих, які випромінюються реальними супутниками. При цьому, як було обговорено вище, далі в приймачеві ця інформація з навігаційних повідомлень відокремлюється за рахунок відповідної обробки несучих L1 та передається в блок навігаційних повідомлень. Деякі дані з блоку навігаційних повідомлень і з блоку кореляційної обробки C/A сигналів беруться для синхронізації сигналу спуфінгу. Далі сигнал спуфінгу в суміші з корисними сигналами від супутників попадають на фільтр обробки з ціллю придушення сигналу спуфінгу Рис. 3. На рис. 3 демонструється, що фільтр обробки є працездатним при усякому періоду повторення кодових конструкцій C/A, які є кратні часовій протяжності коду C/A. Зокрема на Рис. 3 наведено випадок коли період повторення кодових конструкцій у двічі перевищує часову довжину коду C/A. Хоча для ГНСС GPS період повторення кодових конструкцій C/A співпадає з часовою протяжністю коду C/A (Дивись: Сигнал, що передається супутниками GPS). Тому усі розрахунки ефективності фільтру обробки згідно алгоритму, який представлений на Рис. 3 і далі для алгоритму на Рис. 4 провадилися саме для сигналу з таким періодом повторення кодових конструкцій C/A і зображення такого сигналу надається на Рис. 4. З урахуванням цього було проведено дослідження фільтру обробки згідно алгоритму який, який представлений на Рис. 3 відносно його можливостей придушення сигналу спуфінга від наземного РЕ Б першого покоління. Для цього були розроблені комп'ютерні програми розрахунку сигналів на виході фільтру обробки, на вхід якого подаються радіосигнали C/A кодових конструкцій у вигляді суміші сигналів від РЕ Б з нульовою доплерівською частотою і сигналами від супутників з відповідним доплерівськими зсувами частот (корисні сигнали). Амплітуда сигналу спуфінгу дорівнювала 10, а амплітуда корисних сигналів обиралась рівною 1.

$$S_{out}(k) = \sum_{m=1}^M W_m^* s_{m+k-M}; \quad M = 3; \quad k = 1 \div K; \quad K \geq 3; \quad W_1 = 1;$$

$$W_2 = -2 \cos \frac{\pi}{4N}; \quad W_3 = 1;$$

$s_1; s_2; s_3; s_4; s_5; \dots$ періодично повторюючись радіосигнали псевдовипадкових послідовностей [5] на основі C/A кодових конструкцій (кодів Голда), кожен із котрих складається з $N = 1023$ імпульсів. При цьому кожен супутник використовує свої коди, так як у ГНСС GPS застосовується кодовий принцип розділення сигналів от різних супутників (CDMA). $S_{out}(1) = W_3^* s_1$; $S_{out}(2) = W_2^* s_1 + W_3^* s_2$; $S_{out}(3) = W_1^* s_1 + W_2^* s_2 + W_3^* s_3$; $S_{out}(4) = W_1^* s_2 + W_2^* s_3 + W_3^* s_4$; $S_{out}(5) = W_1^* s_3 + W_2^* s_4 + W_3^* s_5$; ... Сигнали на виході фільтру обробки у різні моменти часу. Проведені розрахунки показали, що сигнал спуфінгу, який на вході фільтру обробки мав амплітуду 10, на виході фільтру обробки, починаючи з вихідного сигналу $S_{out}(3)$ (коли сигнал повністю заповнив фільтр обробки) отримав значення амплітуди, що дорівнює 10^{-6} і теж саме для $S_{out}(4)$; $S_{out}(5)$ і в подальшому для усіх $k \geq 3$. У той же час рівень амплітуд корисних сигналів від супутників з відповідними доплерівськими зсувами частоти, які входять до складу тих вихідних сигналів, що вказані вище, залишились практично незмінними по відношенню до того, яке вони мали на вході фільтру обробки (амплітуда 1). Таким чином фільтр обробки (1), який також наведений на Рис.3, забезпечує високий рівень

придушення сигналу спуфінга від наземних РЕ Б першого покоління, який забезпечує підвищену потужність випромінювання при відсутності доплерівського зсуву частоти. При цьому корисні сигнали від супутників з відповідними зсувами частоти проходять через фільтр обробки практично без змін в їх потужності. Однак слід зазначити, що техніка формування сигналів спуфінгу удосконалюються. Так наприклад за допомогою приймача ГНСС отримують запис сигналу від реального супутника і після цього ретранслюють отриману запис з підвищеною потужністю з використанням запису як сигнала спуфінгу, но вже з відповідним доплерівським зсувом частоти [3,4]. Для забезпечення придушення сигналу спуфінгу, при наявності у нього доплерівського зсуву частоти, за допомогою того ж самого фільтру обробки, який ми використовували для ситуацій з відсутності доплерівського зсуву частоти, що був розглянутий вище. Для цього у докладі пропонується використання додаткових операцій над вхідним сигналом, призначеним для оцінки дальності між супутником і приймачем ГНСС (C/A кодом). Так крім оцінки потужності сигналу, що використовувався у попередньо розглянутому алгоритмі для перевірки належності сигналу до класу спуфінгових, додатково оцінювати доплерівську частоту сигналу з ціллю її компенсації за рахунок відповідної обробки цього сигналу у разі виявлення його відношення до спуфінгових на основі аналізу його потужності. Цей модифікований алгоритм є універсальним так як забезпечує придушення сигналу спуфінга із задовільним доплерівським зсувом. Згідно з алгоритмом спочатку провадиться оцінка потужності вхідного сигналу з ціллю його відношення до спуфінгових в результаті відповідного аналізу, далі провадиться оцінка доплерівської частоти цього сигналу, далі провадиться компенсація цієї доплерівської частоти сигналу і далі цей сигнал разом з сигналами від інших супутників (для котрих компенсація доплерівської частоти не провадиться) попадають на фільтр обробки з ціллю придушення сигналу спуфінгу. Такий алгоритм приводить до деякої затримки у часі початок процесу придушення сигналу спуфінгу. Тому в докладі розглядається ще один універсальний алгоритм, який був запропонований авторами для забезпечення придушення сигналу спуфінга із задовільним доплерівським зсувом, що використовує оцінку потужності сигналу і доплерівської частоти, який на відміну від розглянутого вище універсального алгоритму не потребує компенсації доплерівської частоти сигналу. Це пов'язано з тим, що фільтр обробки, який використовується в такому алгоритмі забезпечує придушення сигналу спуфінгу саме на тою доплерівською частотою, що була отримана при її оцінюванні. Цей фільтр обробки наведений на Рис.4 і сигнал на виході цього фільтру має вигляд

$$S_{out}(k) = \sum_{m=1}^M W_m^* s_{m+k-M} ; M=3; (2) \quad k=1 \div K; \quad K$$

$$\geq 3; \quad W_1 = 1; \quad W_2 = -2 \cos \frac{\pi}{4N} e^{i2\pi \hat{F}_{ds} T_r};$$

$\hat{F}_{ds}$ – doppler frequency of spoofing estimation; $T_r = NT_o$ - time period of signal

$$\text{repetition; } N=1023; T_r = 1\text{msec}; W_3 = W_3^k = \begin{cases} e^{i2\pi k \hat{F}_{ds} T_r} & k < 3 \\ e^{i4\pi \hat{F}_{ds} T_r} & k \geq 3 \end{cases}$$

$$S_{out}(1) = W_3^{k*} s_1; k=1; \quad S_{out}(2) = W_2^* s_1 + W_3^{k*} s_2; k=2; \quad S_{out}$$

$$(3) = W_1^* s_1 + W_2^* s_2 + W_3^{k*} s_3; k=3;$$

$$S_{out}(4) = W_1^* s_2 + W_2^* s_3 + W_3^{k*} s_4; k=4$$

$$S_{out}(5) = W_1^* s_3 + W_2^* s_4 + W_3^{k*} s_5; k=5$$

$$S_{out}(6) = W_1^* s_4 + W_2^* s_5 + W_3^{k*} s_6; k=6$$

$$S_{out}(7) = W_1^* s_5 + W_2^* s_6 + W_3^{k*} s_7; k=7$$

В докладі розглянуті питання застосування алгоритмів розділення та придушення спуфінгових (завадових) сигналів з використанням спектральних методів розділення сигналів з урахуванням доплерівського зсуву спектру корисних сигналів від супутників, за рахунок відповідної обробки сигналів у приймачеві ГНСС.

Було проведено дослідження фільтру обробки (1) згідно алгоритму який , який представлений на Рис. 3 відносно його можливостей придушення сигналу спуфінга від наземного РЕ Б першого покоління (при відсутності доплерівського зсуву у сигналі спуфінгу). Проведені розрахунки показали високий рівень придушення сигналу спуфінгу, при цьому корисні сигнали від супутників з відповідними зсувами частоти проходять через фільтр обробки практично без змін в їх потужності. Для забезпечення придушення сигналу спуфінгу, при наявності у нього доплерівського зсуву частоти, за допомогою того ж самого фільтру обробки, який ми використовували для ситуацій з відсутності доплерівського зсуву частоти. Для цього запропоновано використання додаткових операцій над вхідним сигналом. Крім оцінки потужності сигналу, що використовувався у попередньо розглянутому алгоритмі для перевірки належності сигналу до класу спуфінгових, додатково оцінювати доплерівську частоту сигналу з ціллю її компенсації за рахунок відповідної обробки цього сигналу. В докладі розглядається ще один універсальний алгоритм, який був запропонований авторами для забезпечення придушення сигналу спуфінга із задовільним доплерівським зсувом, що використовує оцінку потужності сигналу і доплерівської частоти, який на відміну від розглянутого вище універсального алгоритму не потребує компенсації доплерівської частоти сигналу. Це пов'язано з тим, що фільтр обробки (2), який використовується в такому алгоритмі забезпечує придушення сигналу спуфінгу саме на тою доплерівською частотою, що була отримана при її оцінюванні.

Література

1. Кошевий В.М., Харченко Р.Ю., Грищенко В.В., Пашенко О.Л., Шевченко А.А. Захист приймачів Глобальної Навігаційної Супутникової Системи від кібератак. NST-24, 20-21 Листопада 2024р, Одеса 2424.
2. Тестування приймачів Глобальних Навігаційних Супутникових Систем. Рекомендації з використання. Keysight Technologies. 2015.
3. 2019-jamming-spoofing-of-gnss. INTER TANKO. 2019.
4. Julian Spravil, Chritian Hemminghaus, Merlin von Rechenberg, Elmar Padilla, Jan Bauer, Detecting Maritime GPS Spoofing Attacs Based on NMEA Sentence Integrity Monitoring, Journal of Marine Science and Engineering, 2023 , 11, 928.pp. 1-22, <https://doi.org/10.3390/jmse11050928>
5. Hans-Jurgen Zepernick, Adolf Finger. Psevdo Random Signal Processing/ Theory and Application. WILEY 2005.

ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ YOLO ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА

О.Л. Пашенко, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Зі стрімким розвитком штучного інтелекту та цифрових технологій судноплавна галузь активно змінюється в напрямі підвищення ефективності та безпеки. Важливу роль тут відіграють алгоритми комп'ютерного зору, зокрема SSD, Faster R-CNN, EfficientDet та серія YOLO, які застосовуються для виявлення суден, морського сміття, дрібних плавучих об'єктів і навіть мікроорганізмів на супутникових знімках та даних бортових камер [1-7]. **Серед цих рішень особливо вирізняється YOLOv8, яка демонструє високу точність і продуктивність, перевершуючи попередні версії та класичні двоступеневі алгоритми.** Еволюція від YOLOv1 до YOLOv8, відображена в останніх дослідженнях [8], показує поступове вдосконалення архітектур і зростання їхньої ефективності.

У цій роботі представлено результати розробки моделі штучного зору на базі YOLOv8n (You Only Look Once version 8 - nano) для розпізнавання ракурсу судна. Вибір цієї моделі обумовлений високою швидкістю розпізнавання об'єктів на обмежених обчислювальних ресурсах [8], що підходить для використання на борту суден.

Тренування моделі та оцінювання її ефективності проводилися у середовищі Google Colaboratory (Google Colab), що забезпечує виконання програмного коду на Python 3 з апаратним прискоренням на графічних процесорах. Для обчислень застосовувався GPU NVIDIA T4 із 2560 ядрами CUDA, 16 ГБ пам'яті GDDR6 та пропускну здатністю до 320 ГБ/с. Використання цього обладнання дозволило суттєво скоротити тривалість навчання моделі та підвищити ефективність обробки задач глибинного навчання.

Донавчання моделі відбувалося на власному наборі даних. Початковий набір даних складався з 925 картинок. Кожен об'єкт на картинці був поміщений в обмежувальну рамку, йому був присвоєний один з восьми ракурсів: forward, port bow, port side, starboard bow, starboard quarter, starboard side, stern, port quarter. Загальна кількість об'єктів навчальної вибірки наведена в таблиці 1. Приблизний розподіл: 70% – дані для тренування, 20% – перевірна вибірка, 10% – дані для тестування. Одна картинка могла містити декілька суден, за рахунок цього кількість об'єктів не співпадає з кількістю картинок, через це похибка в розподілі даних коливається в межах одного відсотка.

Таблиця 1. Зміна кількості об'єктів початкового та оновленого набору даних

№ класу	Назва класу	Тренування	Валідація	Тестування	Тренування	Валідація	Тестування
0	forward	105	26	17	266	70	29
1	port bow	164	42	19	291	77	64
2	port side	372	112	52	494	166	63
3	starboard bow	153	29	17	285	66	37
4	starboard quarter	109	33	13	223	65	33
5	starboard side	273	94	41	443	84	50
6	stern	72	17	6	150	49	22
7	port quarter	110	21	16	213	55	32
	negative example				68	33	14
		1358	374	181	2433	665	344

Під час підбору зображень враховувалися різні часові інтервали (день, ніч, сутінки), метеоумови (опаді, шторм), різні масштаби об'єктів, а також різноманіття типів суден і

ракурсів (див. рис.1). Зображення охоплюють глобальну географію та мають роздільну здатність не нижче 700×700 пікселів, що гарантує достатню деталізацію даних.

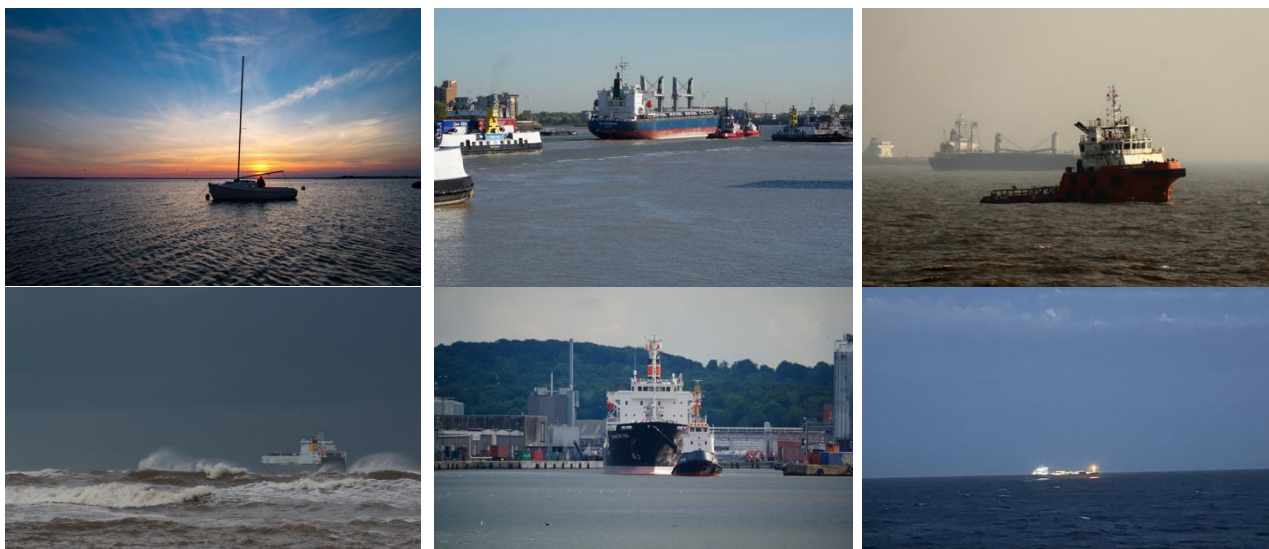


Рисунок 1. Приклади зображень з набору даних для навчання

Для навчання моделі штучного зору були виконані декілька тренувань, отриманні після них результати піддавалися аналізу та приймалося рішення щодо подальшого використання отриманих результатів. Через особливості зображень морського середовища, з 8 проведених тренувань, з використанням різних параметрів, лише 4 показали задовільний результат (див. табл. 2, 1-4 етап). На першому етапі було виконано грубе тренування, всі зображення були масштабовані до розміру за шириною 416 пікселів, що уніфікувало дані навчання. В подальшому для більш тонкого налаштування моделі, поступово розмір вхідного зображення збільшувався до 672 пікселів за шириною, що є оптимальним для YOLOv8n.

Після аналізу отриманих даних було виявлено, що модель часто плутає навколишнє середовище з реальними цілями – суднами. При наявності об'єктів на зображенні тренувана модель їх не помічала. В результаті було прийняте рішення про розширення набору даних. Оновлений набір даних складався з 1742 зображень, 115 з яких є *negative examples*, тобто зображення без анотацій, що відображають навколишнє середовище. Таблиця. 1 відображає зміни між початковим та оновленим набором даних.

З використанням оновленого набору даних були проведені останні 5 тренувань (див. табл. 2, етап 5-9). Було використано в комбінації такі види аугментації: регулювання насиченості, яскравості та відтінку, зсув та масштабування. Загальна кількість епох тренування – 445.

Таблиця 2. Результати навчання моделі штучного зору, що розпізнає ракурс судна

Показник	1 етап	2 етап	3 етап	4 етап	5 етап	6 етап	7 етап	8 етап	9 етап
Загальна кількість епох	100	20	20	25	60	60	60	50	50
Епоха з найкращими показниками	78	19	18	25	56	57	59	28	17
Втрати за межами рамки (Box loss)	0.6673 5	0.5973	0.0042 8	0.0045	0.0027 6	0.0029 7	0.00293	0.0026 5	0.0047 7
Втрати класифікації (Classification loss)	0.8892 6	0.6454	0.6759 4	0.69631	1.3077 5	1.3239 9	1.01176	0.8443 5	0.7361 9

Втрати розподільчої фокусної функції (Distribution focal loss)	0.9213 8	0.8846 1	0.9245 6	0.93709	0.7844 9	0.8135	0.80043	0.7671 8	0.6882 4
Точність (Precision)	0.2887 8	0.3605 6	0.3642 2	0.3964	0.5978 8	0.6379	0.65852	0.6791 8	0.7034 4
Повнота (Recall)	0.5167 4	0.4392 5	0.4252 8	0.41739	0.5666 7	0.5975 4	0.6397	0.6445	0.6098 2
Середня точність при порозі 0.5 (mAP50)	0.3748 1	0.3648 7	0.3500 9	0.37135	0.5984 7	0.6419 8	0.66873	0.6728 2	0.6746 7
Середня точність у діапазоні 0.5–0.95 (mAP50-95)	0.3006 6	0.2966 9	0.2850 9	0.30399	0.4774 7	0.5151 3	0.5428	0.5476 6	0.5403 6

Для оцінки ефективності моделі YOLOv8 у задачах детекції об'єктів була використана метрика середньої точності (mean Average Precision, mAP). Зокрема, застосовувалася метрика mAP@0.5:0.95, яка обчислює середнє значення Average Precision при різних порогах IoU від 0.5 до 0.95 з кроком 0.05 [9]. Такий підхід дозволяє отримати більш збалансовану оцінку якості моделі, враховуючи різні рівні суворості в локалізації об'єктів. Для аналізу проведених досліджень, після кожного етапу навчання, була обрана найкраща модель на основі параметру [mAP@0.5:0.95](#) (див. табл. 2). Отримані, в результаті дослідження, результати свідчать про точність виявлення об'єктів на рівні 0,67467 при порозі 0.5, та 0.54036 при порозі 0.5-0.95. Оскільки модель призначена для розпізнавання ракурсу судна, параметр точність (Precision) відіграє дуже важливе значення та складає 0,70344. Показник Recall характеризує здатність моделі виявляти всі об'єкти, однак не гарантує відсутність хибних спрацювань (0.60982).

На рис. 2 наведені приклади роботи моделі штучного зору на потоковому відео. Всі ідентифіковані об'єкти позначені рамкою, в лівому верхньому куті зазначений ракурс судна та вірогідність, з якою він визначається.

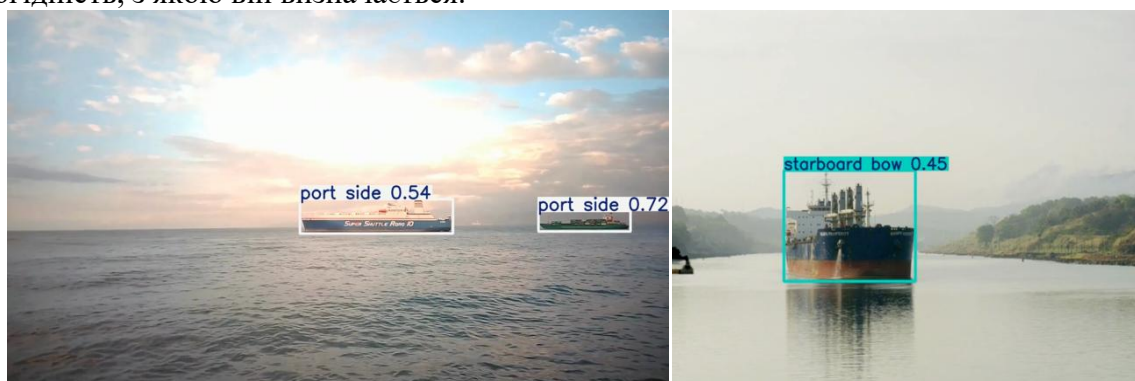


Рисунок 2. Приклад розпізнавання ракурсу суден

Висновки. У роботі представлено навчання моделі штучного зору на базі YOLOv8n на власному наборі даних, який включав 1742 зображення. Після поетапного вдосконалення моделі та розширення набору даних середня точність при порозі 0.5 (mAP50) склала 0.67467, а при порозі 0.5–0.95 (mAP50-95) — 0.54036.

Отримані результати свідчать, що обрана архітектура YOLOv8n забезпечує оптимальний баланс між швидкістю та точністю розпізнавання при обмежених обчислювальних ресурсах, що робить її доцільною для застосування на борту суден у системах навігаційної безпеки.

Розроблена модель демонструє здатність ефективно класифікувати ракурс судна та може бути використана як складова частина інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у навігаційних системах.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] B. E. Ayesha, I. Ahmad, Z. Chen, and S. Ali, "Ship detection in remote sensing imagery for arbitrarily oriented object detection using YOLOv8 and U-Net," *arXiv preprint arXiv:2503.14534*, Mar. 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2503.14534>. [Accessed: 30 July 2025].
- [2] Y. Li and S. Wang, "EGM-YOLOv8: A lightweight ship detection model with efficient feature fusion and attention mechanisms," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 13, no. 4, p. 757, Apr. 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/jmse13040757>.
- [3] J. Di, L. Sun, R. Zhang, and Q. Wu, "An enhanced YOLOv8 model for accurate detection of solid floating waste," *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, p. 1632, Jan. 2025, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10163-2>.
- [4] P. Liu, "A high-accuracy YOLOv8-ResAttNet framework for maritime object recognition," *IET Image Processing*, vol. 19, no. 3, pp. 145–157, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1049/ipr2.70085>.
- [5] B. Zhao, H. Chen, X. Liu, and J. Huang, "Modular YOLOv8 optimization for real-time UAV maritime rescue object detection," *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, p. 1158, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75807-1>.
- [6] X. Zhao and Y. Song, "Improved Ship Detection with YOLOv8 Enhanced with MobileViT and GSConv," *Electronics*, vol. 12, no. 22, p. 4666, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/electronics12224666>.
- [7] A. Haijoub, A. Hatim, A. Guerrero-Gonzalez, M. Arioua, and K. Chougali, "Enhanced YOLOv8 ship detection empower unmanned surface vehicles for advanced maritime surveillance," *Journal of Imaging*, vol. 10, no. 12, p. 303, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/jimaging10120303>.
- [8] 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>
- [9] J. Torres, "What Is mAP50 in YOLOv8? A Simple Explanation," *YOLOv8.org*, Jul. 9, 2025. [Online]. Available: https://yolov8.org/what-is-map50-in-yolov8/?utm_source=chatgpt.com. [Accessed: Oct. 4, 2025].

УДК 627.7

СКАСУВАННЯ НЕНАВМИСНОГО ЦИФРОВОГО СЕЛЕКТИВНОГО ВИКЛИКУ ЛИХА У ГМЗЛБ

Шишкін О.В., д.т.н., професор, **Пашенко О.Л.**, магістр, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ

Одним з найбільш дієвих способів здійснення оповіщень про лихо, якщо таке трапляється, в Глобальній морській системі зв'язку під час лиха та для забезпечення безпеки (ГМЗЛБ) є цифровий селективний виклик (ЦВВ) в діапазонах УКХ та ПХ/КХ радіохвиль, якій може використовуватись в усіх морських районах ГМЗЛБ в напрямках судно-судно та судно-берег на будь яких відстанях в залежності від обраної частоти виклику. Система ЦВВ (англ. Digital Selective Calling, DSC) [1] від самого впровадження ГМЗЛБ є базовою у наземному

зв'язку, яка забезпечила розвиток сучасних цифрових систем морського призначення VDES, NAVDAT. Беззаперечною перевагою ЦБВ на відміну від засобів супутникового зв'язку Інмарсат, Ірідіум та аварійного радіобуя (EPIRB) 406 МГц є те, що виклик лиха безпосередньо отримується морськими судна, які потенційно можуть швидко надати допомогу, а не як результат ретрансляції береговими станціями в системах SafetyNet, SafetyCast, NAVTEX.

Але з самого початку існування ГМЗЛБ існує проблема ненавмисного передавання викликів лиха ЦБВ та неналежного їх скасування. Резолюція ІМО MSC.514(105) від 28 квітня 2022 р. [2] закликає дослівно національні адміністрації:

.1 інформувати судовласників та моряків про наслідки зростання кількості хибних сповіщень про лихо;

.2 вжити заходів, щоб судна могли належним чином реєструвати все обладнання ГМЗЛБ, та забезпечити легкий доступ до цих реєстраційних даних для рятувальних координаційних центрів;

.3 розглянути можливість впровадження та використання національних правоохоронних заходів для переслідування тих, хто

- ненавмисно передає хибний сигнал лиха без належного скасування або не реагує на сигнал лиха через неправильне використання або недбалість;
- неодноразово та навмисно передає хибний сигнал лиха.

Актуальність проблеми ненавмисних викликів ЦБВ та їх коректного скасування, вирішення якої має бути у масштабі світового судноплавства, підкреслюється двома Резолюціями Всесвітньої Радіо Конференції стосовно процедури скасування ненавмисних викликів 2019 і 2023 років [3, 4].

Ціллю доповіді є аналіз процедури скасування ненавмисних ЦБВ лиха на основі досліджень роботи тренажеру ГМЗЛБ типу SAILOR TGS 6000 та формулювання найбільш дієвої формули скасування лиха в умовах різноманіття виробників та поколінь суднової апаратури радіозв'язку.

Застосована методика досліджень базується на наступних припущеннях:

1) Тренажер TGS 6000 побудований на основі фірмового програмного забезпечення SAILOR, яке застосоване у реальній сертифікованій Зазначений апаратурі, яка виготовляється цією ж компанією.

2) Зазначений тренажер має належну сертифікацію та виконує в точності такі ж самі функції як і відповідне обладнання.

Досліджувались наступні сценарії передавання та скасування ненавмисного ЦБВ УКХ радіостанцією SAILOR 6222 VHF DSC:

- 1) Виклик лиха на каналі 70;
- 2) Виклик лиха та його скасування програмованою кнопкою ANNUL;
- 3) Виклик лиха та його скасування шляхом вимкнення – увімкнення радіостанції (off – on).

Сценарій 1).

Зображення екрану радіостанції наведені на Рис. 1. Після ініціювання виклику лиха кнопкою DISTRESS радіостанція переходить в режим очікування підтвердження від берегової станції. За сценарієм підтвердження не було. Повторне передавання лиха може бути через 3,5 – 4,5 хвилини з випадковою затримкою в цьому інтервалі часу. Радіостанція запрошує підтвердження повторного виклику. Можлива заборона (Prohibit) повторного виклику (Рис. 1 в) програмованою кнопкою ОК. В цьому випадку радіостанція передає виклик само-скасування. Інакше виклик лиха буде повторений. Сценарій 1) може виникнути в районах А2, А3, А4, де неможливий УКХ зв'язок з береговими станціями.

Сценарій 2).

Дії вахтового помічника для скасування помилкового виклику лиха у всіх діапазонах

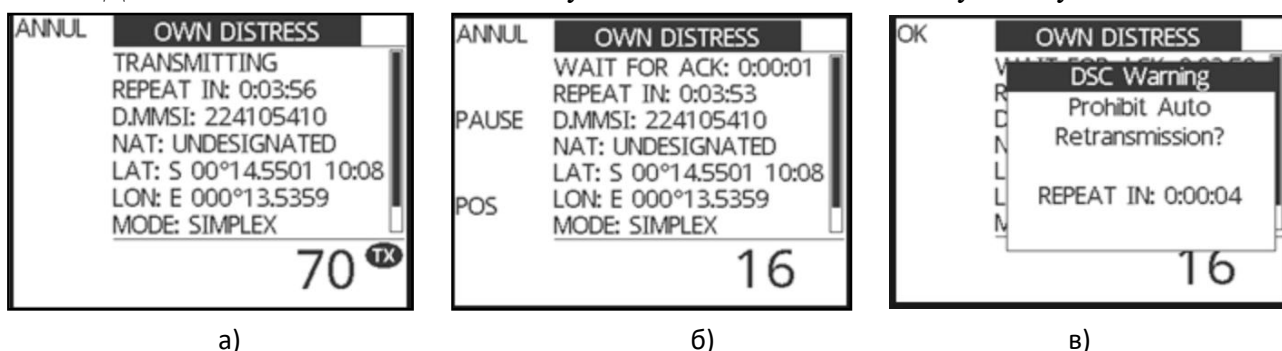


Рис. 1 – УКХ радіостанція, що передає лихо: а) передача оповіщення про лихо; б) очікування підтвердження; в) у разі відсутності підтвердження повторна відправка лиха/або заборона повторного передавання кнопкою ОК

наземного зв'язку УКХ, ПХ, КХ однакові і складаються з двох кроків:

1. Скасування за допомогою ЦВВ, якщо апаратура дозволяє це зробити [1].
2. Голосове скасування на відповідному радіотелефонному каналі (каналах).

Такий порядок введений ще з 2009 року, коли з'явилась 13-та редакція Рекомендації ITU-R M.493-13 (10/2009) Digital selective-calling system for use in the maritime mobile service. У наступній редакції 2015 року з'явився термін «Операція само-скасування у разі лиха» (Distress self-cancel operation).

ЦВВ само-скасування означає передачу підтвердження свого же виклику лиха замість берегової станції, якщо вона ще не встигла зробити підтвердження. Берегові станції можуть затримувати підтвердження виклику лиха на час до 2 ¾ хвилини від його отримання. Але, якщо берегова станція вже зробила підтвердження, то само-скасування буде неможливим.

Другим кроком після ЦВВ передавання повідомлення само-скасування, тобто підтвердження судном свого же виклику лиха замість берегової станції, має бути радіотелефонне повідомлення про скасування виклику, яке робиться у відповідних частотних піддіапазонах, де був зроблений виклик лиха.

Сучасні радіостанції застосовують автоматичні процедури для спрощення управління радіозв'язком. Якщо оператор для скасування помилкового лиха ініціює процедуру само-скасування, то підтвердження виклику лиха виконується автоматично в усіх частотних піддіапазонах, де були зроблені виклики лиха. Після ЦВВ скасування автоматично встановлюються радіотелефонні канали/частоти для здійснення голосового скасування. В радіостанціях SAILOR серії 6000 процедура скасування запускається програмованою кнопкою ANNUL як в УКХ так і в ПХ/КХ діапазонах з блоку управління радіостанцією, якщо ЦВВ підтвердження з боку берегової станції ще не було отримане.

Сценарій 3).

У сценарії 3) аналізується процедура скасування виклику лиха шляхом off – оп живлення радіостанції. Доцільність такого аналізу пояснюється зміною формулювання процедури скасування лиха за Рекомендацією 349 у версії 2024 року.

Всесвітня радіоконференція поспіль у 2019 і 2023 роках (WRC-2019 & WRC-2023) «враховуючи, що передача та ретрансляція хибних сигналів лиха є значною проблемою в ГМЗЛБ», закликала національні адміністрації:

- вжити всіх необхідних заходів для уникнення хибних сповіщень про лихо та мінімізації непотрібного навантаження на рятувальні організації та
- заохочувати правильне використання обладнання ГМЗЛБ, приділяючи особливу увагу належному навчанню.

Процедура скасування в УКХ, ПХ, КХ діапазонах сформульована таким чином [3, 4]:

RESOLUTION 349 (REV.WRC-19)

- 1) Reset the equipment immediately;
- 2) If the DSC equipment is capable of cancellation, cancel the alert in accordance with the most recent version of Recommendation ITU-R M.493;
- 3) Set to channel 16; and
- 4) Transmit a broadcast message to “All Stations” giving the ship’s name, call sign and maritime mobile service identity (MMSI), and cancel the false distress alert.

RESOLUTION 349 (REV.WRC-23)

- 1) Follow the instructions on the radio screen, if applicable, or Switch off and switch on after 10 seconds, and follow the instructions on the radio screen, if applicable;
- 2) If the digital selective-calling (DSC) equipment is capable of cancellation, start the distress self-cancel operation in accordance with the most recent version of Recommendation ITU-R M.493;
- 3) Set to channel 16; and
- 4) Transmit a broadcast message to “All Stations” giving the ship’s name, call sign and maritime mobile service identity (MMSI), and cancel the false distress alert.

По суті обидві процедури скасування у версіях WRC-2019 і WRC-2023 відрізняються тільки формулюванням першого пункту:

WRC-2019	WRC-2023
1) Reset the equipment immediately;	1) Follow the instructions on the radio screen, if applicable, or Switch off and switch on after 10 seconds, and follow the instructions on the radio screen, if applicable;

Операція Reset (Перезавантаження) у версії WRC-2019 замінена на off – on (Вимкнути – Увімкнути) операцію.

На Рис. 2 наведені зображення радіостанції для сценарію 3 (off – on).

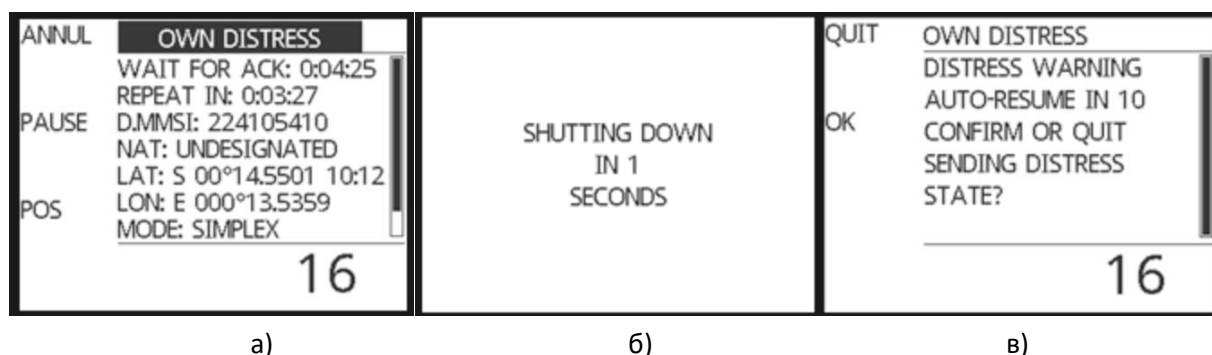


Рис. 2 – УКХ радіостанція що передає лихо: а) передача оповіщення про лихо; б) вимкнення радіостанції; в) увімкнення радіостанції, попереджувальне вікно з пропозицією продовжити або скасувати оповіщення про лихо

Після увімкнення радіостанції з'являється попередження про можливість автоматичного повторення викликів лиха (AUTO-RESUME), або припинення процедури передавання лиха (QUIT SENDING DISTRESS STATE). Подовження процедури лиха здійснюється натисканням кнопки ОК, або за таймером. У разі натискання QUIT здійснюється завершення процедури лиха. Важливо, що при цьому **передавання виклику самопідтвердження не відбувається взагалі.**

Висновки

1. Резолюція WRC-2023 [4] викликає певні сумніви через застосування процедури off – on, оскільки у разі вимикання радіостанції втрачається можливість передавання виклику само-скасування, хоча радіостанція здатна (Capable) це зробити. Пропозиція “Follow the instructions on the radio screen, if applicable,” дійсно дозволяє зробити само-скасування кнопкою ANNUL, але альтернатива (or) у вигляді “Switch off and switch on after 10 seconds” не є рівноцінною першої пропозиції тому що не дозволяє зробити само-скасування.

2. Теоретичну і тренажерну підготовку з ГМЗЛБ треба здійснювати таким чином, щоб курсант розумів сам принцип проведення процедури скасування хибного виклику лиха, а не механічно слідував узагальненим рекомендаціям.

3. Вахтовий помічник має бути знайомий з функціональними особливостями радіоапаратури, щоб у критичній ситуації обмеженого часу не допустити помилок в управлінні апаратурою.

ЛІТЕРАТУРА

1. ITU-R. (2023). Recommendation M.493-16. Digital selective-calling system for use in the maritime mobile service.
2. RESOLUTION MSC.514(105) (2022) GUIDELINES FOR THE AVOIDANCE OF FALSE DISTRESS ALERTS
3. RESOLUTION 349 (REV.WRC-19) (2019). Operational procedures for cancelling false distress alerts in the Global Maritime Distress and Safety System.
4. RESOLUTION 349 (REV.WRC-23) (2023). Operational procedures for cancelling false distress alerts in the global maritime distress and safety system.

УДК 656.61.5:33-047.44

ВИКОРИСТАННЯ ВІТРУ, ЯК ДОПОМІЖНОГО РУШІЯ В МОРСЬКІЙ СФЕРІ, АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ

Балаласєв Д.Д., курсант гр. 1501, **Козаченко О.Ю.,** старший викладач

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Вступ

Енергетична трансформація судноплавства і мета, становлена ООН, скоротити викиди парникових газів(до 0% до 2050 року) роблять вітрову допоміжну рушійну систему (wind-assisted propulsion, WAP або WASP) одним із найбільш перспективних напрямків.

WAP — це сукупність технологій, що використовують кінетичну енергію вітру для часткового або повного просування судна, знижуючи споживання палива, викиди CO₂ та інші шкідливі викиди. У доповіді розглянуто технології, останні промислові впровадження, економічні й експлуатаційні аспекти, регуляторні питання та перспективи розвитку.

1. Класифікація технологій використання роботи вітру

Роторні вітрильні системи (Flettner / Rotor Sails) Роторні вітрила — модернізована версія класичних Flettner-вітрил: вертикальні циліндри, що обертаються, створюють тягу за

принципом Магнуса. Системи встановлюються як допоміжні установки на палубі й можуть давати значну економію палива (залежно від розміру й умов — орієнтовно 5–25 %)[7]. Цей підхід активно комерціалізується.

Жорсткі крилоподібні вітрила (Wing sails / WindWings) Жорсткі крила (rigid wing sails) нагадують аеродинамічні крила: забезпечують високе співвідношення підйом/опір та дозволяють точніше керувати силою вітру. Компанії та консорціуми розробляють як окремі крилові модулі для існуючих суден, так і повністю вітрові концепти (наприклад проєкт Oceanbird/Wing 560 та інші)[6].

М'які вітрила і кайти (soft sails, towing kites / kite systems) Повітряні кайти на тросі (towing kites) можуть розташовуватися на великій висоті, де вітер стабільніший і сильніший, що підвищує ефективність. Системи такого типу були випробувані і в комерційних рейсах, однак мають особливі оперативні й погодні обмеження.

Інші рішення (гібридні — компоновки, автоматизація) Тут входять різні варіації жорстких і м'яких систем, а також інтеграція з цифровими системами планування маршруту й оптимізації для максимальної синергії між вітром і двигуном.

2. Останні впровадження та реальні комерційні проєкти

Norsepower — один з лідерів у встановленні роторних вітрил на комерційні судна; компанія повідомляє про кілька десятків встановлень і замовлень на нові одиниці, а також про заводи й сертифікацію рішень. У реальних кейсах економія палива коливається, залежно від маршруту й умов, але часто становить від декількох до понад десяти відсотків[7]. BAR Technologies розробила складні крилоподібні модулі WindWings, що вже були встановлені на кількох суднах у демонстраційних програмах. У 2025 році компанія отримала замовлення на інсталяцію WindWings на два LR2 танкери, що свідчить про перехід від випробувань до серійного застосування[6]. Проєкт Oceanbird від Wallenius/Alfa Laval позиціонує концепт великого автомобільного носія зі значною часткою вітрової тяги — використання набору жорстких крил (rigid wing sails). Демонстраційні модулі й випробування крім того дають підґрунтя для подальшого масштабування. SkySails і подібні розробники активно працюють над кайтовими рішеннями; технологія має перевагу за рахунок високої висоти польоту і стабільності вітру, але вимагає спеціального управління і безпечної інтеграції в операційні процедури.

3. Економічна доцільність

Звичайні торговельні судна, що працюють на важкому паливі (HFO або MGO), становлять більшість світового флоту, проте зростання цін на паливо та посилення екологічних вимог Міжнародної морської організації (ІМО) стимулюють пошук рішень, здатних зменшити споживання енергії та викиди CO₂. Одним із таких напрямів є впровадження систем допоміжного вітрильного руху — так званих wind-assisted ship propulsion systems (WASP), до яких належать жорсткі або м'які вітрила, крила типу WindWings, ротори Флеттнера, повітряні кайти та інші конструкції. Вони не замінюють основний двигун, а лише частково зменшують його навантаження, використовуючи енергію вітру для створення додаткової тяги.

Порівняння фінансових витрат між традиційними суднами й тими, що обладнані вітроасистованими системами, показує досить широкий спектр результатів. За даними аналітичних звітів Європейського агентства морської безпеки (EMSA) та досліджень CE Delft, середній рівень економії палива завдяки використанню вітра коливається від 2 до 22%, тоді як найбільш реалістичні середні показники для більшості маршрутів становлять близько 8–12%. У реальних експлуатаційних умовах, наприклад, на суднах, оснащених системами WindWings або роторами Флеттнера, фіксувалася економія від однієї до дванадцяти тонн палива на добу залежно від типу судна, його розміру, швидкості та погодних умов. Такі цифри безпосередньо впливають на скорочення операційних витрат, адже паливо є найбільшою складовою у структурі витрат судновласників.

Проте впровадження подібних систем потребує значних капітальних інвестицій. Вартість встановлення залежить від технології, розміру судна і складності монтажу: від кількох сотень тисяч до кількох мільйонів євро на одиницю. Попри це, багато розрахунків показують, що за сучасних і прогнозованих цін на паливо термін окупності проєктів коливається в межах двох–семи років. Цей показник є досить конкурентним порівняно з іншими методами підвищення енергоефективності флоту[3]. Економічна доцільність, однак, сильно залежить від маршруту: довгі океанські рейси з постійними попутними або боковими вітрами забезпечують найкраще співвідношення інвестицій і вигоди, тоді як короткі або прибережні рейси з мінливими вітрами часто не дають очікуваної віддачі.

Вітроасистовані системи також впливають на структуру експлуатаційних витрат. Хоча обслуговування вітрил або роторів потребує додаткового персоналу, технічного догляду та страхових витрат, загальне збільшення операційних витрат, як правило, менше, ніж економія, досягнута за рахунок скорочення споживання палива. Деякі дослідження відзначають необхідність враховувати зміну аеродинамічних характеристик судна — зокрема, вплив додаткової тяги на роботу гребного гвинта й головного двигуна. Такі технічні нюанси можуть вимагати переналаштування силової установки, але в цілому не нівелюють економічного ефекту.

Крім безпосередніх фінансових показників, вітрильні технології мають важливе регуляторне значення. Зниження викидів CO₂ на 5–20% дозволяє судновласникам покращити енергетичний індекс ефективності (EEDI/EEEXI) та скоротити податкове або квотне навантаження відповідно до майбутніх вимог ІМО і європейської ініціативи Fit for 55. У деяких випадках державні програми чи “зелені” фонди надають гранти або пільгове фінансування на встановлення таких систем, що скорочує реальний термін окупності.

Отже, порівняння показує, що традиційні судна, які спалюють лише важке паливо, мають нижчий початковий капітальний поріг, проте їх експлуатаційні витрати постійно зростають разом із цінами на паливо й вимогами до викидів. Судна з допоміжним вітрильним рухом вимагають більших інвестицій на старті, але забезпечують стабільне скорочення витрат на паливо, зменшення екологічного навантаження і кращі перспективи відповідності майбутнім стандартам енергоефективності. У більшості сценаріїв за оптимальних вітрових умов і стабільної експлуатації вітроасистовані технології дозволяють отримати позитивний фінансовий результат уже через кілька років, перетворюючи їх на одну з найперспективніших форм модернізації комерційного флоту.

4. Регуляторні та організаційні аспекти

Сертифікація потребує узгодження з DNV, ABS, Lloyd's та іншими, але останнім часом спостерігається прискорення сертифікації нових рішень. Міжнародна морська організація (ІМО) та галузеві асоціації підтримують включення вітрових технологій у стратегії декарбонізації. IWSA і подібні організації випускають білі книги та довідки[1]. Але для повноцінного впровадження вітрил необхідні нові процедури безпеки, зміни у страхуванні та навчанні екіпажу.

Висновок

Використання вітру як допоміжного рушія на морських суднах є перспективним напрямом у контексті декарбонізації та підвищення енергоефективності судноплавства. Вітроасистовані системи (WASP) — ротори Флеттнера, жорсткі крилоподібні вітрила, кайти та інші рішення — дозволяють зменшити споживання палива на 8–20%, що безпосередньо знижує експлуатаційні витрати та викиди CO₂. Попри високі початкові інвестиції, такі системи здебільшого окуповуються протягом 2–7 років і сприяють відповідності сучасним міжнародним екологічним стандартам ІМО та європейській ініціативі Fit for 55.

Переваги використання вітрил на суднах:

1. значне зменшення споживання палива (до 20%) і скорочення викидів шкідливих речовин;
2. підвищення енергоефективності судна та покращення екологічних показників;
3. зменшення залежності від коливань цін на паливо;

4. можливість отримання “зелених” грантів і пільгового фінансування;
5. покращення іміджу судноплавних компаній як екологічно відповідальних;
6. відносно швидкий термін окупності інвестицій за сприятливих умов експлуатації.

Недоліки та обмеження:

1. високі капітальні витрати на встановлення й інтеграцію систем;
2. залежність ефективності від погодних умов і маршруту плавання;
3. потреба у додатковому технічному обслуговуванні та навчанні екіпажу;
4. можливі труднощі з сертифікацією, страхуванням і змінами в організації роботи судна;
5. вплив аеродинамічних факторів на маневровість і баланс судна.

Отже, вітрові технології не є універсальним рішенням, проте в умовах глобального переходу до “зеленого” судноплавства вони стають важливою складовою гібридних рушійних систем, що поєднують економічну ефективність і екологічну стійкість морських перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. MEPC-81-INF.39 White paper on wind propulsion by Comoros, France, Solomon islands, IWSA;
2. EMSA Report Potential of wind assisted propulsion for shipping 2023;
3. Wind assisted propulsion and port call optimization for sustainable maritime transport by Maria Tornos Serrano, Paula Gonz', Martina Reche-Vilanova, Harilaos N. Psaraftis, Rojin Moradi, Seyed Parsa Parvasi;
4. <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/4/897>
5. <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/4/897>
6. <https://www.bartechnologies.uk/commercial-ships/bar-technologies-secures-first-of-its-kind-wind-propulsion-deployment-on-dual-fuel-lr2-tankers>
7. <https://www.norsepower.com>

УДК 629.5.056.8

ІННОВАЦІЇ GNSS-СЕРВІСІВ У МОРСЬКІЙ НАВІГАЦІЇ: ТОЧНІСТЬ, АВТЕНТИФІКАЦІЯ ТА ЗАХИСТ ВІД ЗАВАД

Вільганюк М.О., курсант групи 1503, керівник **Козаченко О.Ю.**, старший викладач

Національний університет «Одеська Морська Академія»(Україна)

Секція 2. Електронні комплекси судноводіння та технічна експлуатація

Вступ: Судноплавство сьогодні перетворилося на високотехнологічну сферу, де навігація вже давно не просто «GPS-пристрій», а складна система, яка має витримувати загрози, забезпечувати точність і захищеність. Актуальність теми полягає в тому, що зростання навігаційних загроз (спуфінг, джемінг), а також підвищені вимоги до точності позиціонування в зонах з обмеженою інфраструктурою роблять сучасні сервіси GNSS вирішальними для безпеки та ефективності мореплавства.

Мета: дослідити інноваційні механізми супутникової навігації, здатні підвищити точність та захист позиціонування на морі.

Об'єкт: системи супутникової навігації й їх застосування в мореплавстві.

Предмет: новітні сервіси GNSS (мовлення, автентифікація, корекційні служби), їхня функціональність та вплив на безпеку мореплавства.

Методи: аналіз технічної документації, порівняльний огляд сучасних сервісів, розгляд кейс-досліджень у морській сфері.

Новизна: розкривається роль нових функцій сигналів і сервісів (наприклад, автентифікація повідомлень, високоточні корекції, захист від завад) у морській навігації, які почали впроваджуватись протягом останніх 2023-2025 років.

I. Історична довідка

Супутникові навігаційні системи GNSS зародились вкінці XX століття, коли стало можливо створити глобальне покриття для позиціонування та синхронізації часу. З часом світ пішов від локальних систем корекції до суто глобальних, багатосигнальних сервісів, які враховують точність, стійкість і можливий вплив завад.

Стандарти Міжнародної морської організації (IMO), ICAO та інші рамки регуляції задають мінімальні вимоги до точності і доступності сигналів, але розвиток технологій уже виходить за ці рамки, і головним стає не просто виконати стандарт, а запроваджувати інноваційні механізми захисту, автентифікації та корекцій.

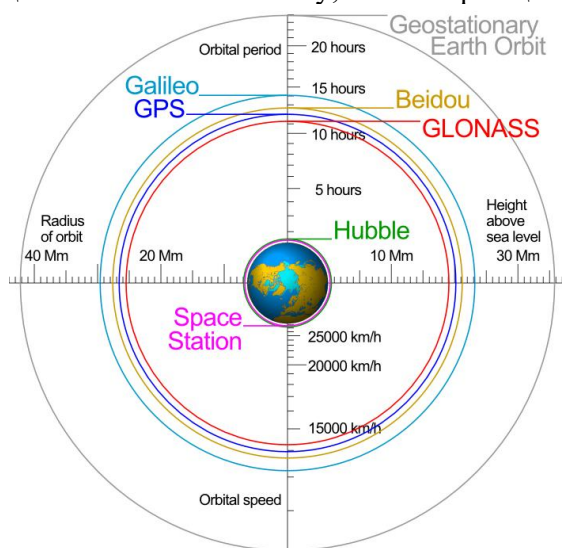


Рис. 1. Основні глобальні навігаційні супутникові системи (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) та їх орбітальні конфігурації.

Ця коротка історична основа лише показує фон еволюції, тоді як сьогоdnішній фокус спрямований на сучасні виклики і інструменти захисту та підвищення точності.

II. Технічні можливості сучасних GNSS-сервісів на морі

Серед актуальних нововведень:

- Galileo — High Accuracy Service (HAS):

HAS-сервіс уже доступний користувачам у глобальному масштабі. Має покращену точність орбіти і годинника (деталі залежать від квартального звіту Galileo Performance Reports). Однією з тенденцій є інтеграція HAS-корекцій у навігаційне обладнання для морських застосувань (maritime-приймачі). Це дозволяє суттєво зменшити похибку позиціонування на морі під час маневрів, заходу/виходу до портів.

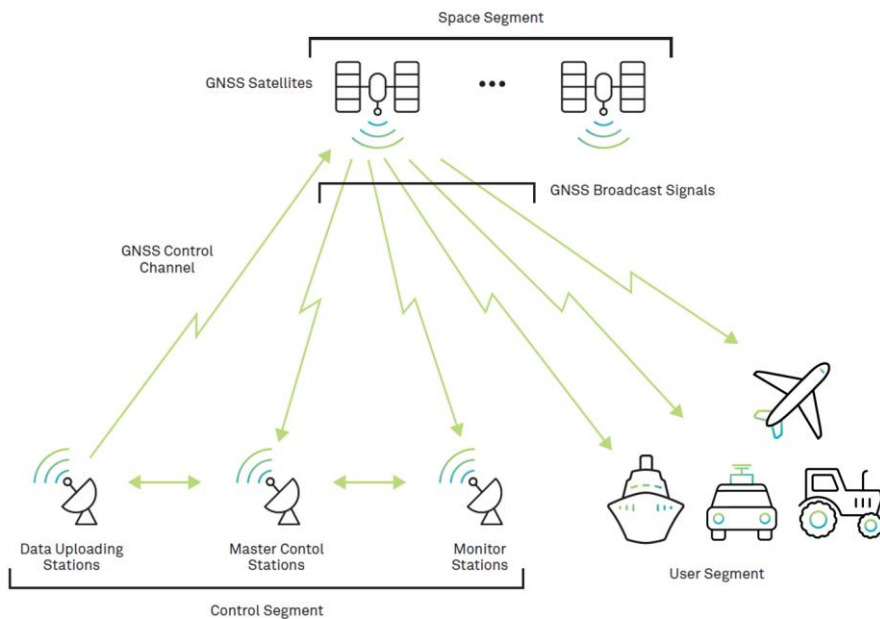


Рис. 2. Принцип роботи Galileo High Accuracy Service (HAS): передача корекційних даних через супутники без наземних станцій.

- Galileo — автентифікація навігаційних повідомлень (OSNMA):

Ця функція вже впроваджується і ставить за мету захист сигналів від спуфінгу. Автентифікація особливо актуальна у відкритому морі та в районах з можливими загрозами.

- GPS — еволюція супутників і покращення точності:

Найновіші моделі GPS (наприклад GPS Block III / III-Follow-On) передбачають підтримку нових сигналів (напрямки — L1C, L5 тощо), підвищену стабільність годинників і потенційні сервіси корекції. Також анонсується наступна хвиля супутників GPS (Block IIIF), запуск яких заплановано на кінець десятиліття (2027+).

- Стан модернізації GLONASS-K2 (за відкритими джерелами):

GLONASS-K2 — останнє покоління супутників системи, яке вводить CDMA-сигнали в кількох діапазонах (наприклад L1, L2, L3) і має можливість підвищення точності позиціонування до рівня десятків сантиметрів. Запуски нових K2-супутників продовжуються: наприклад, 3 березня 2025 року виведено космічний апарат типу GLONASS-K2 № 14L (Cosmos-2584).

У масштабах планів — запуск серії нових супутників у 2024–2030 роках з оновленими характеристиками зв'язку та точності. Також анонсується створення високої орбіти (“high-orbit segment”) для системи GLONASS із запуском першого супутника у 2025 році.

- Інтеграція GNSS з інерційною навігацією (INS) / гібридні рішення:

Сучасні морські навігаційні приймачі часто поєднують GNSS-сигнали з інерційними сенсорами (гіроскопи / акселерометри / доплер-навігаційні логи). Це допомагає підтримувати позиціонування у режимах втрати сигналу (наприклад у несприятливих умовах, при перешкодах або короткочасних перебоях). Такі рішення стають дедалі актуальнішими для автономних або напівавтономних систем суден.

- Захист від завад та інтерференції:

Є зростаюча кількість повідомлень про випадки GNSS-інтерференції / джемінгу в морських районах (наприклад порти, вузькі канали, поблизу промислових зон). Це спонукає до реалізації додаткових методів захисту: моніторинг сигналу, резервні приймачі, аналітика спотворень, моментальна перевірка достовірності сигналу (через автентифікацію чи корекційні сервіси).

III. Інтеграція GNSS у судові навігаційні комплекси

Супутникова навігація давно перестала бути ізольованою системою — вона є «серцем» більшості суднових електронних комплексів.

У сучасному судноводінні GNSS інтегрується у такі системи:

- **ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)** — GNSS визначає координати судна, а система відображає його рух у реальному часі на електронній карті. Нові версії ECDIS-систем підтримують одночасно GPS, Galileo і BeiDou, забезпечуючи безперервне позиціонування навіть за втрати сигналу однієї з систем.

- **AIS (Automatic Identification System)** — координати GNSS використовуються для передачі позиції судна, курсу, швидкості та інших параметрів до берегових станцій і сусідніх суден. Завдяки GNSS зростає точність синхронізації часу в AIS-пакетах, що дозволяє зменшити колізії в радіоканалі.

- **INS (Integrated Navigation System)** — інтегрована навігаційна система поєднує GNSS, гірокомпаси, лаги, радары, лог-датчики і забезпечує єдине навігаційне рішення. У майбутніх автономних суднах саме INS стане центральним модулем, що керує рухом судна на основі комбінованих даних GNSS-INS.

- **GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System)** — глобальна система безпеки і зв'язку використовує GNSS-координати для передачі сигналів лиха. З 2023 року сигнал Galileo SAR (Search and Rescue) офіційно підтверджує отримання сигналу від маяка EPIRB, що суттєво скорочує час реагування пошуково-рятувальних служб.

IV. Корекційні та резервні системи навігації

GNSS-позиціонування неможливо уявити без диференційних і корекційних систем.

У морській навігації їх кілька типів:

- **SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems)** — супутникові системи корекції, що підвищують точність до 1–2 м (наприклад EGNOS у Європі, MSAS в Азії). У 2024 році розпочато розробку **EGNOS v3**, який підтримуватиме сигнали Galileo E1/E5. Це перший випадок подвійної підтримки GNSS у системі SBAS.

- **Galileo HAS (High Accuracy Service)** — сервіс високоточних корекцій, який уже діє для професійних користувачів і забезпечує точність менше 0,2 м. Він не потребує окремих наземних приймачів, оскільки передає корекції безпосередньо через супутники Galileo.

- **Наземні системи DGPS (Differential GPS)** — використовують мережу берегових станцій. Хоча їхня роль зменшується, вони все ще активно застосовуються в прибережних водах і каналах.

- **Резервні технології позиціонування:**

- ❖ **eLoran** — наземна система на низьких частотах (100 кГц), яка є незалежною від супутників;

- ❖ **R-Mode** — технологія, що використовує сигнали AIS або MF-радіомаяків для обчислення позиції навіть без GNSS;

- ❖ **Terrestrial Beacon Systems** — мережі берегових маяків із високоточною фазовою синхронізацією.

Система	Точність	Покриття	Переваги	Недоліки
GPS + SBAS	1–2 м	Глобальне	Висока доступність	Обмеження у високих широтах
Galileo HAS	< 0,2 м	92% глобально	Не потребує базових станцій	Потрібен сумісний приймач
eLoran	10-20 м	Регіональне	Незалежна від супутників	Складна інфраструктура

V. Перспективи розвитку та майбутні тенденції

Світовий напрям морської навігації рухається до інтелектуальної взаємодії систем — коли GNSS лише частина великої цифрової екосистеми.

- Galileo Second Generation (G2G) — друге покоління супутників із покращеною потужністю сигналу, новими частотами (E6C, E1C) і стійкістю до завад. Перший запуск G2G очікується у 2026 р.

- GNSS Reflectometry — нова технологія, що використовує відбиті від поверхні моря GNSS-сигнали для оцінки стану хвиль і льодових умов. Уже тестується у спільних програмах ESA / NOAA (2024 р.).

- Інтеграція з автономними суднами (MASS) — GNSS слугує основним елементом системи e-Navigation, а також компонентом автоматичного маршрутизування для суден без екіпажу.

- Кіберзахист і штучний інтелект — сучасні навігаційні комплекси впроваджують алгоритми штучного інтелекту для моніторингу достовірності сигналу GNSS, аналізу затримок і визначення підроблених координат.

- Глобальні дослідницькі ініціативи 2025 р. —

- ❖ ЄС / EUSPA запустили програму Maritime Galileo Uptake 2025, що спрямована на впровадження OSNMA-та HAS-функцій у комерційні морські приймачі.

- ❖ Китай продовжує розвиток BeiDou-4, де з'являється сервіс PPP-B2b — точність до 0,1 м у морських районах Азії-Тихого океану.

- ❖ Великобританія тестує R-Mode Baltic Project, який має замінити DGPS у Балтійському морі до 2026 р.

VI. Висновок

Супутникова навігація вже давно перестала бути допоміжним інструментом мореплавства — вона стала основою безпеки, точності й ефективності судноводіння. Системи GNSS, особливо Galileo та GPS, забезпечують надійне позиціонування у будь-яких умовах, а нові сервіси — автентифікація (OSNMA), високоточні корекції (HAS) та цифровий захист сигналів — перетворюють навігацію на інтелектуальний процес.

Поєднання GNSS із системами ECDIS, AIS, GMDSS та INS дає змогу створити єдину навігаційну екосистему, де усі компоненти взаємодіють у реальному часі. Впровадження технологій R-Mode та eLogan відкриває можливість формування стійкої до завад архітектури позиціонування.

Ці нововведення є ключем до майбутнього автономного мореплавства, де людський фактор доповнюється точністю цифрових рішень.

Сучасний етап розвитку GNSS характеризується не тільки зростанням точності, а й інтелектуалізацією сигналів та захистом інформації.

Це означає, що майбутнє морської навігації — це високоточні, захищені та самонавчальні системи, які забезпечуватимуть безпеку і надійність у будь-якій точці світового океану.

ЛІТЕРАТУРА

1. Залевський П. «GNSS Performance Standards in the Maritime Domain». — Warsaw: Maritime Publishing, 2023. — 120 с.
2. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. *GNSS — Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more.* — Springer-Verlag Wien, 2019. — 516 с.
3. Monico J. F. G. *Fundamentals of Satellite Positioning.* — São Paulo: UNESP Press, 2021. — 295 с.
4. European Union Agency for the Space Programme (EUSPA). Galileo HAS Maritime Receivers Project. — 2024.
5. ESA. Galileo Second Generation (G2G) Overview. — 2024.
6. Safety4Sea. Key Measures to Mitigate GNSS Interference in Maritime Navigation.

7. NovAtel Inc. What are Global Navigation Satellite Systems (GNSS)? — 2024.
8. Galileo Service Centre (EU). Galileo Performance Reports Q3 2024. — 2024.
9. IMO. World-Wide Radionavigation System (Resolution A.1046(27)). — London: IMO, 2023.
10. GPS World. Tough Times for the Russian Navigation System. — 2025.

УДК 656:615.073

СУЧАСНІ ПОРТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МОРСЬКИХ ПОРТАХ

Кравченко С.В., курсант 5 курсу, керівник **Козаченко Ю.М.**, старший викладач

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Вступ

Порти є ключовими елементами світової транспортної системи, через які проходить понад 80 % міжнародних вантажопотоків.

Ефективність роботи порту визначає не лише швидкість доставки товарів, а й рівень інтеграції країни у світову економіку.

Сучасна портова логістика базується на принципах автоматизації, цифровізації, безпеки та екологічності, а її діяльність регулюється міжнародними конвенціями Міжнародної морської організації (IMO) та Міжнародної організації праці (ILO).

1. Організація роботи портів

Основними нормативними документами, що визначають роботу портів, є:

Конвенція SOLAS (Safety of Life at Sea, 1974) — регулює безпеку суден у порту, вимоги до вантажних операцій, стану причалів, аварійного обладнання тощо.

Конвенція MARPOL (1973/78) — встановлює правила запобігання забрудненню морського середовища від суден і портових споруд.

Конвенція про працю в морському судноплавстві (MLC 2006) — гарантує безпечні та гідні умови праці портових працівників.

Конвенція ФАЛ (Facilitation of Maritime Traffic, 1965) — передбачає спрощення формальностей і запровадження єдиного електронного вікна (Single Window) у портах.

Організаційна структура сучасного порту включає адміністрацію порту, капітанію, стивідорні компанії, митні та прикордонні служби, агентів, експедиторів і транспортні компанії. Для координації їхньої роботи впроваджуються Port Community Systems (PCS) — інтегровані платформи для обміну даними між усіма учасниками портової спільноти.

2. Вантажні операції в порту

Вантажні операції — це серцевина портової діяльності. Вони охоплюють навантаження, розвантаження, зберігання, облік і оформлення вантажів.

Основні типи вантажів:

Генеральні (тарно-штучні, контейнерні);

Насипні (зерно, руда, вугілля);

Наливні (нафта, хімічні речовини, газ);

Ro-Ro (транспортні засоби, техніка).

Для кожного типу вантажу застосовуються різні портові технології:

Контейнерні крани STS (Ship-to-Shore) та RTG/RMG — для перевантаження контейнерів;

Автоматизовані склади ASC (Automated Stacking Cranes);

Конвеєрні системи та елеватори — для зернових і сипучих вантажів;

Насосні системи, трубопроводи та системи контролю герметичності — для наливних вантажів;

Ro-Ro рампи та швартовні системи з гідравлічним регулюванням — для автомобільних перевезень.

Згідно з Міжнародним кодексом з безпеки портових споруд (ISPS Code), усі операції мають проводитись з дотриманням правил безпеки: контроль доступу на причали, відеоспостереження, перевірка вантажів і суден.

Для обліку та управління використовується TOS (Terminal Operating System) — програмний комплекс, який координує розміщення контейнерів, планування кранів, рух техніки та оформлення документів.



Рисунок 1. Контейнерні крани STS



Рисунок 2. Автоматизовані склади ASC (Automated Stacking Cranes)



Рисунок 3. Ro-Ro рампи

3. Логістичні ланцюги доставки вантажів

Порт є центральною ланкою глобального логістичного ланцюга.

Типовий маршрут доставки вантажу включає:

Виробник → внутрішній транспорт → порт відправлення → морський транспорт → порт призначення → дистриб'ютор / споживач.

Для підвищення ефективності логістичних ланцюгів порти впроваджують такі технологічні рішення:

Інтермодальні термінали, що забезпечують швидке перевантаження між різними видами транспорту;

Системи GPS/GIS моніторингу руху вантажів;

Електронний документообіг (EDI, e-BL) — електронні коносаменти та митні декларації;

RFID-мітки та QR-коди для автоматичної ідентифікації контейнерів;

Blockchain-системи для захисту комерційних даних і прозорості логістичного ланцюга.

Ключовим принципом сучасної портової логістики є Just-In-Time — доставка вантажів точно вчасно, без накопичення надлишкових запасів.

В Європі діють вимоги ЄС TEN-T (Trans-European Transport Network), які визначають стандарти розвитку мультимодальних транспортних коридорів і логістичних хабів.

Українські порти (Одеса, Південний, Чорноморськ, Миколаїв) активно інтегруються у цю систему, розвиваючи інтермодальні перевезення та залізничну інфраструктуру.



Рисунок 4. Інтермодальні термінали



Рисунок 5. RFID-мітки та QR-коди

4. Автоматизація та цифровізація портових процесів

Основні напрямки автоматизації:

Port Management Systems (PMS) — централізовані системи управління портом, що координують роботу терміналів, планування суден і логістику.

IoT (Internet of Things) — сенсори для контролю стану контейнерів, температури, вологості, навантаження техніки.

AI та Big Data-аналітика — прогнозування пікових навантажень, оптимізація розкладів і управління персоналом.

Digital Twin Port — створення цифрової копії порту для моделювання логістичних потоків у реальному часі.

Smart Gate Systems — автоматичний контроль доступу автотранспорту на територію порту.

Cybersecurity Solutions — системи захисту інформаційних мереж від кібератак, відповідно до рекомендацій IMO 2021 Cyber Risk Management Guidelines.

5. Екологічні та безпекові стандарти портів

Основні документи, що регулюють ці питання:

MARPOL Annex I–VI — попередження забруднення нафтою, хімічними речовинами, стічними водами, сміттям і викидами в атмосферу;

ISPS Code (International Ship and Port Facility Security Code) — визначає заходи із запобігання терористичним загрозам у портах;

ILO 152 — безпека та гігієна праці в портах;

ISO 28000 — система управління безпекою ланцюгів постачання;

Green Port Policy — концепція «зеленого порту», спрямована на енергоефективність, використання відновлюваних джерел енергії та скорочення шкідливих викидів.

Важливим напрямом є електрифікація портових механізмів, застосування shore power systems (Onshore Power Supply) — подача електроенергії до суден від берега для зниження забруднення під час стоянки.

Висновок

Впровадження систем PCS, TOS, PMS, технологій IoT, AI, Big Data та Blockchain сприяє оптимізації вантажних операцій, спрощенню документообігу та покращенню взаємодії між учасниками логістичного ланцюга.

Дотримання міжнародних стандартів SOLAS, MARPOL, ISPS Code, ILO 152, ISO 28000 забезпечує єдину систему безпеки й екологічного контролю, а концепція «зеленого порту» — сталий розвиток галузі.

Для України розвиток таких технологій є стратегічним кроком до модернізації портів, інтеграції у європейську транспортну мережу TEN-T та зміцнення позицій на світовому ринку морської логістики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проблеми та завдання розвитку портової логістики в Україні. // «Розвиток систем управління та логістики». [https://www.daemmt.odessa.ua/index.php/daemmt/article/view/259/226]
2. Морська портова галузь України: сучасний стан, проблеми та перспективи реформування. — Науковий журнал «Економіка та держава» [https://www.researchgate.net/publication/349745212_MORSKA_PORTOVA_GALUZ_UKRAINI_SUCASNIJ_STAN_PROBLEMI_TA_PERSPEKTIVI_REFORMUVANNA_MARINE_PORT_INDUSTRY_OF_UKRAINE_CURRENT_SITUATION_PROBLEMS_AND_PERSPECTS_OF_REFORM]
3. International Maritime Organization (IMO). SOLAS – International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974. [https://www.imo.org/en]
4. United Nations. United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS), 1982. [https://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/UNCLOS-TOC.htm]
5. Smart port: a systematic literature review [https://etrr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-023-00581-6]
6. United Nations Digital Library System [https://digitallibrary.un.org]
7. UNCTAD. Review of Maritime Transport 2023. – Geneva: United Nations Conference on Trade and Development. [https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023]
8. European Maritime Safety Agency (EMSA). Annual Report 2023: Maritime Safety and Environmental Protection in EU Ports. – Lisbon, 2024. [https://www.emsa.europa.eu/publications/reports/item/5052-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents.html]
9. Українське та міжнародне морське право. – Навчальний посібник.

УДК 656.61:004.9 (063)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ У СУДНОПЛАВСТВІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кропив'янський В.С., курсант групи 1403

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Судноплавство є однією з ключових складових світової транспортної системи, яка забезпечує понад 80% міжнародної торгівлі. В умовах зростання обсягів перевезень, підвищення вимог до екологічності та безпеки, важливим завданням стає підвищення ефективності транспортних процесів. Одним із головних напрямів розвитку сучасного флоту є цифровізація — впровадження цифрових технологій, систем автоматизації, аналітики даних та інтелектуальних рішень у всі етапи судноплавної діяльності.

Цифрова трансформація судноплавства. Використання цифрових технологій поступово змінює всі етапи транспортного процесу – від планування рейсу до вивантаження вантажу в порту.

На сучасних судах встановлюються **автоматизовані навігаційні системи** (ECDIS, ARPA, AIS), які об'єднують дані з радарів, супутників і сенсорів, допомагаючи судноводію приймати точні рішення навіть у складних умовах.

Технологія **Інтернету речей** (IoT) робить судна «розумними». Велика кількість сенсорів передають інформацію про стан двигунів, паливні витрати та погодні умови в реальному часі. Це дозволяє екіпажу контролювати технічний стан судна й запобігати поломкам до того, як вони стануть критичними.

Зібрані дані обробляються за допомогою **Big Data** — систем, здатних аналізувати величезні обсяги інформації. Такі системи допомагають прогнозувати погодні зміни, вибирати найкоротші маршрути та скорочувати витрати на паливо.

Важливу роль також відіграє **штучний інтелект** (AI), який навчається на попередніх рейсах і може пропонувати найефективніші рішення щодо курсу, швидкості або енергоспоживання.

Цифрові рішення для логістики та портів

Цифровізація охопила не лише судна, а й порти. **Системи Smart Port** автоматизують процеси швартування, оформлення документів і контролю вантажопотоку. Завдяки цьому судно проводить у порту менше часу, а витрати компаній скорочуються.

Також поширюється використання **хмарних платформ і супутникового зв'язку**, які дозволяють судновласнику віддалено контролювати рух флоту, споживання палива та виконання рейсів у реальному часі.

Переваги цифрових технологій

1. Зниження витрат — оптимізація маршрутів і витрати палива зменшує собівартість перевезень.
2. Безпека плавання — автоматизовані системи скорочують ризик людських помилок.
3. Оперативність логістики — цифрові порти прискорюють документообіг і вантажні операції.
4. Екологічна стійкість — контроль енергоспоживання допомагає скоротити шкідливі викиди.
5. Прозорість управління — дані з усіх суден зберігаються в єдиній системі, що дозволяє керівництву компанії бачити ситуацію в реальному часі.

Приклади цифрових технологій у судноплавстві

Сфера застосування	Технологія/система	Результат
Навігація та управління курсом	ECDIS, ARPA, INS, GPS	Підвищення точності навігації, зниження ризику аварій
Технічний стан судна	IoT, телеметрія, Smart Engine Monitoring	Своєчасне виявлення несправностей, економія палива

Аналітика рейсів	Big Data, AI	Оптимальні маршрути, прогнозування затримок
Логістика та документообіг	Smart Port, Blockchain	Автоматизація процесів, менше часу в порту
Зв'язок та управління флотом	Хмарні платформи, супутникові сервіси	Віддалений контроль, централізоване управління
Екологічна ефективність	Енергомоніторинг, цифрові двійники	Скорочення викидів CO ₂ , ефективне використання ресурсів

Проблеми впровадження цифрових технологій

Попри очевидні переваги, судноплавна галузь стикається з низкою проблем. По-перше, **висока вартість цифрового обладнання** і програмного забезпечення стримує впровадження інновацій, особливо у старих флотах. По-друге, існує **нестача фахівців**, які розуміються одночасно у судноводінні та ІТ-технологіях. Не менш важливою є **проблема кібербезпеки** — сучасні судна підключені до мережі, тому стають потенційними цілями для хакерських атак. Також гостро стоїть питання **уніфікації міжнародних стандартів**, адже різні компанії використовують несумісні системи.

Висновок

Цифрові технології поступово стають основою розвитку сучасного судноплавства. Інтеграція систем автоматизації, аналітики даних, штучного інтелекту та “розумних портів” забезпечує підвищення ефективності, безпеки та екологічності транспортних процесів.

Впровадження таких рішень відкриває шлях до створення інтелектуального флоту та автономних суден майбутнього, де управління здійснюється на основі точних даних у реальному часі.

Отже, цифровізація є ключовим напрямом модернізації морського транспорту та запорукою його стабільного розвитку в умовах глобальних змін.

УДК 621.396.932

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ ДЛЯ СУДНОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ РЛС Х-ДІАПАЗОНУ

В.І. Купровський, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Анотація: розглянуто методику визначення необхідного співвідношення сигнал/шум при виявленні флуктуючої некогерентної пачки імпульсів судовими навігаційними імпульсними РЛС Х-діапазону. Зроблено порівняльну оцінку цього показника для РЛС різних виробників, сформульовано висновки про можливі способи його зменшення.

Ключові слова: співвідношення сигнал/шум, інтервал кореляції, швидкі флуктуації, радіолокаційна інформація, некогерентне накопичення, ймовірність помилкової тривоги, чутливість приймача.

Вступ. Сучасні морські навігаційні РЛС (НРЛС) Х-діапазону забезпечують ефективне і надійне виявлення і визначення координат морських цілей на основі обробки первинної радіолокаційної інформації (РЛІ). Виявлення цілей з заданою ймовірністю забезпечується

технічними та експлуатаційними характеристиками НРЛС [1, 2]. Більшість морських НРЛС завдяки їх конструктивним особливостям працюють з фіксованим періодом повторення некогерентних зондуючих імпульсів. В цих умовах одним із важливих показників для оцінки якості їх роботи стає необхідне співвідношення сигнал/шум.

Актуальність досліджень. У найбільш загальному випадку якість виявлення цілі залежить від величини перевищення корисного сигналу над рівнем шуму (перешкоди). Одним із важливих показників якості радіолокаційного виявлення є необхідне співвідношення сигнал/шум q (SNR – Signal-to-Noise Ratio). При вирішенні задачі виявлення із заданими ймовірностями правильного виявлення D та помилкової тривоги F цей показник бажано мати мінімальним. Найкращі якісні показники виявлення можуть бути отримані лише за допомогою оптимальної обробки сигналів. Зважаючи на те, що сучасні морські радары реалізують не оптимальну обробку радіолокаційної інформації (РЛІ), значення їх q перевищують аналогічний показник для систем з оптимальною обробкою. Однак завдяки впровадженню високоефективних технологій обробки РЛІ, гнучких алгоритмів формування зондуючих сигналів вдається отримати значення q досить близькі до систем з оптимальною обробкою.

Постановка задачі. У статті розглянуто методику визначення необхідного співвідношення сигнал/шум при обробці некогерентної пачки імпульсів для суднових НРЛС Х-діапазону. Як приклад вибрано чотири станції різних виробників, що мають близькі характеристики [5,6,7,8]: FURUNO FR-8122, Bridge Master E, JRC JMA-7110-6XA, KODEN MDC-5212.

Результати досліджень. Виявлення цілей проводиться в області простору, обмеженої заданим тілесним кутом ψ та діапазоном дальностей від R_{min} до R_{max} . Для суднових НРЛС $\psi = 360^\circ$ та число кутових елементів огляду n в горизонтальній площині дорівнює $n = \frac{\psi}{\theta}$, де θ – ширина спрямованості антени (ДСА) в горизонтальній площині.

Якщо час періоду огляду позначити $T_{огл}$, то час знаходження цілі в межах ДСА в горизонтальній площині дорівнює

$$t_0 = \frac{T_{огл} \theta}{\psi} . \quad (1)$$

Сукупність імпульсів в інтервалі t_0 – пачка імпульсів, N – число імпульсів в пачці

$$N = t_0 \cdot F_{\Pi} = \frac{T_{огл} \theta F_{\Pi}}{\psi} , \quad (2)$$

де F_{Π} – частота повторення зондуючих імпульсів ($T_{\Pi} = \frac{1}{F_{\Pi}}$ – період повторення).

Більшість морських цілей можна подати у вигляді моделі, що складається з сукупності блискучих точок. Зі зміною ракурсу цілі змінюються амплітуда, фаза, частота, а також положення радіолокаційного центру. Динаміку зміни зазначених параметрів характеризують спектром або кореляційною функцією флуктуацій. Найбільш простою оцінкою швидкості флуктуацій є їх інтервал кореляції τ_k . Зазвичай вважають, що на відрізку рівному або менше τ_k , значення сигналу повністю корелювані, а значення, розділені інтервалом більше τ_k – не корелювані (незалежні при гаусових флуктуаціях). Відповідно до цього вводять число незалежних значень сигналу N_n за час t_0

$$N_n = 1 + \frac{t_0}{\tau_k} \quad (3)$$

Для наближеної оцінки τ_k можна використовувати формулу [3]

$$\tau_k \approx \frac{\lambda}{4L_{\Pi} \Omega_{\Pi}} , \quad (4)$$

де $L_{\text{ц}}$ – лінійний розмір цілі, м; $\Omega_{\text{ц}}$ – швидкість змінення ракурсу цілі, рад/с; λ – довжина хвилі, м.

Залежно від співвідношення $\tau_{\text{к}}, t_0$ та $T_{\text{п}}$, виділяють кілька типів флуктуацій пачок сигналів [4]. Так при $T_{\text{п}} \geq \tau_{\text{к}}$ ($N_{\text{н}} = N$) – швидко флуктуючий сигнал; при $T_{\text{п}} < \tau_{\text{к}} < t_0$ ($N_{\text{н}} < N$) – сигнал із флуктуацією змішаного типу.

Чим менше інтервал кореляції $\tau_{\text{к}}$, тим більше виражені швидкі флуктуації і навпаки, чим інтервал кореляції більше (відбиття від малорозмірної цілі), тим більше флуктуації змішаного типу.

Розрахунок необхідного відношення потужностей сигналу та шуму q з достатньою для практики точністю найпростіше виконувати за формулою Бартон [3]. При цьому були прийняті такі значення необхідних параметрів: ймовірність правильного виявлення $D = 0,95$, ймовірність помилкової тривоги $F=10^{-6}$; $L_{\text{ц}}=100$ м; $\Omega_{\text{ц}}=0,1$ рад/с; $\tau_{\text{к}}=0,75$ мс; $\lambda=3$ см.

$$q = q_1(D, F) - 10 \lg N + L_i(q_1, N) + L_f(D, F, N_{\text{н}}), \quad (5)$$

де $q_1(D, F)$ – відношення сигнал/шум для виявлення одного імпульсу, дБ;

$L_i(q_1, N)$ – втрати при некогерентному накопиченні, дБ;

$L_f(D, F, N_{\text{н}})$ – флуктуаційні втрати при $N_{\text{н}}$ імпульсах в пачці, дБ.

Результати розрахунку за формулою (5) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Розрахункові значення основних параметрів суднових НРЛС Х-діапазону

Шкала дальності, nm	t_0 , мс	$T_{\text{п}}$, мс	N , імп.	$N_{\text{н}}$, імп.	q , дБ	Примітки
FURUNO FR-8122						
1: 0,125 – 1,5	6,6	0,5	14	11	5,45	$T_{\text{п}} < \tau_{\text{к}} < t_0$ ($N_{\text{н}} < N$)
2: 1,5 – 3,0	8,8	0,8	11	11	6,75	
3: 3,0 – 72,0	13,0	2,0	8	8	7,71	$T_{\text{п}} \geq \tau_{\text{к}}$ ($N_{\text{н}} = N$)
BridgeMaster E						
1: 0,125 – 0,5	7,4	0,3	23	11	4,11	$T_{\text{п}} < \tau_{\text{к}} < t_0$ ($N_{\text{н}} < N$)
2: 0,5 – 3,0	14,0	0,6	22	18	4,30	
3: 3,0 – 72,0	14,0	1,3	11	11	6,35	$T_{\text{п}} \geq \tau_{\text{к}}$ ($N_{\text{н}} = N$)
JRC JMA-7110-6XA						
1: 0,125 – 0,5	12,5	0,44	28	18	3,48	$T_{\text{п}} < \tau_{\text{к}} < t_0$ ($N_{\text{н}} < N$)
2: 0,5 – 0,75		0,6	22	18	4,18	
3: 0,75 – 3,0		0,8	15	15	5,20	$T_{\text{п}} \geq \tau_{\text{к}}$ ($N_{\text{н}} = N$)
4: 3,0 – 24,0		1,3	0	10	6,75	
5: 24,0 – 72,0		1,5	9	9	7,37	
KODEN MDC-5212						
1: 0,125 – 0,5	12,5	0,38	33	18	2,88	$T_{\text{п}} < \tau_{\text{к}} < t_0$ ($N_{\text{н}} < N$)
2: 0,5 – 1,5		0,38	33	18	2,94	
3: 1,5 – 6,0		0,42	30	18	3,08	
4: 1,5 – 12,0		0,5	25	18	3,38	

5: 3,0 – 12,0		0,7	18	18	4,78	$T_n \geq \tau_k$ ($N_n = N$)
6: 3,0 – 24,0		1,0	13	13	5,90	
7: 6,0 – 64,0		1,7	8	8	8,01	

З аналізу таблиці випливає, що для всіх розглянутих НРЛС при роботі на шкалах дальності до (3 – 6) nm некогерентний сигнал має флуктуації змішаного типу, а на шкалах більше (3 – 6) nm – пачка, що швидко флюктує, і, відповідно, виявляється більше необхідне співвідношення сигнал/шум. Зі зростанням τ_k (малорозмірна ціль) сигнали з флуктуаціями змішаного типу приймаються у більшому діапазоні дальностей ($N_n < N$) і, як наслідок, зростає необхідне значення q .

Зі зростанням D і зменшенням F збільшується складова $q_1(D, F)$ у формулі (5), що призводить до зростання q . Збільшення F дозволяє знизити q , проте для цього необхідно значне підвищення чутливості приймача. Зі збільшенням N зростає $L_i(q_1, N)$, але його зростання значно менше величини $10 \lg N$, що в кінцевому підсумку призводить до зниження q .

На рис.1,2 представлені графіки залежності співвідношення сигнал/шум q для різних шкал дальностей розглянутих НРЛС: FURUNO FR-8122, Bridge Master E, JRC JMA-7110-6XA, KODEN MDC-5212. Номери шкал дальностей співпадають з даними таблиці 1.

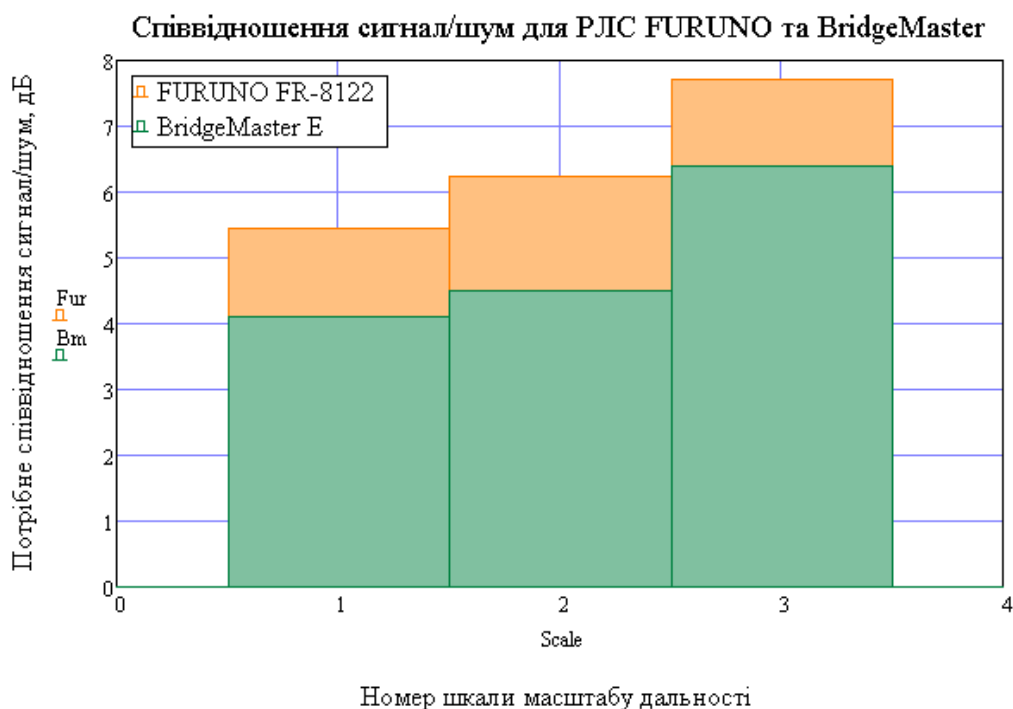


Рисунок 1. Необхідне співвідношення сигнал/шум для різних шкал дальностей НРЛС FR-8122 та Bridge Master E

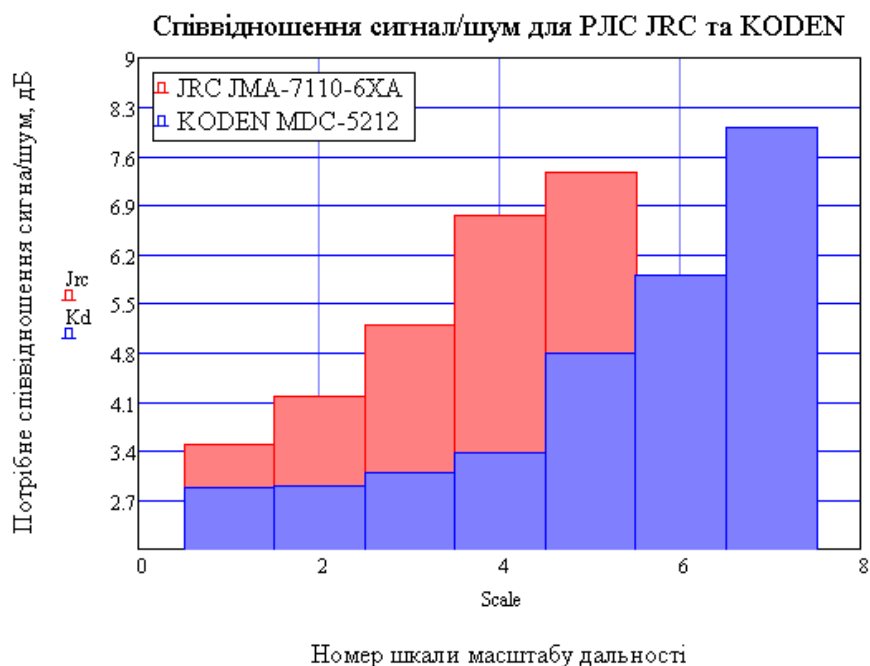


Рисунок 2. Необхідне співвідношення сигнал/шум для різних шкал дальностей НРЛС JMA-7110-6XA та MDC-5212

З їхнього аналізу випливає, що для НРЛС FR-8122 та Bridge Master E необхідне співвідношення сигнал/шум q у середньому більше, ніж для JMA-7110-6XA та MDC-5212. Однак різниця значень q для всіх шкал дальностей для FR-8122 та Bridge Master E не більше 2,3 дБ, тоді як для JMA-7110-6XA та MDC-5212 вона майже вдвічі більше і складає (4 – 5) дБ.

Висновки:

1. Порівняння необхідного співвідношення сигнал/шум q для розглянутих типів НРЛС свідчить про різний рівень їх чутливості, а з іншого боку – про можливість обробки і виявлення сигналів від цілей з заданою ймовірністю. Це особливо критично під час роботи на малих шкалах дальностей (0,125 – 3,0 нм). Так, найбільш стабільні показники за рівнем q мають НРЛС FR-8122 та Bridge Master E. Проте JMA-7110-6XA та MDC-5212 забезпечують в 1,5 – 2 рази менше співвідношення сигнал/шум на відстанях до 3 нм.
2. Зменшити потрібне значення співвідношення сигнал/шум q в некогерентних НРЛС імпульсного типу можна за рахунок зниження T_n , тобто забезпечення переважно використання некогерентного сигналу з флуктуаціями змішаного типу, коли виконується співвідношення $T_n < \tau_k < t_n$. Однак треба враховувати, що в НРЛС з фіксованим періодом повторення T_n зондуючих імпульсів при його зниженні підвищується ймовірність появи вторинних ехо-сигналів, особливо на шкалах дальностей (0,125 – 3,0) нм.
3. Потрібне співвідношення сигнал/шум значною мірою визначається флуктуаційними втратами, які можна зменшити, використовуючи:
 - формування зондуючого сигналу на декількох частотах;
 - використання швидкої перебудови частоти зондуючого сигналу;
 - використання режиму вобуляції (гнучкої зміни періоду повторення зондуючих імпульсів T_n).
4. Використання когерентної пачки імпульсів при даних умовах дає енергетичний вииграш в межах (2 – 4) дБ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Resolution MSC.192(79) (adopted on 6 December 2004): ADOPTION OF THE REVISED PERFORMANCE STANDARDS FOR RADAR EQUIPMENT
2. Recommendation ITU-R M.1313: TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MARITIME RADIONAVIGATION RADARS
3. D.K. Barton. Radar Equations for Modern Radar. – ARTECH HOUSE, Norwood: 2013. – 448p.
4. St. Rostoniec. Fundamentals of the Radiolocation and Radionavigation: Springer International Publishing AG. – 2023. – 492 p.
5. Bridge Masrer E Radar. Ship's Manual: Northrop Grumman Sperry Marine B.V., 2005. – 526p.
6. KODEN. Operation Manual MDC-5200/MDC-5500 series.: O.M.E. 0093155002-00, 2016. – 182p.
7. JMA-7110-6XA/6XAH. Instruction Manual: Japan Radio Co., Ltd. 2008. – 512p.
8. FURUNO. Operator's Manual. Marine Radar, model FR-8062, FR-8122, FR-8252: Furuno Electronic CO., LTD, 2009. – 123 p.

УДК 621.396.963.391

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ СУДНОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Лошаков М. І., *курсант гр. 1501,* **Корбан Д.В.,** *доцент, к.т.н.*

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Суднові радіолокаційні комплекси (СРК), що встановлені на судах, випромінюють електромагнітну енергію, яка не повинна перевищувати гранично допустимі рівні. Тому необхідний постійний контроль гранично-допустимих рівнів електромагнітної енергії, що опромінює площу судна. При перевищенні гранично-допустимих рівнів необхідно вживати певних заходів для їх зниження, а якщо це неможливо, то проводити заходи щодо захисту екіпажу судна від електромагнітних випромінювань. При проведенні поточного санітарного нагляду за роботою СРК перевірочними органами періодично проводяться вимірювання рівня електромагнітних випромінювань на найближчій території судна до антени СРК. Однак, такі вимірювання проводяться нерегулярно і виникає необхідність постійного контролю електромагнітних випромінювань, з використанням теоретичного розрахунку рівня опромінення екіпажу судна за технічними характеристиками СРК і певної методики розрахунку щільності потоку потужності на різних відстанях від місця розташування СРК. За вказаною методикою в даній статті був проведений розрахунок щільності потоку потужності з урахуванням множника ослаблення і діаграми спрямованості антени СРК у вертикальній площині. Виконані розрахунки показали, що граничний рівень опромінення екіпажу судна був менше порогової інтенсивності.

Ключові слова: біологічна дія, електромагнітне випромінювання, суднові радіолокаційні комплекси, рівень опромінювання, діаграма спрямованості антени, частота випромінювання антени, радіозахисні окуляри, радіозахисний одяг, генеруюча потужність.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.

Електромагнітне випромінювання суднових радіолокаційних комплексів (СРК) є потужним фізичним фактором, що викликає значні функціональні та органічні порушення нервової, серцево-судинної, кровотворної, ендокринної та інших систем організму у судноводіїв. Це обумовлено тим, що в надвисокочастотних електромагнітних (НВЧ) полях

електричні властивості живих тканин залежать від частоти випромінювання. Зі зростанням частоти випромінювання тканини людини все більше втрачають властивості діелектриків і набувають властивостей провідників, тобто зменшується діелектрична проникність тканин людини і збільшується її провідність. Живі тканини, що знаходяться в полі електромагнітного випромінювання, поведуться як напівпровідникові середовища і при поширенні НВЧ випромінювання в них від антени СРК має місце ослаблення НВЧ енергії, обумовлене її поглинанням тканинами. Теплова енергія, що виникає в тканинах, збільшує загальне тепловиділення тіла.

За даними Павлова Н.Ф., перегрівання тіла негативно позначається на стан організму людини. Так, при довжині хвилі випромінювання 3 см і частоті електромагнітного випромінювання антени СРК 10 000 МГц порогова інтенсивність становить 5 -10 мВт/м². Однак, різними авторами Канарейкіним Д.Б., Павловим Н.Ф., Потехіним В.А., Красюком Н.П., Розенбергом В.І. та ін. [1-4] встановлено, що вплив НВЧ випромінювань на живий організм виявляється і при інтенсивностях нижче порогових. Вплив надвисокочастотних електромагнітних випромінювань антен СРК викликає зміну функцій серцево-судинної системи у вигляді зниження кров'яного тиску, уповільнення ритму скорочення серця і внутрішньополункової провідності.

У процесі досліджень різних авторів впливу надвисокочастотних магнітних випромінювань на організм людини встановлено, що існує різниця в дії постійного і періодичного випромінювання. Тривалий систематичний вплив СВЧ випромінювання антеною суднової РЛС на організм людини наведеного вище діапазону хвилі при інтенсивності вище гранично допустимих може викликати у екіпажу судна головний біль, порушення сну, підвищену втомлюваність, дратівливість тощо. Функціональні порушення, викликані біологічною дією електромагнітного СВЧ випромінювання антен СРК, можуть накопичуватися в організмі людини, але є оборотними, якщо виключити вплив даного випромінювання і поліпшити умови праці судноводіїв, що і є актуальним завданням даного дослідження.

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

Захист від електромагнітного випромінювання починається з розрахунку рівня опромінення екіпажу судна СРК. При перевищенні гранично-допустимого рівня опромінення, отриманого розрахунковим шляхом, необхідно провести вимірювання НВЧ випромінювання в різних приміщеннях судна за допомогою вимірювальних засобів. Наприклад, за допомогою детектора ВЧ випромінювання НТ-М2. При включенні в робочий стан СРК судноводіям необхідно користуватися засобами індивідуального захисту - радіозахисним одягом.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою даної статті є дослідження щільності потоку потужності випроміненого антеною СРК за рівнем якого приймається рішення щодо необхідності захисту екіпажу судна при роботі СРК.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Розрахунок рівня опромінення для СРК, що має наступні технічні характеристики:

Імпульсна потужність, кВт	210
Робоча частота, МГц	10000
Частота повторення імпульсів, Гц	600
Тривалість випромінюваних імпульсів, мкс	1,0
Площа розкриття антени, м ²	5,5
Висота установки антени на судне, м	10
Коефіцієнт використання антени	0,8
Мінімальний кут випромінювання антени у вертикальній площині, град.	6,0

Методика розрахунку, затверджена органами санітарно-епідеміологічної служби.

Розрахунок щільності потоку потужності (ППМ) на різних відстанях від місця розташування антенної системи СРК для різних висот точок спостереження над водною поверхнею проводиться за формулою:

$$P = P_0 F K_1 K_2, \quad (1)$$

де P_0 – ППМ при вільній трасі (без урахування відбиття та поглинання);

F – множник послаблення, який враховує відбиття електромагнітних хвиль від морської поверхні;

K_1 – коефіцієнт, який враховує характер випромінювання;

K_2 – коефіцієнт, який враховує діаграму спрямованості антени у вертикальній площі, кут випромінювання і висоту установки антени.

Як правило, розрахунок виконується для дальностей 100, 500, 1000 та 5000 м та висот точок над водною поверхнею 2, 4, 6, 8, 10 м.

Порядок та результати розрахунків.

Розрахунок величини P_0 (мкВт/см²) виконується за формулою:

$$P_0 = \frac{100 P_i C S}{d^2 \lambda^2}, \quad (2)$$

де P_i – імпульсна потужність передатчика суднової СРК, Вт;

S – площа розкриття антени, м²;

d – дальність від антени до точки спостереження, м;

λ – довжина хвилі, м;

C – коефіцієнт використання антени (звичайно його приймають 0,8).

Результати розрахунків за формулою (2) для різних дальностей наступні:

d , м	100	500	1000	5000
P_0 , мкВт/см ²	10^7	$0,4 \cdot 10^6$	10^5	$0,4 \cdot 10^4$

Для розрахунку множника послаблення F використовується величина $d\lambda / h_1 h_2$ де d – дальність точки спостереження, h_1 – висота антени над водною поверхнею, h_2 – висота точки спостереження:

$d\lambda / h_1 h_2$	≤ 5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	≥ 5.9
F	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0

У табл.1 надані результати розрахунків величини $d\lambda / h_1 h_2$ для різних висот точок спостереження та дальностей.

Таблиця 1. Значення величини $d\lambda / h_1 h_2$ для різних d і h_2

$d, \text{м}$	$h_2, \text{м}$				
	2	4	6	8	10
100	0,15	0,075	0,05	0,037	0,03
500	0,75	0,375	0,25	0,187	0,15
1000	1,50	1,750	0,50	0,370	0,30
5000	7,50	3,750	2,50	1,870	1,50

Використовуючи дані табл.1 можна вибрати значення множника послаблення F . Стосовно до нашого випадку для всіх дальностей і висот точок спостереження множник послаблення вибирається 1,6 (зокрема точки з дальністю $d = 5000$ м та висотою $h_2 = 2$ м).

Значення коефіцієнта K_1 визначається за формулою:

$$K_1 = \frac{\tau}{T_n} = \tau F_n, \quad (3)$$

де τ – тривалість випромінюваних імпульсів;

T_n - період повторення випромінених імпульсів;

F_n - частота повторень.

Підставляючи у співвідношення (3) відповідні характеристики СРК, отримаємо $K_1 = 0.6 \cdot 10^{-3}$. Для розрахунку коефіцієнта K_2 використовується графічне відображення діаграми спрямованості антени СРК у вертикальній площі, побудоване у координатах $K_2 = f(\Delta^\circ)$.

Перехід від кута місця до куту Δ° здійснюється відповідно до співвідношення:

$$\Delta^\circ = \Delta_1^\circ \pm \varphi^\circ, \quad (4)$$

де $\Delta_1^\circ = \arctg \frac{h_2 - h_1}{d}$ (h_1 - висота антени, h_2 - висота точки спостереження);

φ° - кут випромінення енергії (знак (+) ставлять при випроміненні енергії у верхню півкулю, а знак (-) у нижню); у нашому випадку $\varphi = + 6^\circ$. Результати розрахунків Δ° для різних d і h_2 зведені у табл.2.

Таблиця 2. Значення Δ° для різних d і h_2

$d, м$	$h_2, м$				
	2	4	6	8	10
100	10°35'	9°26'	8°18'	7°9'	6°
500	6°55'	6°45'	6°28'	6°18'	6°
1000	6°29'	6°22'	6°17'	6°13'	6°
5000	6°6'	6°5'	6°4'	6°3'	6°

За даними табл.2 і графічного відображення діаграми спрямованості антени СРК у вертикальній площі отримаємо значення коефіцієнта K_2 надане у табл.3.

Таблиця 3. Значення коефіцієнта $K_2 \cdot 10^5$ для різних d і h_2

$d, м$	$h_2, м$				
	2	4	6	8	10
100	5	5	5	5	5,5
500	5	5	5	5	5,5
1000	5	5	5	5	5,5
5000	5	5	5	5	5,5

За результатами розрахунків F , K_1 , K_2 і P_0 розраховуються очікувані рівні ППМ, у відповідності з співвідношенням (1). Результати розрахунків зведені у табл.4.

Таблиця 4. Очікувані значення ППМ (мкВт/см²) для різних d і h_2

$d, м$	$h_2, м$				
	2	4	6	8	10
100	0,5	0,5	0,5	0,5	0,55
500	0,5	0,5	0,5	0,5	0,55
1000	0,5	0,5	0,5	0,5	0,55
5000	0,5	0,5	0,5	0,5	0,55

Аналіз табл.4 показує, що отримані значення ППМ для всіх точок спостереження нижче гранично допустимих норм, а тому СРК може експлуатуватися.

Висновки і перспектива подальшої роботи за цим напрямком

1. Обґрунтовано контроль рівня електромагнітного опромінення екіпажу судна при роботі СРК у час радіолокаційного спостереження навігаційних об'єктів по трасі руху судна.
2. Надано методiku розрахунку рівня опромінення для судових радіолокаційних станцій у режимі спостереження навігаційних об'єктів
3. За результатами розрахунків встановлено, що СРК не перевищує граничного рівня опроміненої НВЧ енергії за площею судна, де виконує свої обов'язки екіпаж судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коваленко В.В. Пріоритетні напрями робіт із захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко, Л.О. Левченко // Вісник КрНУ ім М.Остроградського. – 2016. – Вип. 5(100). – С. 98 –105.
2. Коваленко В.В. Актуальні проблеми захисту від випромінювань ультрависоких частот/ В. Коваленко, В. Глива, О. Тихенко // Безпека життя і діяльності на транспорті та виробництві – освіта наука, практика: зб. наук. праць III міжнар. наук.-практ. конф., м. Херсон, 13-15 вересня 2016 р. – Х: 2016. – С. 109-113.
3. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань: ДСН 239-96.-К.: МОЗ України, 1996. – 28 с. – (Державні санітарні норми України).
4. Коваленко В.В. Методологія визначення захисних властивостей електромагнітних екранів / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко // Теорія і практика будівництва КНУБА. – 2015. – Вип. 16. – С. 11–14.

УДК 656.61.052:004.45(045)

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПІЛОТНОГО СУДНОВОДІННЯ

Мартинов В., к-т групи 1407, керівник **Алексішин А.В.** доцент каф. ЕКС

Національний університет "Одеська Морська Академія", Україна

В даний час у фахівців галузі особливий інтерес викликають питання, пов'язані ні з розробкою та впровадженням роботизованих об'єктів водного транспорту (РОВТ), що функціонують за принципом безпілотного судноводіння, розглянуті у роботі . Зазначені об'єкти можуть бути розроблені для різних умов і районів плавання. У зв'язку з цим необхідно знайти конструктивні рішення низки завдань, обумовлених, у тому числі, і передбачуваним районом експлуатації РОВТ. Як свідчать перспективи ні розробки в предметній галузі, що розглядається, для побудови РОВТ досить конструктивним рішенням вважається використання автоматизованих систем управління (АСУ), що будуються на інтелектуальних сенсорах-камерах, радарах та лазерах. За допомогою подібних АСУ представляється можливим перейти до створення адаптивних напіваавтоматичних та автоматичних систем контролю руху РОВТ. Це дозволить в режимі реального часу проводити збір доступної та необхідної інформації для забезпечення необхідного рівня безпеки судноплавства: даних про погоду, транспортні потоки, навігаційні небезпеки. Обробивши інформацію, РОВТ, на основі логічних алгоритмів, повинні вибирати оптимальні та безпечні маршрути руху .

Бортові системи навігації повинні бути здатні прийняти дані з бортового обладнання, берегових систем і систем моніторингу, преобразувати і відобразити їх ергономічним способом.

Такі інтелектуальні системи повинні мінімізувати ризик чововського фактора і радикально збільшити безпеку та ефективність судноводіння.

В даний час для забезпечення безпеки мореплавання на морському та річковому транспорті використовується безліч судових та берегових систем навігації та зв'язки: автоматичні ідентифікаційні системи -AIS, електронні картографічні навігаційно-інформаційні системи теми ECDIS, інтегровані навігаційні системи INS, засоби автоматичної радіолокаційної прокладки ARPA, глобальні навігаційні супутникові системи та їх функціональні доповнення (ГНСС – GNSS, GPS), глобальна морська система зв'язку при лиху і для забезпечення безпеки GMDSS, системи дальньої ідентифікації та контролю розташування судів LRIT, системи управління рухом судів VTS, засоби навігаційного обладнання AtoN.

Однак можливості наведених систем зв'язку та навігаційних систем використовуються далеко не повністю. Ефективне вирішення завдань з управління рухом безекіпажних суден можливе тільки при комплексному використанні судових і берегових засобів зв'язку та навігації, розроблених та застосовуваних по єдиним стандартам та правилам.

Тенденції розвитку зумовлюють необхідність більш ефективного обміну великим обсягом інформації між суднами та між суднами та береговими службами. Розвиток технологій зробить ідентифікацію та точне супроводження суден за межами зон дії існуючих систем управління рухом суден, більш ефективним за допомогою систем далекого виявлення та супроводу, а також наземних та супутникових систем прийому сигналів бортових систем такої як система Старлінк.

Ідея створення інтегрованої глобальної електронної системи морської навігації давно обговорювалася в рамках заходів, що проводяться залікованими організаціями: ІМО, Міжнародною асоціацією маячних служб, Міжнародної гідрографічної організацією.

Концепція надає уніфікацію та стандартизацію обладнання, створення єдиної бази даних а використання правил та посібників з управління рухом наземними службами).

Міжнародна морська організація розробила основні документи для практичного впровадження стратегії Е-навігації, а також проробила велику роботу з реалізації плану спільних дій для її впровадження.

Зараз активні роботи з розвитку стандартів і технологій ведуться у Європейському союзі, де за допомогою грантів ЄС реалізуються науково-дослідними. проекти в галузі е-Навігації: SafeSeaNet, Monalisa, Efficient Sea та ін. В Австралії, Швеції, Норвегії, Канаді, Японії, Південній Кореї національні програми з розвитку навігації виконуються в рамках структури державних органів, відповідальних за забезпечення безпеки мореплавання.

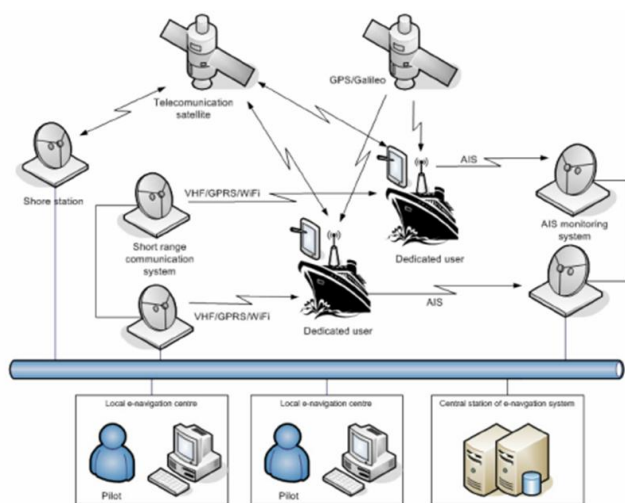


Рисунок 1 – Схема взаємодії електронного обладнання судна та клерувальних центрів .

Так, наприклад, американські фахівці проводять випробування безпілотного бойового катера «Protector» («Захисник»), (рис. 2). Катер призначений для захисту бойових кораблів

США від терористичних атак, перехоплення судів наркоторговців та контрабандистів у Мексиканській затоці та охорони нафтових платформ.

«Protector» оснащений камерами, радарми та електронним обладнанням для забезпечення сумісності коїться з іншими судами. Американська компанія Textron перейшла до виробництва повністю без екіпажного катера, який отримав назву CUSV (Common Unmanned Surface Vessel). Зазначений РОБТ призначений для виконання роботи, виконання якої можливо загрожувати життю чи здоров'ю людини (рятувальні роботи у штормових умовах, боротьба із забрудненнями навколишнього середовища та ін.). Судно може керуватися дистанційно з берега, через супутникові канали зв'язку та контролю руху.



Рисунок 2. Безпілотний катер "Protector"

Досить цікавою є розробка військово-промислового концерну Israel Aerospace Industries, що функціонує на принципах безпілотних літальних апаратів під назвою "Катана" (рис. 3). Довжина судна становить 12 м, ширина - 2,8 м, судно має два потужних двигуна, що дозволяє розвивати швидкість до 60 уз, крім того варто відзначити повністю герметичний корпус, який у поєднанні із застосованою САУ дозволяє здійснювати експлуатацію даного судна за будь-яких гідрометеорологічних умов. Обстежуючи морську територію з видаленням до 200 миль від берега, судно дозволяє контролювати ситуацію навколо портів, бурових установок для видобутку газу та нафти, газових терміналів та підводних трубопроводів, розташованих у винятковій економічній зоні. Причому «Катана» може керуватися як дистанційно, так і в автоматичному режимі. Суднові системи в режимі реального часу здійснюють виявлення, ідентифікацію та класифікацію близьких та віддалених цілей. Електрооптичні системи, що використовуються на борту «Катани», дозволяють особі, керуючому судном, дистанційно бачити як перспективу, так і конкретні цілі.



Рисунок 3. Безпілотний катер "Катана"

Канадські інженери створили та провели успішні випробування безпілотного катера БМБК (багатоцільовий морський безпілотний комплекс), керувати яким оператор може з будь-якої точки світу



Рисунок 4. Багатоцільовий морський безпілотний комплекс

За словами фахівців, БМКБ дозволяє виконувати різні завдання на відстані від берега до 360 км з автономністю 5 діб. Управління БМКБ здійснюється із використанням супутникового каналу передачі. Довжина катера складає близько 6 м, ширина 1,8 м. швидкість руху може досягати 70 вуз.

Зазначимо, що «яхтовий ринок» не лише уважно спостерігає за проектами ВПК, та бере активну участь у власних дослідницьких технологіях. У 2017 р. була спущена на воду 42-метрова гібридна яхта-тримаран «Adastra» (рис. 5), над створенням якої проєктанти трудилися понад п'ять років. На ній можуть зручно розміститися дев'ять гостей і п'ять членів екіпажу. Яхта унікальна за багатьма параметрами. У ній втілені самі передові та інноваційні технології. Корпус тримарану виконаний з надміцного карбонового волокна з елементами кевлару та скла, що значно зменшує його вагу. При довжині 42 м і ширині 16 м «Adastra» має вагу всього 52 т, що, безперечно, є значним досягненням. Максимальна швидкість судна становить 22 уз, а в економічному режимі, при досить оптимальній швидкості в 17 уз, тримаран може подолати відстань у 4000 морських миль. Основною особливістю «Adastra» є можливість управління за допомогою берегової станції.



Рисунок 5. Яхта з дистанційним керуванням

Британська інженерна компанія Rolls-Royce, одна з провідних світових постачальників судноплавної галузі, вважає, що судно без екіпажу та з дистанційним управлінням буде безпечніше і дешевше, ніж звичайне. Корпорація запропонувала нову ідею: самоврядні автоматичні вантажні кораблі, які виходитимуть у відкрите море лише за допомогою берегових диспетчерів (рис. 6). У морському підрозділі компанії вже створено віртуальний аналог командної рубки цього корабля.

Згідно з даними консалтингової компанії Moore Stephens LLP, близько 44% загальних експлуатаційних витрат при експлуатації середньостатистичного судна є заробітна плата членів екіпажу. Виникає дилема протиставлення – мати 20 членів екіпажу на борту чи п'ять у диспетчерській на березі?

Євросоюз на чолі з німецькими фахівцями бере участь у розробці нової системи автономного управління судами, що дозволяє вантажним суднам здійснювати океанські переходи без екіпажу на борту. Зазначений проєкт отримав назву «Maritime Unmanned Navigation через Intelligence in Networks» (MUNIN). На думку учасників проєкту, сучасні

технології вже в наші дні дозволяють підвищити ефективність вантажних морських перевезень та, тим самим покращити комерційну привабливість галузі. Зараз у MUNIN споруджена модель капітанського містка з навігаційними інструментами, штурвалом і кнопками керування, а також комп'ютерними моніторами, що імітують вид на океан (мал. 6).

Завдяки відеокамерам, радарам та датчикам, що реєструють температуру заборотної води та повітря, швидкість та напрям вітру, хвилювання та інші параметри, автономна система Навігація могла б самостійно визначати оптимальний курс судна. Крім того, у випадку наявності ситуації надмірного зближення судів, автоматизована система повинна визначити необхідний маневр для розбіжності, здійснити маневрування та забезпечити належний контроль при розбіжності судів. Також буде передбачена можливість віддаленого управління судном. У разі виникнення непередбачених ситуацій у морі або технічних неполадок на борту вахтова берегова служба повинна зробити адекватні дії щодо нормалізації обстановки на судні та відновлення штатного режиму плавання.

Ми пам'ятаємо, що 20 – 30 років тому екіпажі вантажних суден перевищували за чисельністю нинішні команди в 1,5 – 2 рази, і процес із скорочення мінімального складу екіпажу був завжди суперечливий і неоднозначний. Зростає навантаження на членів екіпажу, що залишилися, розподіляться обов'язки, не властиві фахівцям іншого профілю.

Таким чином, в автономному управлінні судном може бути проміжний гуманний варіант, що уможливить зниження навантаження на екіпажі та поступове скорочення їх чисельності. Зокрема, транзитні лінійні вахти можуть бути скасовані, а судно буде переходити на автономний режим або дистанційне керування з суші. Така схема є особливо важливою, потрібною та гуманною зараз, коли у сфері вантажних перевезень все ширше застосовується концепція "Slow Steaming". Вона полягає у зниженні швидкості ходу судна задля економії пального, що зменшує експлуатаційні витрати, але збільшує тривалість рейсу.

Планується, що розвиток проекту використання морських самоврядних суден буде рухатися у двох основних напрямках: на локальних ділянках - у прибережних водах та на трансокеанських маршрутах. Звичайно, при русі в портових зонах, у межах дії VTS, в районах, що обмежують можливість маневрування, потрібно мати судноводійський персонал, але на морських просторах такі судна можуть переміщатися самостійно. Економічна зацікавленість у подібних перевезеннях полягає в скороченні витрат на заробітну та збільшення вантажопідйомності судна.

Перспектива запровадження РОБТ дозволить оптимізувати екіпаж на борту РОБТ та забезпечить повну страховку від зіткнення з іншими учасниками транспортного процесу, а також надводними та підводними небезпеками.

ЛІТЕРАТУРА

1. RODSETH O. J. (2014) A SYSTEM ARCHITECTURE FOR AN UNMANNED SHIP / O. J. RODSETH, A. TJORA // PROCEEDINGS OF THE 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND IT APPLICATIONS IN THE MARITIME INDUSTRIES (COMPIT).
2. BURMEISTER H. C. (2014) AUTONOMOUS UNMANNED MERCHANT VESSEL AND ITS CONTRIBUTION TOWARDS THE E-NAVIGATION IMPLEMENTATION: THE MUNIN PERSPECTIVE / H. C. BURMEISTER, W. BRUHN, O. J. RODSETH, T. PORATHE.
3. INTERNATIONAL JOURNAL OF E-NAVIGATION AND MARITIME ECONOMY. VOL. 1.– PP. 1-13. DOI: 10.1016/J. ENAVI.2014.12.002.
4. PILLICH B. DEVELOPING E-NAVIGATION, THE EARLY STAGES / B. PILLICH. URL: [HTTP://USHYDRO.THSOA.ORG/HY07/09](http://ushydro.thsoa.org/hy07/09) PDF.
5. "ASSESSMENT OF POTENTIAL NEGATIVE IMPACT OF THE SYSTEM OF FACTORS ON THE SHIP'S OPERATIONAL CONDITION DURING TRANSPORTATION OF OVERSIZED AND HEAVY CARGOES", TRANSACTIONS ON MARITIME SCIENCE. SPLIT, CROATIA, 10(1). DOI: 10.7225/TOMS.V10.N01.009.

ВПЛИВ ЗАВАД НА МОРСЬКІ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОТИДІЇ

Прибила О. О., курсант, Пашенко О. Л., старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Морські супутникові системи зв'язку є ключовим елементом сучасного судноплавства. Вони забезпечують навігаційні сервіси, комерційний обмін даними, роботу Глобальної Морської системи Зв'язку у разі Лиха та Безпеки (ГМЗЛБ) і підтримують взаємодію між суднами, портами та береговими центрами [6]. За даними компанії Intelsat, яка є одним із провідних світових операторів супутникового зв'язку, та Kratos Defense & Security Solutions, що працює в галузі оборони, національної безпеки та космічних систем, повідомляють, що близько 40% перебоїв у роботі супутникових каналів пов'язані із завадами, ще близько 30% з атмосферними втратами у Ка-діапазоні. Зростає і кількість навмисних перешкод, випадків радіоелектронного впливу (active jamming) та підміни сигналів (spoofing) у морському секторі [9].

Основною проблемою сучасних морських супутникових систем є вплив завад, що виникають унаслідок взаємодії між орбітальними системами різних рівнів, перевантаження спектра та впливу берегових передавачів у суміжних частотах. Контроль і придушення цих завад визначають надійність глобальних каналів зв'язку, стабільність навігації й безпеку автономних суден [4].

1. Типові завади у супутникових системах морського зв'язку. Супутникові системи, що використовуються у флоті, зокрема Inmarsat, Iridium, StarlinkMaritime та OneWeb, працюють у діапазонах L, Ku та Ka, кожен з яких має власні особливості поширення сигналу і характерні види завад [4]. Серед природних чинників головним є атмосферне поглинання – атмосферні явища у вигляді дощу та снігу, іоносферні збурення, які знижують співвідношення сигнал/шум у каналі. У тропічних регіонах втрати у Ка-діапазоні можуть досягати 10-15 дБ, що призводить до короткочасних розривів зв'язку [8].

Окрему групу становлять завади техногенного походження, зумовлені взаємним впливом супутників різних орбітальних рівнів. Системи на низькій орбіті (LEO), такі як Starlink або OneWeb, можуть створювати паразитне перевипромінювання в робочих смугах геостационарних супутників (Inmarsat, Intelsat). Це, в свою чергу, ускладнює прийом сигналу судновими антенами [4,9]. У зонах інтенсивного руху суден, наприклад у портах, виникають витоки сигналів між терміналами різних суден, які працюють у суміжних каналах [9].

До зовнішніх джерел завад належать потужні берегові або мобільні передавачі, розташовані поблизу узбережжя, які можуть блокувати приймачі судових терміналів, якщо не передбачено якісне фільтрування сигналу [7]. Останніми роками дедалі більшої актуальності набуває явище кіберінтерференції – навмисне створення радіоперешкод або підміна сигналів супутників (spoofing). Це становить небезпеку для навігаційних систем суден, оскільки може викликати спотворення координат або тимчасову втрату зв'язку [2]. Таким чином, морські супутникові системи стикаються зі складною комбінацією природних, техногенних і штучно створених завад, що потребує системного контролю та використання адаптивних методів компенсації [4].

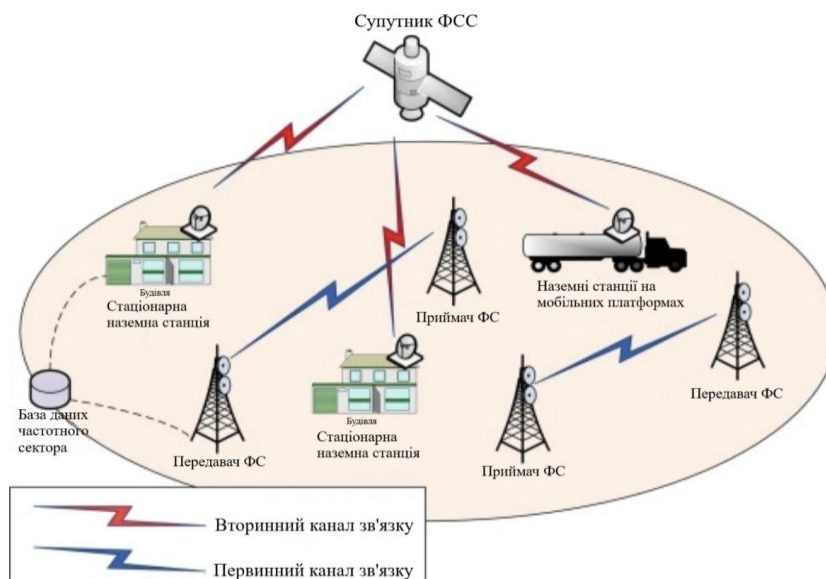


Рисунок 1. Взаємодія супутникових і берегових станцій у морських системах зв'язку та утворення завад у Ка-діапазоні

2. Контроль і протидія завадам у морських супутникових системах. Система протидії завадам у морських супутникових мережах базується на трирівневому підході – апаратному, частотному та цифровому. Кожен із цих рівнів має свої особливості в морських умовах експлуатації [1]. На апаратному рівні застосовуються стабілізовані антени з гіроскопічним утриманням напрямку, які автоматично компенсують хитаючи судна. Для зменшення впливу локальних джерел шуму – радіолокаційних станцій, AIS або ECDIS; використовуються екранування та вузькосмугові фільтри [5]. Такі рішення дають змогу підвищити стійкість приймальних трактів до перевантаження сигналом і запобігти виникненню власних паразитних випромінювань.

Частотна протидія реалізується через міжнародну координацію спектра, що регламентується стандартами ІМО та ІТУ-Р [6,7]. Це особливо важливо у районах інтенсивного судноплавства – наприклад, у Суецькому та Панамському каналах або в Південно-Східній Азії, де діапазони L та Ка активно використовуються кількома операторами одночасно [7].

На цифровому рівні використовуються алгоритми моніторингу спектра, здатні виявляти аномальні сигнали, визначати джерело інтерференції та автоматично переналаштовувати канали зв'язку. У сучасних системах Inmarsat FleetBroadband та Iridium Certus застосовуються алгоритми цифрового приглушення шуму та корекції помилок, що забезпечують стабільність передачі навіть у складних метеорологічних умовах. Методи типу FEC (Forward Error Correction) традиційно використовуються в інформаційно-текстових службах, таких як NAVTEX і радіотелекс, тоді як у супутникових мережах застосовуються вдосконалені протоколи кодування та адаптивна модуляція [9,10]. Застосування елементів штучного інтелекту для аналізу спектра дозволяє прогнозувати появу завад та мінімізувати ризик втрати зв'язку в реальному часі [3].

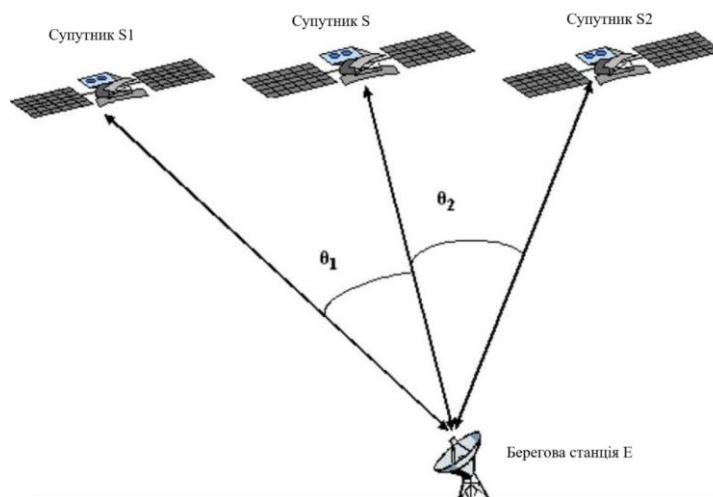


Рисунок 2. Конфігурація системи супутникового зв'язку з можливим виникненням взаємних завад між сусідніми супутниками

3. Перспективи автономності та розвитку супутникових мереж. Розвиток морських систем зв'язку спрямований на підвищення завадостійкості, автоматизацію процесів контролю сигналу та інтеграцію різних технологій у єдину мережу [5]. Одним із головних напрямів є поєднання супутникових і наземних каналів у спільному інформаційному середовищі, що забезпечує безперервний зв'язок у будь-якому регіоні. [4]

Важливим етапом модернізації морського радіозв'язку є впровадження системи VDES (VHF Data Exchange System) – технології цифрового обміну даними у діапазоні VHF (156-162 МГц), яка поєднує наземні та супутникові канали. [11] VDES розвиває можливості AIS (Automatic Identification System), дозволяючи передавати не лише ідентифікаційні, а й навігаційні, метеорологічні та службові дані між суднами, береговими станціями й супутниками.

Подальший розвиток супутникових мереж зв'язку передбачає активне використання штучного інтелекту (AI) для аналізу спектру, прогнозування появи завад та автоматичного переналаштування каналів [9]. Такі рішення вже тестуються у проектах ESA та Inmarsat, де створюються адаптивні моделі керування спектром у реальному часі. [3,5]

Крім того, розвиток автономного судноплавства потребуватиме збільшення пропускної здатності супутникових каналів та інтеграції з наземними мережами 5G і майбутніми 6G. [1,9] Це забезпечить передачу великих обсягів даних для систем керування суднами в реальному часі та дистанційного моніторингу морського транспорту [1].

Висновки. Морські супутникові системи зв'язку залишаються основою глобальної навігаційної та інформаційної інфраструктури флоту [6]. Водночас зростання кількості користувачів і обмеженість спектру призводять до підвищення рівня завад, що безпосередньо впливає на стабільність передачі даних [9]. Ефективна протидія інтерференції можлива лише за умови комплексного підходу: поєднання апаратних, частотних і цифрових методів контролю, а також міжнародної координації частотних ресурсів відповідно до стандартів ІМО та ІТУ-Р. [6,7] Застосування адаптивних алгоритмів обробки сигналів, фільтрації шумів і автоматичного моніторингу спектру суттєво підвищує стійкість морських систем зв'язку [9].

Перспективи розвитку галузі пов'язані з використанням штучного інтелекту для прогнозування завад і саморегулювання каналів у реальному часі [3,11]. Такі рішення формують передумови для переходу до повністю автономного судноплавства та розширюють можливості морських комунікаційних мереж наступного покоління [1,9].

ЛІТЕРАТУРА

1. DNV GL. (2022). Autonomous and Remote- Operated Ships - Communication and Cyber-Interference Challenges. Oslo: DNV GL.
2. DNV. (2021). Cyber-Interference Challenges in Maritime Navigation Systems. Bergen: DNV Research Report.

3. European Space Agency (ESA). (2022). Artificial Intelligence for Space Communications. Paris: ESA Publications.
4. European Space Agency (ESA). (2022). Satellite Spectrum Management for Maritime Services. Paris: ESA Publications.
5. Inmarsat Ltd. (2020). FleetBroadband Installation and Stabilization Manual. London: Inmarsat Technical Documentation.
6. International Maritime Organization (IMO). (2022). Modernization of the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS). London: IMO.
7. International Telecommunication Union (ITU). (2021). Radio Regulations, Edition of 2020. Geneva: ITU.
8. International Telecommunication Union (ITU-R). (2017). Recommendation ITU-R P.618-13: Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Earth-Space Telecommunication Systems. Geneva: ITU.
9. Kratos Defense & Intelsat. (2023). Global SATCOM Interference Trends and Mitigation Strategies. Reston, VA: Kratos Defense.
10. International Telecommunication Union (ITU-R). (2019). Recommendation ITU-R M.1371-5: Technical Characteristics for an Automatic Identification System Using Time Division Multiple Access in the VHF Maritime Mobile Frequency Band. Geneva: ITU.
11. International Telecommunication Union (ITU-R). (2021). Recommendation ITU-R M.2092-1: Technical Characteristics for a VHF Data Exchange System (VDES) in the VHF Maritime Mobile Band. Geneva: ITU.

УДК:629.5.015.4:004.942:519.876.5(045)

ЗАСТОСУВАННЯ ПАРАМЕТРУ КАТЕГОРІЇ ЗОН ДОВІРИ ПРИ РОЗРОБЦІ ПЛАНУ ПЕРЕХОДУ СУДНА

Прибила О.О., к-т групи 1405, керівник **Алексішин А.В.,** доцент каф. ЕКС

Національний університет "Одеська Морська Академія", Україна

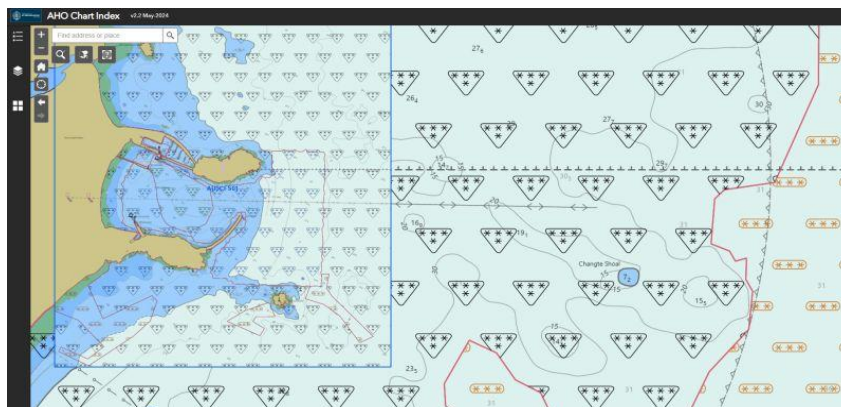
В даний час одним з основних навігаційних засобів, що застосовуються на борту морських суден, є ЕКНІС (електронна картографічна навігаційно-інформаційна-система). Відповідно до Конвенції SOLAS використання цієї системи на судах, які підпадають під її дію, є обов'язковим.

Таким чином, Переважна більшість конвенційних судів оснащена ЕКНІС. Все частіше ними оснащуються і судна, що здійснюють судноплавство внутрішніми водними шляхами

У випадку, якщо ЕКНІС використовується як основний засіб навігації, то його використання має принципове значення при виконанні наступних дій та процедур, серед яких принципи несення вахти, ведення попередньої та виконавчої прокладок, карт на перехід, а також зміст суднової колекції карт.

Необхідно відзначити, що ЕКНІС, володіючи потужним функціоналом і надаючи користь штурману, вимагає від нього певної кваліфікації та знань для повноцінного та безпечного використання.

Однією з важливих функцій є можливість використання ЕКНІС для розробки плану переходу судна. Судноводій при цьому прокладає курс, орієнтуючись на значення глибин, нанесених на електронну навігаційну карту, не завжди замислюючись про спосіб їх отримання і достовірності. Водночас на офіційних електронних навігаційних картах (ЕНК) є обов'язковим об'єктом є "якість даних" (M_QUAL). Об'єкти класу M_QUAL повинні закривати (без взаємних накладень) усю область, покриту даними. Конкретне значення якості даних відображає атрибут CATZOC, що кодується для об'єктів класу M_QUAL (Рис. 1).



SATZOC (категорія зони довіри даним) - це атрибут, значення якого застосовуються для відображення точності вихідних даних, які використовуються для створення ЕНК. Вказаний атрибут кодується для географічних областей для того, щоб вказати, чи відповідають дані ЕНК мінімального набору критеріїв для наступних випадків:

- Визначення розташування;
- Визначення точності глибини;
- Оцінка покриття морського дна.

Значення атрибуту, що присвоюються областям глибин, характеризують якість виконання гідрографічних робіт (точність вимірювання глибин та їх розташування), а також параметри використовуваного цих цілей устаткування. За допомогою атрибуту CATZOC судноводії також може оцінити безпечний запас води під кілем і розуміючи точність одержуваної інформації, керувати рівнем ризику під час навігації у певному районі. Для кращого розуміння основ формування зон довіри розглянемо різні фактори, що впливають на вибір категорії:

- Точність місцезнаходження - визначає точність положення глибини об'єкту в горизонтальній площині; дає судноводію розуміння, де було зроблено промір;
- точність глибини – визначає точність вимірюваних глибин у вертикальній площині.

Має важливе значення щодо запасу води під кілем і, як наслідок, знижує ризик посадки на мілину;

- область покриття дна - дозволяє уявити масштаб області, яка використовується для отримання даних проміру. В цілому, чим більше область покриття і вище частота накопичення даних, тим вища довіра до батиметричних даних;
- характеристики проміру – містить спеціальну інформацію, що стосується конкретної категорії зон довіри.

CATZOC - єдиний атрибут, що містить інформацію про якість даних, котрий, згідно зі Стандартом S-57, дозволено візуалізувати.

На даний момент в ЕКНІС є можливість увімкнення/вимкнення функції SATZOC. При включенні даної функції картки покриваються відповідними символами SATZOC. Закодовані значення атрибуту SATZOC відображаються на ЕНК, завантаженої в ЕКНІС, областями невеликих ромбів або трикутників, а кількість зірочок усередині цих фігур означає безпосереднє значення індикатора.

Наприклад, дві зірочки символізують найнижчий рівень якості даних «D», при котором було досягнуто неповне покриття гідрографічними відомостями, а шість зірочок, навпаки, показують, що ЕНК складена на основі вихідних матеріалів найвищої якості та гарантує відображення всіх важливих для навігації об'єктів рельєфу дна, що відповідає рівнем «A1»

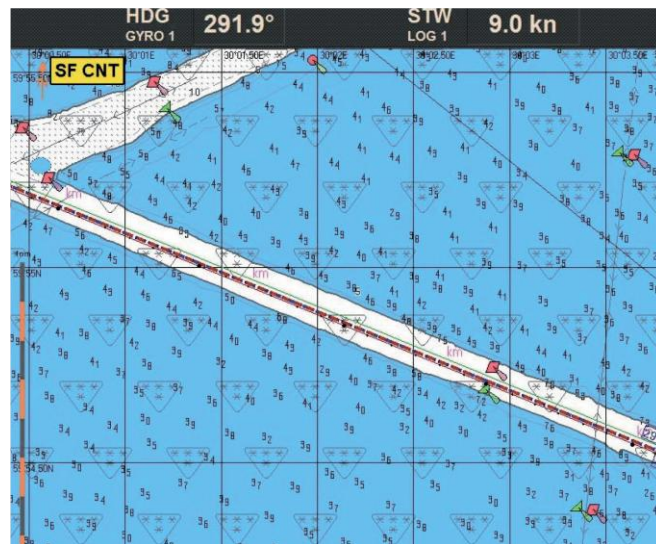
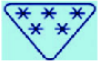
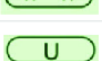
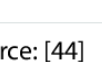


Рисунок 2 - Фрагмент ЕНК з якістю даних, відповідній зоні довіри В (чотири зірочки)
Зони, де значення атрибуту CATZOC не були визначені або закодовані, позначені в ЕКНІС латинською літерою U (від англ. Unassessed - неоцінений), і у вкладці інформації про ЕНК з'являється запис «Якість даних («зона довіри» U «неоцінена»)» - рис. 3 .

Усього було визначено шість зон довіри: A1, A2, B, C, D, U. Британським адміралтейством була випущена таблиця ZOC, в якій детально відображено інформацію щодо зон

ZOC	POSITION ACCURACY	DEPTH ACCURACY
A1 	± 5 m + 5% depth	0,5 m + 1% depth
A2 	± 20 m	1,00 m + 2% depth
B 	± 50 m	1,00 m + 2% depth
C 	± 500 m	2,00 m + 5% depth
D 	Worse than ZOC C	Worse than ZOC C
U 	Unassessed-The quality of the depth is yet to be answered	

Source: [44]

Рисунок 3 - Зони довіри CATZOC

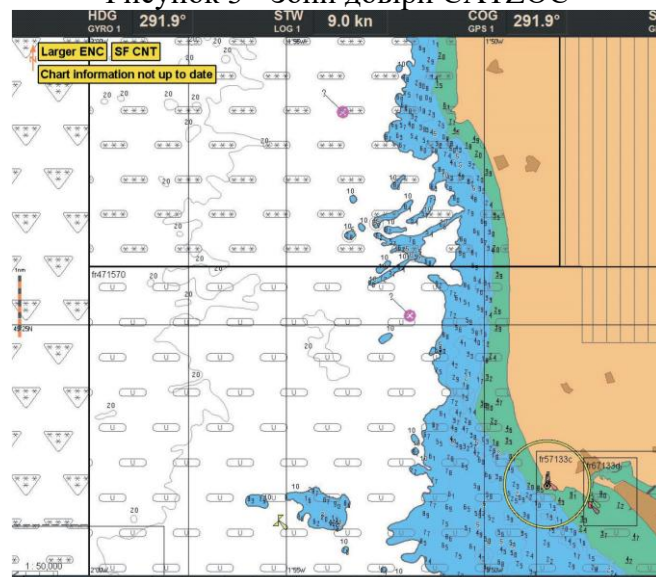


Рисунок 4 - Фрагмент ЕНК з якістю даних, відповідній зоні довіри «неоцінене»
Однак дана функція у тому вигляді, в якому існує зараз, має такі недоліки:

- Відсутність ізоліній, що з'єднують символи з однаковим значенням;
- Відсутність автоматичної індикації районів.

Зазначені недоліки ускладнюють сприйняття інформації судноводіями.

Необхідно відзначити, що існуюча схема негативно впливає не тільки на представництво інформації судноводіям. Так, наприклад, у служб управління безпекою (СУБ) деяких компаній взагалі відсутні будь-які згадки про параметри CATZOC і рекомендації щодо його застосування. Хоча, відповідно до рекомендацій NP 232 Guide to ECDIS

Implementations, Policy and Procedures (Посібник із впровадження ЕКНІС, політики та процедур) від УКНО (United Kingdom Hydrographic Office – гідрографічний департамент Великобританії), компаніям слід відкоригувати політику щодо запасу води під кілем відповідно до зон довіри. Особливо це актуально на судах, які використовують ЕКНІС як основний засіб навігації і не використовують паперові картки як резервний засоби навігації. На електронних картах інформація про проміри може бути закодована, але не візуалізована на відміну від паперових карт, де вказана схема використаних матеріалів. Також параметр CATZOC реалізований в ЕКНІС у вигляді додаткової функції, яку необхідно активувати вручну, внаслідок чого при веденні попередньої та виконавчої прокладок судноводії не завжди використовують параметр CATZOC для оцінки ризиків мореплавання. За наявності ізоліній, що з'єднують символи з однаковим значенням зон довіри, було б досягти покращеної візуалізації картографічної інформації, як це зараз реалізовано з ізобатами глибин. Це, у свою чергу, дозволило б судноводіям планувати перехід відповідно до політики УКС компанії не тільки звіряючись з наявними на карті глибинами, а й роблячи точний аналіз з урахуванням інформації з якості проміру глибин. Проведення в функцію автоматичної перевірки маршруту (Check Route) параметра CATZOC можна було б досягти часткового виключення людського фактора при помилковому прокладанні маршруту по районах з низькою якістю даних проміру. Автоматична ідентифікація таких низьких зон довіри на стадії перевірки маршруту, без якої відповідно до останніх ми прийнятими стандартами неможливо поставити маршрут на моніторинг, могла б акцентувати увагу судноводія на ці райони.

У зв'язку з тим, що при прокладанні маршруту необхідно враховувати запас води під кілем, важливу роль має значення параметра CATZOC.

З раніше викладеного можна дійти невтішного висновку у тому, що існуюча політика по запасу води під кілем у більшості компаній не враховує якість батиметричних даних, отже, неспроможна повністю оцінити ризики під час планування переходу судна. Безумовно, параметр CATZOC у тому вигляді, в якому існує зараз, має ряд істотних недоліків, але більшість суден вже використовують ЕКНІС як основний засіб навігації, а паперові карти найчастіше і зовсім відсутні на борту, внаслідок чого необхідно враховувати якість батиметричних даних при коригуванні політики компанії із запасу води під кілем, а також на стадії попередньої прокладки

ЛІТЕРАТУРА

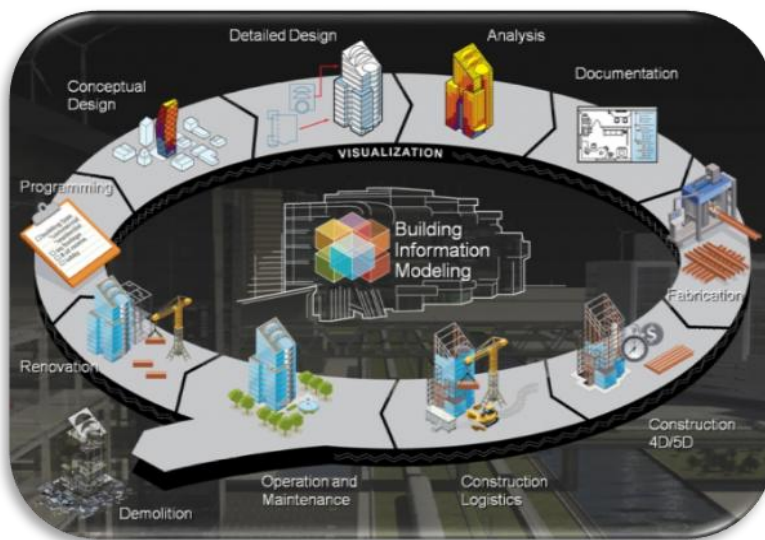
1. СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ І ВПРОВАДЖЕННЯ Е-НАВІГАЦІЇ. (РЕЗОЛЮЦІЯ MSC 85/26/ADD.1) E-NAVIGATION STRATEGY IMPLEMENTATION PLAN.
2. PATRAIKO D. (2007) THE DEVELOPMENT OF E-NAVIGATION. TRANSNAV, THE INTERNATIONAL JOURNAL ON MARINE
3. WEINTRIT A., WAWRUCH R., SPECHT C., GUCMA L., PIETRZYKOWSKI Z. (2017) POLISH APPROACH TO E-NAVIGATION
4. CONCEPT. TRANSNAV, THE INTERNATIONAL JOURNAL ON MARINE NAVIGATION AND SAFETY OF SEA TRANSPORTATION, VOL. 1, NO. 3, PP. 261–269.
5. KORCZ, K. (2016) COMMUNICATION SYSTEMS FOR SAFETY AND SECURITE OF SHIPS, JOURNAL OF KONES, VOL. NO. 1,

ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Прушинський М., курсант групи 1403

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Інформаційне моделювання (ІМ) — це потужний інструмент, який забезпечує створення, управління та використання спільного цифрового представлення об'єкта або системи. Найбільш відомим прикладом є Будівельне Інформаційне Моделювання (BIM), яке є центром цифрової трансформації будівельної та архітектурної галузей. ІМ інтегрує технології, процеси та інформацію, забезпечуючи надійну основу для прийняття рішень на всіх етапах життєвого циклу об'єкта: від проектування та будівництва до експлуатації та демонтажу.



Ключові переваги інформаційного моделювання:

- Підвищення якості та зменшення помилок: Візуалізація та аналіз моделі в 3D (і більше) дозволяє завчасно виявляти колізії та проєктні помилки, що значно знижує обсяг переробок.
- Оптимізація процесів: Прискорюється проєктування, спрощується координація між учасниками проєкту, підвищується ефективність контролю робіт.
- Економічна ефективність: Прогнозується економія коштів та скорочення термінів будівництва за рахунок кращого управління ресурсами та мінімізації відходів.
- Управління життєвим циклом: Модель є джерелом структурованих даних для ефективної експлуатації, обслуговування та модернізації об'єкта.



Сучасні виклики впровадження ІМ:

Незважаючи на значні переваги, широке впровадження ІМ стикається з низкою перешкод:

- Проблеми взаємодії (Інтероперабельність): Існує потреба в єдиних стандартах та форматах обміну даними між різними програмними продуктами та учасниками проєкту (наприклад, підтримка формату IFC).
- Нестача кваліфікованих кадрів: Потрібна підготовка та перекваліфікація фахівців усіх рівнів, які володіють знаннями не лише інструментів, але й принципів та ідеології ІМ.
- Організаційний опір та високі початкові витрати: Впровадження ІМ вимагає зміни традиційних робочих процесів, значних інвестицій у програмне забезпечення, апаратне забезпечення та навчання.
- Правові та нормативні аспекти: Необхідність розробки чіткої нормативно-правової бази, що регулює використання ІМ на державному рівні та питання відповідальності.
- Якість даних: Створення та підтримка високого рівня якості та деталізації інформації в моделі.



Перспективи розвитку ІМ:

Майбутнє інформаційного моделювання пов'язане з його інтеграцією з іншими передовими технологіями, що відкриває нові горизонти:

- Інтеграція з технологіями майбутнього:
 - о Штучний Інтелект (ШІ) та Машинне Навчання (МН): Для автоматизації рутинних завдань, оптимізації проєктних рішень, прогнозування ризиків та аналізу даних моделі.
 - о Цифрові Двійники (Digital Twins): Створення точної віртуальної копії фізичного об'єкта для моніторингу, моделювання та управління в режимі реального часу, зокрема для розумних міст (CIM).

- о Віртуальна та Доповнена Реальність (VR/AR): Для поліпшення візуалізації, співпраці та контролю на будівельному майданчику.
- о Інтернет Речей (IoT): Збір та інтеграція даних із сенсорів в експлуатації для оновлення моделі та підвищення енергоефективності.
 - Стійке будівництво та циркулярна економіка: Використання ІМ для розрахунків вуглецевого сліду та оптимізації енергоефективності протягом усього життєвого циклу об'єкта.
 - НВІМ (Heritage BIM): Застосування технологій моделювання для збереження та відновлення об'єктів культурної спадщини.

Висновок:

Інформаційне моделювання є не просто технологією, а зміною філософії роботи у багатьох галузях. Успішне подолання поточних викликів через стандартизацію, освіту та міждисциплінарну співпрацю дозволить повністю розкрити потенціал ІМ, забезпечуючи більш ефективні, якісні та стійкі результати проєктів. Впровадження ІМ є стратегічною необхідністю для підвищення конкурентоспроможності та цифрової трансформації національної економіки.

УДК:6295.017.2: А004.942(045)

ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗЕКІПАЖНОГО СУДНОВОДІННЯ

Свирідова А.В., кр-т гр. І406, керівник Алексішин А.В. доцент каф. ЕКС

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Актуальність безекіпажного судноводіння

Останнім часом суттєвого прогресу та перспективного розвитку набуло застосування інформаційних технологій у сфері торговельного мореплавства. Ключовими напрямками стали е-Навігація та технології без екіпажного судноводіння. На цих аспектах зосередила свої ініціативи Міжнародна морська організація (ІМО). Питанням впровадження концепції електронної навігації було присвячено праці численних вчених. Розглядаються сукупність складових та елементів концепції та її застосування і зв'язок з впливом людського елементу. Було присвячено увагу системам зв'язку для забезпечення безпеки та охорони суден та вивченню головних чинників процесу імплементації електронної навігації. Питання щодо вдосконалення систем зв'язку, оновлення стандартів е-Навігації. Використання сучасних технологій та їх інтеграція у процес судноводіння, аналіз стану існуючих технологій та перспективи реалізації технології електронної навігації. Дослідження перспектив технологічного розвитку і впровадження концепції безекіпажних суден.

Узгодження регіональних систем навігації і контролю за рухом суден – технічні рішення, що становлять частину е-Навігації, розробляються на базі існуючих технологій у різних регіонах земної кулі, тому їх необхідно постійно узгоджувати та координувати на міжнародному рівні.

Так, за даними фінансово-страхових концернів вартість збитків внаслідок помилок екіпажу при морських перевезеннях у 2024- 2025 р. склала 2,6 млрд доларів .

Сучасна автоматизація судноводіння дозволяє здійснювати перехід у відкритому морі в хорошу погоду з мінімальним складом вахти. Для цього використовуються системи напів автоматичні управління судном типу Track Control System. Крім процесів навігації автоматизована робота енергетичної установки, палубних механізмів і вантажних операцій, а деякі дії виконують-ся без участі людини.

Автоматизація судноводіння та судових операцій дає можливість зменшити кількість членів екіпажу, що сприяє оптимізації та здешевлення конструкції судна: потрібно менше

приміщень із системами життєзабезпечення. Новою епохою стане безекіпажне судноводіння, яке покликане суттєво знизити економічні витрати і підвищити ефективність та безпечність морських чи річкових перевезень.



Рисунок 1 - Інформаційне забезпечення судноплавства

Ці системи складаються із систем, що розробляються в рамках різних проектів: європейського проекту MarNIS (Морська навігація та інформаційне забезпечення), азіатського МЕН (Електронні засоби навігації для забезпечення судноплавства в азіатському регіоні (Asian Marine Electronic Highway), Safe Sea Net (режим інспектування із забезпечення безпеки судноплавства).

Проблеми без екіпажного судноводіння привертають увагу світової спільноти. У червні 2023 р. в Амстердамі пройшов симпозиум Autonomous Ship Technology, що об'єднав представників провідних компаній морської індустрії, вчених і дослідників.

Maritime Unmanned Navigation через Intelligence in Networks (MUNIN)- Центром морської логістики . В рамках MUNIN, консорціум наукових та індустріальних організацій розробив концепцію без екіпажного судна (БЕС), керованого бортовою автоматикою під контролем берегового центру. Було запропоновано рішення для автономного містка та машинного відділення, берегового центру та комунікації судна з ним .

Проект MUNIN не передбачає автоматизованого плавання у прибережних водах, де інтенсивність судноплавства дуже велика. Передбачається, що з порту відправлення у відкрите море судно виводитиме екіпаж, який потім повернеться на берег. Далі судно, кероване тепер вже бортовим комп'ютером під контролем оператора на суші, продовжить свій шлях через океан, а біля порту призначення на борт знову зійде екіпаж і візьме управління він.

Роботу над безекіпажним судноводінням ведуть багато розвинених держав, серед них масштабністю проектів виділяється Норвегія. Так, наприклад, світовий лідер у галузі морських технологій Kongsberg спільно з компанією Yara побудували автономний контейнеровоз YARA Birkeland дедвейтом 3200 т для екологічно чистих перевезень біля берегів Норвегії.



Рисунок 2 - Автономний контейнеровоз YARA Birkeland дедвейтом 3200 т

На протязі шляху судно контролюватимуть три берегові центри. Зокрема з експлуатацією YARA Birkeland. компанія розвиває автоматизовану поромну переправу між містами Хортен та Мосс.

Норвезька компанія Maritime Robotics розробила БЕК Mariner довжиною близько шести метрів для морських досліджень, який може нести різне навантаження. Максимальна швидкість катера складає 35 вузлів. Катер і спеціальне бортове обладнання кероване по радіоканалу

Поряд із Норвегією зразки БЕК та БЕС демонструють США, Франція, Китай, Ізраїль.



Рисунок 3 - Багатофункціональний роботизований комплекс

Комплекс оснащений курсовою відеокамерою, гіростабілізованої оглядово-пошуковою системою, гідролокатором бічного огляду, а також виносною системою технічного зору з урахуванням квадрокоптера. Залежно від корисного навантаження комплекс може вирішувати різні завдання: моніторинг морського середовища, допомога в пошуково-рятувальних операціях, пошук і виявлення затонулих об'єктів, обстеження підводних трубопроводів та комунікацій, забезпечення охорони акваторії.

Області застосування безекіпажних судів

Селективний підхід до впроваджуваних технологій дозволив досягти високого рівня автоматизації судноводіння завдяки використанню сучасних засобів навігації та управління судном. І все таки екіпаж повинен перебувати на борту судна, хоча рівень розвитку технологій свідчить про те, що до без екіпажного або мало екіпажного судноводіння залишився один крок.



Рисунок 4 - Вантажні БЕС

Вантажні БЕС, автоматично коригуючі маршрут з урахуванням погодних умов і вміючи швартуватися у причала, зроблять революцію в області морських та річкових перевезень. При цьому один оператор зможе супроводжувати декілька БЕС із берегового центру. Особливу роль БЕС гратимуть під час транспортування небезпечних вантажів та перевезеннях у складних кліматичні умови.

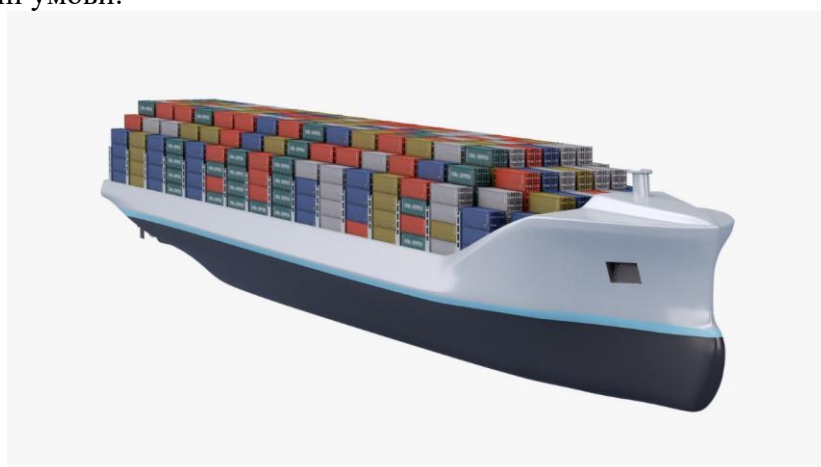


Рисунок 5 – Безекіпажний контейнеровоз

Пасажирські лайнери не стануть пів безекіпажними, оскільки на судні повинен перебувати обслуговуючий і медичний персонал. Однак невеликі маршрутні та екскурсійні пасажирські БЕС є реальністю.

Окрема сфера застосування БЕС пошуково-рятувальні операції, при яких за обмежений час потрібно здійснити пошук потоплюючих та обломків аварії корабля на достатньо великі площі. У цьому будуть дуже корисні десантові на воду швидкохідні невеликі БЕК. У складних погодних умовах вони зможуть при допомоги сенсорів швидко виявляти об'єкти на поверхні води, передавати їх координати в оперативний штаб і здійснювати супровід.

Група БЕС, об'єднана в інтелектуальну мережу, стане потужною підмогою у проведенні пошуково-рятувальних операцій.

Забезпечення безпеки прибережних вод, портів, морських платформ та інших стратегічно важливих об'єктів стане ще однією сферою застосування БЕК.

Встановлені на них сенсори дозволять швидко виявити об'єкт-порушник та передати інформацію про нього до центру управління, а при необхідності його супровід.

Пожежні БЕС зможуть максимально близько підходити до охопленого вогнем об'єктам і, не наражаючи на небезпеку людей, здійснювати гасіння пожежі та евакуацію екіпажу.

Хорошими помічниками риболовецьких судів стануть невеликі спускаються з борту судна БЕК, оснащені рибопошуковими ехолотами та передавальні інформацію про скупчення риб на до-статочному віддаленні від судна.

Таким чином, для успішного розвитку напрямку БЕС та безекіпажного судноводіння потрібен системний підхід, який включає в себе взаємо сприяння злагоджених колективів розробників високої кваліфікації, формування високотехнологічної науково-виробничої та

випробувальної бази (використання сучасних технологій та матеріалів, високонадійних суднових вузлів та агрегатів, передових науково-технічних розробок), а також коригування існуючих нормативно-правових документів.

ЛІТЕРАТУРА

6. PATRAIKO D. (2007) THE DEVELOPMENT OF E-NAVIGATION. TRANSNAV, THE INTERNATIONAL JOURNAL ON MARINE
7. NAVIGATION AND SAFETY OF SEA TRANSPORTATION, VOL. 1, NO. 3, PP. 257–260.
8. PATRAIKO D., WAKE P., WEINTRIT A. (2010) E-NAVIGATION AND THE HUMAN ELEMENT. TRANSNAV, THE INTERNATIONAL
9. JOURNAL ON MARINE NAVIGATION AND SAFETY OF SEA TRANSPORTATION, VOL. 4, NO. 1, PP. 11–16.
10. JURDZIŃSKI M. (2020) THE NEED TO UPDATE THE NAVIGATION CURRICULUM AS A CONSEQUENCE OF ADOPTION THE
11. E-NAVIGATION MODEL. TRANSNAV, THE INTERNATIONAL JOURNAL ON MARINE NAVIGATION AND SAFETY OF SEA TRANSPORTATION,
12. VOL. 14, NO. 3, DOI:10.12716/1001.14.03.03, PP. 541–544.

УДК 629.5.015

ВПЛИВ ДИФЕРЕНТА НА ОПІР ВОДИ РУХУ СУДНА

Осмоловський А.І., курсант гр. 2201, керівник **Стецюк Т.Г.**, ст. викладач

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Основним критерієм оцінки ефективності оптимального судна є наведені витрати. Основну частину витрат на експлуатацію судна в рейсі складають витрати на паливо. У повсякденній практиці вантажне судно в процесі роботи, основним призначенням якого є перевезення вантажів, постійно пов'язане зі зміною осадки і диференту. Актуальним завданням є визначення оптимальної посадки судна перед виходом у рейс і під час рейсу за умовами ходовості, при якій буде спостерігатися зменшення втрат швидкості, а відповідно зменшення витрати палива і викидів парникових газів.

Постановка задачі. Вплив диференту судна на його ходові якості був відзначений давно. Зміна посадки при постійній водотоннажності призводить до зміни форми корпусу нижче ватерлінії, що негайно тягне за собою зміну опору руху. Вплив диференту на ходовість значно залежить від співвідношення розмірів і форми обводів (наявності бульба, плоского транця тощо), що розглядається в багатьох роботах [1 – 4].

Сила опору води руху судна складається з опору тертя, опору форми, хвильового опору і опору виступаючих частин [5]. Сила опору води може бути обчислена за загальною формулою:

$$R = C \frac{\rho v^2}{2} \Omega, \quad (1)$$

де C – безрозмірний сумарний коефіцієнт опору; ρ – густина рідини; v – швидкість судна; Ω – площа змоченої поверхні корпусу без ходу, що відповідає даній осадці (площу виступаючих частин зазвичай не враховують).

Перед виходом у рейс відома експлуатаційна швидкість судна і густина води, тоді зміна опору буде залежати від величин C – безрозмірного коефіцієнта опору і Ω – площі змоченої поверхні корпусу.

Безрозмірний сумарний коефіцієнт опору представлений у вигляді окремих складових:

$$R = C_t \frac{\rho v^2}{2} \Omega + C_r \frac{\rho v^2}{2} \Omega, \quad (2)$$

C_t – коефіцієнт тертя, залежить від чисел Рейнольдса і надбавки на шорсткість, C_r – коефіцієнт залишкового опору, що залежить від коефіцієнта загальної повноти, числа Фруда, співвідношення ширини судна до осадки, координати центру величини ватерлінії.

Для визначення змоченої поверхні рекомендуються наближені формули. Для транспортних суден з великими значеннями коефіцієнта загальної повноти зазвичай використовується формула В.А. Семекі [5]:

$$\Omega = LT[2 + 1,37(\delta - 0,274)B/T], \quad (3)$$

де L – довжина між перпендикулярами судна; B – ширина судна; T – середня осадка; δ – коефіцієнт загальної повноти при осадці T .

Використовуючи у формулі середню осадку, судно штучно приводиться до посадки на рівний кіль, хоча при зміні диференту судна відбувається зміна повноти обводів підводної частини судна по довжині судна і тому величина Ω повинна відрізнятися від значення площі змоченої поверхні для середньої осадки.

Найточніші результати розрахунку величини змоченої поверхні дає теоретичне креслення, яке дозволяє зняти довжини занурених частин шпангоутів судна по експлуатаційній осадці.

Результати значень опору води для контейнеровоза «MEKONG SPIRIT» залежно від зміни значень диференту Δd для експлуатаційної швидкості представлені на рис.1.

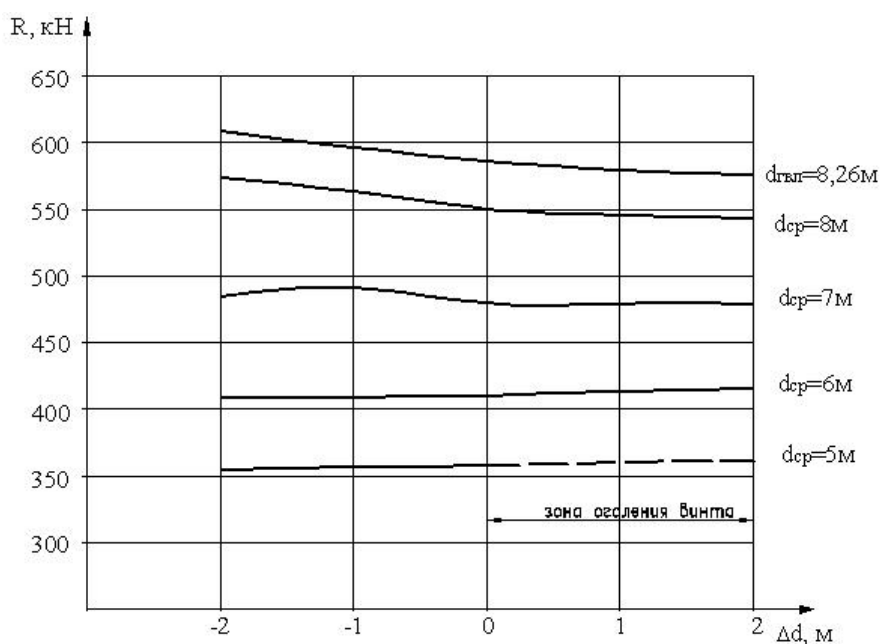


Рис.1. Залежність опору води R від зміни диференту Δd т/х «MEKONG SPIRIT»

Згідно з отриманими даними, опір води при зміні диференту змінюється в межах 2-3%, пропорційне зміні площі змоченої поверхні. При осадках, близьких до максимального завантаження, результати показують наявність оптимуму позитивних значень при посадці судна на тихій воді.

У дослідженні [1] наведені результати фізичного і чисельного моделювання руху контейнеровоза KCS з різними диферентом в діапазоні чисел Фруда: $F_n = 0,19-0,26$. KRISO (KCS) – еталонна модель судна, що використовується в гідродинамічних дослідженнях і CFD моделюванні. Повний опір води руху при будь-якому диференті на корму виявився вищим, ніж при посадці на рівний кіль або на ніс.

У практиці експлуатації для більшості суден оптимальним варіантом є посадка судна з невеликим диферентом на корму. При невеликому диференті на корму підвищується ефективність роботи гвинтів і у більшості суден збільшується швидкість ходу. При зміні диференту судна опір тертя практично не змінюється, зате хвильовий опір зменшується при диференті на корму і збільшується при диференті на ніс. При диференті на корму через підвищення повноти обводів збільшується опір форми. Тому для кожного судна величина найвигіднішого диференту може бути визначена дослідним шляхом.

Висновки. Найбільш ефективним способом знаходження оптимального диференту для кожного конкретного судна є індивідуальні випробування, модельні або натурні. Для кожного судна оптимальний диферент залежить від навантаження і швидкості руху. Забезпечення оптимального, з точки зору опору руху, диференту не призводить до значної економії палива, проте зниження його витрати навіть на 3-5%, сьогодні, при безперервно зростаючих цінах на нафту і нафтопродукти, призводить до досить відчутного ефекту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shivachev Emil, Mahdi Khorasanchi, and Alexander H. Day. “Trim influence on Kciso Container Ship (KCS): an experimental and numerical study.” International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Vol. 57731. American Society of Mechanical Engineers, 2017. DOI: 10.1115/OMAE2017-61860.
2. Molland AF, Turnoks SR, Hudson DA. 2011. Ship Resistance and Propulsion. Practical Estimation of Ship Propulsive Power. New York, USA, Cambridge University Press.
3. ITTC: Recommended Procedures and Guidelines: 7.5-02-03-01.4. 1978 ITTC Performance Prediction Method / Ed. Propulsion Committee of 28th ITTC. [S.l.], 2017. 15 p.
4. Islam, Hafizul, and Carlos Guedes Soares. “Effect of trim on container ship resistance at different ship speeds and drafts.” Ocean Engineering 183 (2019): 106–115. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.03.058
5. Voitkunsky Ya.I. Handbook of ship theory: in 3 volumes. Vol. 1. Hydromechanics. Ship resistance. Ship propellers / Sudostroenie, 1985.

СЕКЦІЯ З МОРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.61.052.484

ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНОЇ ПРОГРАМИ СУДНА З ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ

О.В. Гайченя, доцент

Національний університет "Одеська Морська Академія", Україна

Підготовка та розрахунок попереднього вантажного плану судна є відповідальною операцією, яка визначає морехідну безпеку судна, тобто відповідність параметрів посадки, остійності та міцності корпусу судна їх допустимим значенням. Тому стратегії оптимального завантаження суден з позицій забезпечення їх морехідної безпеки присвячена значна кількість наукових робіт. Зокрема, для перевезення сипучих вантажів в роботі [1] пропонується оптимальна стратегія завантаження. Питання укладання генеральних вантажів в трюми судна для максимального використання його вантажновмісткості розглянуто в роботі [2], а стаття [3] присвячена формуванню завантаження контейнеровозу.

Про важливість вантажних операцій свідчить той факт, що всі сучасні судна мають комп'ютерні вантажні програми, що дозволяють проводити моделювання судна (скласти попередній вантажний план) і оцінювати рівень її морської безпеки. Крім цього, на кожному судні є документація для розрахунку попереднього вантажного плану вручну, що містить необхідні інтерполяційні таблиці та графіки. Вантажні комп'ютерні програми розробляються відповідними фірмами під наглядом класифікаційного суспільства, які видають сертифікат відповідності програми існуючим вимогам.

Однак існує ряд ситуацій, коли скористатися вантажною програмою взагалі неможливо, наприклад, при експлуатації старих (субстандартних) суден, на яких вантажна програма перестала працювати або взагалі відсутня. У такому разі складання попереднього вантажного плану судна за судовою документацією істотно ускладнюється. Враховуючи, що на судні обов'язково є документація для складання попереднього плану вантажу, доцільна розробка комп'ютерного пакета, що дозволяє синтезувати вантажну програму судна.

Для вирішення поставленої задачі необхідно, в першу чергу, розробити математичну модель судна M_v , як завантаження об'єкта, і здійснити формалізацію M_c , завантаження в термінах математичної моделі судна. Якщо множину параметрів морехідності судна, що

характеризують його посадку, остійність і загальну повздожню міцність позначимо M_k , то елементи цієї сукупності є функціями іншого проміжної множини M_n . У свою чергу M_n є відображенням елементів M_v і M_c . Зверніть увагу на наступні обставини: розглянуті категорії M_v , M_c , M_n і M_k не всі є векторами або множинами, так як об'єднують деякі характеристики, що мають різну природу. Так, модель судна M_v повинна включати чисельні характеристики, наприклад, вага судна, його максимальну вантажопідйомність, вантажомісткість, кількість вантажних приміщень і т.п., однак вона містить вантажні приміщення, які є складними об'єктами і характеризуються формою, що відображає їх архітектуру. Модель судна включає також розподіл його ваги по довжині судна, яке не належить до перерахованих характеристик. При формалізації вантажу, крім таких численних характеристик, як загальний вантажний обсяг, для генерального вантажу необхідно формувати поняття партії вантажу, що містить одиницю вантажу, з якої складається партія. Одиниця вантажу, у свою чергу, має визначену форму, вагу, габарити та положення центру тяжіння. Тому для опису математичної моделі судна M_v і вантажу M_c доцільно використовувати об'єктно-орієнтований підхід.

Відповідно до цього підходу об'єкт характеризується деякими властивостями і методами, при яких властивостях може бути різна природа, наприклад, тип трюму, що відображає його форму, і тип резервуара за визнанням його застосування (баластний, для важкого палива і т.п.), при чому вказані характеристики є властивостями одного об'єкта.

Якщо об'єкт M_v , що є математичною моделлю судна, явним видом не містить методів, описуючи можливі його зміни, то об'єкт M_c , що представляє формалізацію вантажу, містить метод розділення партії вантажу на частини.

Вантажні операції, що представляють собою розміщення вантажу по вантажним приміщенням, баласту по баластним танкам і запасів по іншим танкам, є об'єктом більш високого рівня $M_{v,c}$, який успадковує властивості і методи об'єктів M_v і M_c (такий об'єкт можна назвати «завантажене судно»). Однак виявляються і його індивідуальні методи, які стосуються процедури розміщення вантажів, баласту і запасів. Оцінка морехідності судна M_k є вектором, компоненти якого представляють параметри посадки, остійності та міцності. Сукупність проміжних змінних M_n містить характеристики, описуючі властивості об'єкта $M_{v,c}$ (наприклад, статичні моменти M_x , M_y , M_z і т.п.). У першому наближенні M_n можна розглядати як вектор, хоча деякі його компоненти є діаграмами (статичної та динамічної остійності).

Отже, вектор проміжних характеристик M_n є функцією від властивостей об'єктів M_v і M_c , тобто $M_n = F_1(M_{vc})$, вихідний вектор оцінки морехідності M_k судна визначається вектором M_n - $M_k = F_2(M_n)$.

Таким чином, формація завантаження судна з оцінкою показників морехідності передбачає розробку методів об'єктно-орієнтованого математичного опису судна M_v і вантажу M_c , синтезу об'єкта «завантажене судно» $M_{v,c}$, пошуку відображень F_1 і F_2 .

Відображення F_1 , яке зв'язує вектор проміжних змін M_n з об'єктом $M_{v,c}$, представлено у вигляді таблиць і графіків, розміщених у судовій вантажній документації (Stability booklet та ін.), а відображення F_2 представляє собою сукупність аналітичних залежностей і прийомів, що дозволяють з компонентів вектора M_n отримати компоненти вектора M_k . Доцільним є рішення поставленої задачі в два етапи:

- розробити метод $\mathfrak{Z}_1$ об'єктно-орієнтованого математичного опису судна M_v та відображення F_1 , які повинні бути представлені у вигляді комп'ютерної бази даних $\mathfrak{R}$, при чому вихідна інформація для такої бази даних наявна в судовій вантажній документації;
- створити метод $\mathfrak{Z}_2$, що включає об'єктно-орієнтоване математичне описування вантажу M_c , відображення F_2 , а також за допомогою бази даних $\mathfrak{R}$ спосіб синтезу об'єкта $M_{v,c}$ та формування вектора оцінки морехідності судна M_k . Формалізація завантаження судна з оцінкою показників морехідності, реалізована у вигляді методів $\mathfrak{Z}_1$ і $\mathfrak{Z}_2$, показано на рис. 1.

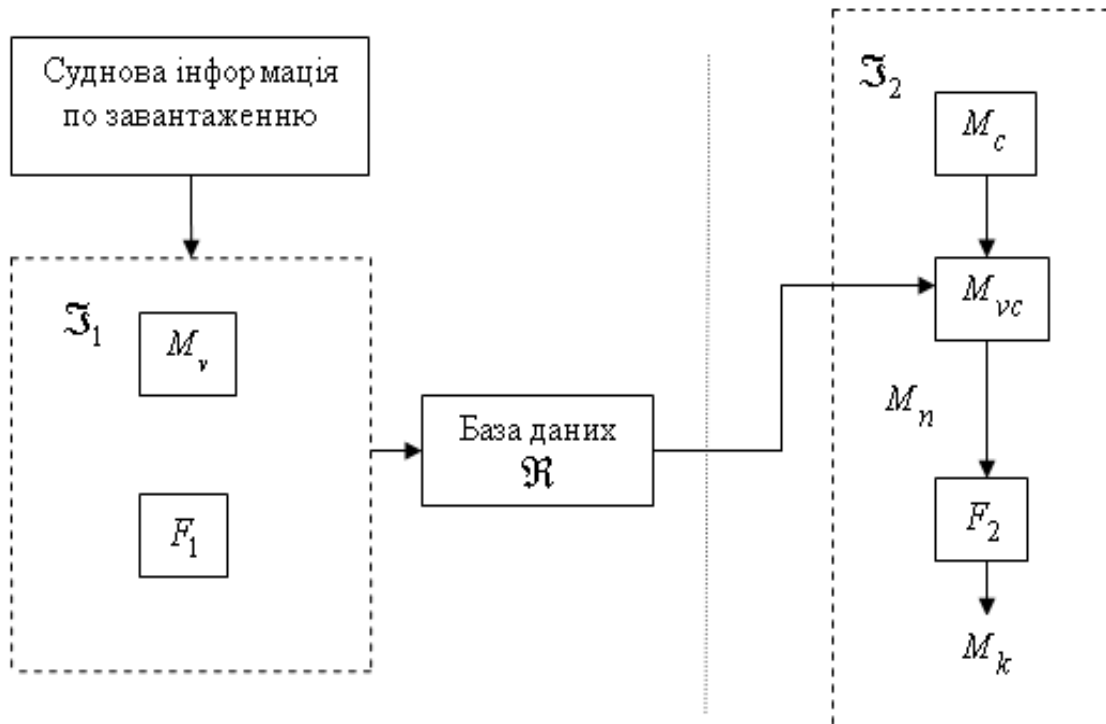


Рисунок 1. Методи формалізації завантаження судна

Для конкретного судна метод $\mathfrak{Z}_1$ формування бази даних $\mathfrak{R}$ використовується один раз. Метод $\mathfrak{Z}_2$ потрібен для кожного завантаження, в якому повинні міститися процедури вирішення прямої та зворотної задачі розміщення вантажу, баласту та запасів. Розглянуті методи повинні бути реалізовані у вигляді окремих комп'ютерних програм, складових один програмний пакет.

Після розробки такого пакета програмного забезпечення, його можна розмістити на сайті та надати послуги через інтернет користувачів, які потім потребують у вантажній програмі (вантажним помічником, суперкарго тощо), які спочатку один раз виготовляють налаштування пакету за вихідним джерелом інформації, а регулярно використовуються при кожній завантаженні, так як база даних, сформована для кожного з файлів, зберігається на сайті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Н.Н.Цымбал, Ю.Ю. Васьков, "Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов". Судовождение: Сб. научн. трудов НУ «ОМА». Одесса, 2004. №7. С. 3 – 9.

2. А.О. Чепок, "Выбор типов генеральных грузов при моделировании их укладки в грузовые помещения судна". *Судовождение*: Сб. научн. трудов НУ «ОМА». Одесса, 2009. №17. С. 233 – 238.
3. М.Н. Цымбал, "Формирование тензора загрузки контейнеровоза в случае проведения грузовых операций в нескольких портах". *Судовождение*: Сб. научн. трудов НУ «ОМА». Одесса, 2019. №29. С. 35 – 41.

ОСНОВНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА РОЗВИТОК ТОРГОВЕЛЬНОГО СУДНОПЛАВСТВА

Вареник І.С., курсант групи 1601, **Ніколаєва Л.Л.,** доктор економічних наук, професор

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Розвиток торговельного судноплавства у 2025 році відбувається під впливом новітніх технологій, екологічних вимог і цифрової трансформації. Європейський регламент FuelEU Maritime спрямований на поступове скорочення викидів від морського палива, що стимулює впровадження кліматично нейтрального альтернативного палива та низьковуглецевих технологій. Великі судноплавні компанії переходять на судна з двопаливними двигунами, що дозволяє зменшити екологічний вплив. Процеси цифровізації та впровадження таких технологій, як Інтернет речей (IoT), блокчейн, штучного інтелекту (ШІ) і цифрових двійників, підвищують ефективність управління судноплавством, прозорість операцій і можливості оптимізації маршрутів і вантажопотоків. Ці інновації допомагають знизити витрати, прискорити доставку і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Вплив на розвиток торговельного судноплавства можна розділити на такі фактори:

- економічні умови, включно з попитом на морські перевезення, рівнем національної та міжнародної торгівлі, фінансовою стабільністю та податковим навантаженням на судноплавство;
- геополітичне розташування країни, розвиток інфраструктури портів, суднобудівна промисловість та науково-дослідний потенціал;
- розвиток технологій, впровадження цифрових та екологічних рішень, автоматизація судноплавства;
- державна політика і інституційна підтримка у сфері морського права, логістики, фрахтування, регуляторних норм;
- енергетичні фактори і екологічні вимоги, зокрема підвищення стандартів екологічної безпеки і витрат на паливо;
- зміни у демографії та геоekonomічні дисбаланси, що впливають на споживчий попит і структуру транспортних потоків;
- соціальні та кадрові фактори, зокрема стрес, професійна підготовка та збереження морських традицій.

Серед перелічених, первісним є економічні фактори, що впливають на судноплавство, включають кілька ключових аспектів. Насамперед це економічна кон'юнктура, яка формується попитом і пропозицією на морські перевезення, станом національної економіки та світої торгівлі загалом. Вартість та доступність палива суттєво впливають на експлуатаційні витрати судноплавних компаній, особливо в умовах зростаючих екологічних вимог і переходу на альтернативні види палива. Фінансова політика, включно з податками та кредитними механізмами, визначає можливості модернізації флоту, що напряму впливає на конкурентоспроможність галузі.

Додатково важливими є геополітичні ризики, які породжують невизначеність на ринку, призводять до коливання цін і ускладнюють операційну діяльність. Економічні дисбаланси та військові конфлікти створюють додаткові виклики для стабільної роботи судноплавства. Технологічний розвиток, хоч і є позитивним фактором, також потребує капіталовкладень, вплив яких відбивається на фінансове становище компаній. Технології та автоматизація суттєво змінюють торговельне судноплавство, підвищуючи ефективність, безпеку та конкурентоспроможність галузі. Сучасні рішення включають впровадження систем Інтернету речей (IoT) та блокчейн для інтегрованого управління логістикою, що дозволяє створювати

єдині аналітичні центри для моніторингу руху суден, контролю вантажів і оптимізації маршрутів.

Автоматизація також охоплює цифрові платформи для взаємодії між судновласниками, портовими операторами та регуляторами, що знижує бюрократичні перепони і пришвидшує оформлення операцій. Використання сучасних систем управління безпекою (ISM, ISO стандарти) підвищує рівень безпеки перевезень та сумісність із міжнародними нормами. Крім того, цифрова трансформація передбачає підвищення кваліфікації персоналу, створення навчальних центрів і адаптацію освітніх програм під сучасні вимоги. В цілому, технології та автоматизація відкривають нові перспективи для підвищення екологічної стійкості, оперативності і зниження витрат у торговому судноплаванні [1].

Енергетичні фактори, екологічні вимоги, разом з коливанням цін на нафту мають значний вплив на витрати судноплавних компаній, оскільки паливо становить одну з найбільших статей експлуатаційних витрат у судноплаванні. Зростання цін на нафту безпосередньо підвищує вартість бункерного палива, що викликає збільшення операційних витрат. Це, у свою чергу, призводить до зростання фрахтових ставок, оскільки судновласники намагаються компенсувати зростаючі витрати за допомогою паливних надбавок (BAF). Зворотній процес – падіння цін на нафту може тимчасово знизити витрати, що підвищує конкурентоспроможність судноплавання і стимулює зростання перевезень. Однак висока волатильність цін на нафту ускладнює планування бюджету і робить галузь більш вразливою до економічних коливань. Додатково до впливу вартості палива, підвищені екологічні вимоги змушують компанії переходити на дорожчі, більш екологічні види палива чи впроваджувати технології, що підвищують ефективність споживання палива, що також тисне на витрати.

Геоелекономічні фактори та ринкові перебої, як-от санкції проти великих експортерів нафти, можуть додатково впливати на доступність та ціну палива, створюючи додаткові ризики для судноплавних компаній. Загалом, коливання цін на нафту є одним із найсуттєвіших макроекономічних чинників, що визначають фінансову стабільність і стратегії розвитку компаній у галузі морського судноплавання [2].

Соціальні та кадрові проблеми в судноплавній галузі мають суттєвий вплив на конкурентоздатність і стабільність розвитку цієї сфери. Серед основних проблем виділяють відтік кваліфікованих моряків, які виникають через воєнні ризики та нестабільність. Наприклад, українські морські освітні заклади зазнають маргіналізації, недостатньо фінансуються, а сама професія втрачає привабливість для молоді через невизначеність перспектив. Інші суттєві проблеми пов'язані з браком державної підтримки, складною регуляторною базою, відсутністю лізингових програм для оновлення застарілого флоту та додатковими страхувальними преміями через воєнні ризики, особливо на Чорному морі та Дунаї. Це все підштовхує бізнес імпровізувати, що часто шкодить ефективності роботи.

Перелічені фактори формують комплексний вплив на стан і перспективи розвитку галузі, які необхідно враховувати для ефективного планування та управління в торговельному судноплаванні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Електронна версія журналу «Логістика в Україні: новини, аналітика, дослідження». Електронний ресурс **URL:** <https://logistics-ukraine.com/2025/02/21/судноплавання/>
2. Алексеевська Г., Якубовський С., Пічугіна Ю. Зростання вартості перевезень морським транспортом як драйвер глобальних інфляційних процесів. *Galician economic journal*, No 3 (94). 2025. Електронний ресурс **URL:** <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/94/1439.pdf>.

ВПЛИВ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ МОРСЬКИХ ПОРТІВ УКРАЇНИ

Омельченко Т.Ю., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

В морській індустрії сучасні технології відіграють дуже важливу роль, причому їх застосування і значення постійно підвищуються. Такі процеси тісно пов'язані між собою, хоча їх напрямок розвитку може бути направлений за зовсім різними питаннями, але вони являють собою єдиний потік інновацій у морській галузі.

Серед таких інновацій в морській індустрії є цифрові технології, які суттєво підвищують ефективність роботи морських портів, що сприяє підвищенню показників вантажообігу та інтеграції портів у міжнародні логістичні мережі. В Україні, незважаючи на складні геополітичні умови та військові події інтеграційні процеси продовжують активно реалізовуватись у портах. Проте морегосподарський комплекс залишається важливою складовою економіки країни. Напередодні повномасштабного вторгнення морські порти України обробляли 77% загального українського експорту вантажів. У 2025 році, попри війну, порти Великої Одеси та Дунайського регіону забезпечують близько 60% експорту за вартістю [1]. Серед основних напрямків цифрової трансформації портів України можна відзначити впровадження:

- електронного документообігу та цифрових платформ для управління перевезеннями, що скорочує час оформлення суден і вантажів в порту;
- автоматизацію логістичних процесів, яка зменшує затримки в обробці вантажів і черги на заїзд транспортних засобів (проект «DocPort», що вже працює в портах Дунайської системи, Одесі, Чорноморську);
- єдиної цифрової платформи для обміну інформацією між портовими операторами, митницею, перевізниками та адміністрацією морських портів України (АМПУ).

Такі нововведення дозволили значно підвищити пропускну спроможність українських портів, що особливо важливо у час постійних військових викликів.

Серед наймасштабніших задіяних проектів цифровізації портів України, особливе місце займає проект «DocPort». «DocPort» - це комплексна цифрова платформа, що охоплює електронне оформлення пропусків для автотранспорту, управління чергами через «дозований заїзд», обробку та зберігання інформації про вантажі та транспортні засоби. Вона реалізує принцип «єдиного вікна» для всіх основних процесів у портах, скорочуючи час оформлення і адміністративні процедури. Порівняння функціоналу «DocPort» і «Єдиного морського вікна» (ЄМВ) у портах України відображено у табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння цифрових платформ «DocPort» і «Єдиного морського вікна» в портах України

Параметр	DocPort	Єдине морське вікно
1	2	3
Призначення	Цифрова платформа, що охоплює електронне оформлення пропусків автотранспорту, дозований заїзд, обробку вантажів і транспортних засобів, а також інтеграцію адміністративних процедур у портах. Створена АМПУ як частина екосистеми цифровізації портів.	Більш широка система «єдиного вікна» для цифрової автоматизації всіх адміністративних процедур, пов'язаних з обробкою суден і вантажів у морських портах. Відповідає вимогам Міжнародної морської організації (ІМО).

Продовження табл. 1

1	2	3
Функціонал	Охоплює дозований заїзд автотранспорту, електронні перепустки, автоматизацію адміністративних процедур у межах порту, роботу з митними і прикордонними службами. Має морський модуль, що автоматизує оформлення суднозаходів.	Забезпечує подання інформації одноразово, скорочення часу проходження формальностей, запобігає дублюванню даних, повний цифровий документообіг, підвищує прозорість процесів, інтеграцію міжнародних норм і директив.
Інтеграція	Інтегрована з митницею, прикордонною службою, операторами портів, реалізує обмін даними без дублювань для прискорення процедур.	Є загальної платформою, яка об'єднує всі учасники процесу, включно з міжнародними партнерами, забезпечує доступність інформації всім зацікавленим сторонам.
Вплив на операції	Скорочує час оформлення транспорту в порту з 24 год до 1 хвилини; зменшує час заїзду з 10-15 хв до 1 хвилини; економія часу простою суден на 3-6 годин.	Мінімізує витрати часу на адміністративні процедури, підвищує оперативність обробки суден і вантажів, знижує ризики помилок і корупції.
Етап впровадження	Запущений в портах Рені, Ізмаїл, Чорноморськ, Одеса та Південний (морський модуль у тестовому режимі).	Є кінцевою метою поетапної цифровізації портів; DocPort є ключовою складовою цієї системи.

У 2024 році морські порти України обслужили понад 9 тисяч суден, а проєкти на кшталт DocPort скоротили час очікування вантажівок на заїзд у порти на 30%, оптимізуючи логістику та підвищуючи безпеку. З 2025 року почато тестування морського модуля «DocPort» у порту «Південний», який автоматизує адміністративні процедури у процесі обробки суден і збільшує прозорість та ефективність [2]. З табл. 1 можна зробити висновок, що дана цифрова платформа є практичним інструментом і технологічним майданчиком, що реалізує основні функції цифрової трансформації в межах портів, тоді як Єдине морське вікно – це концепція і комплексна цифрова система, до якої входить «DocPort» як її складова. Єдине морське вікно зосереджено на максимальній інтеграції і відповідності міжнародним стандартам для комплексного спрощення морських логістичних і адміністративних процесів. Впровадження «DocPort» є важливим кроком на шляху до повноцінного функціонування Єдиного морського вікна в Україні.

Сьогодні держава активно підтримує цифрову трансформацію галузі на законодавчому рівні, орієнтуючись на євростандарти і інтеграцію в європейські транспортні мережі (TEN-T). Цей напрям є одним із ключових для стабілізації та розвитку економіки України через модернізацію портів і спрощення міжнародної торгівлі. Важливо не зупинятись на досягнутих результатах і в подальшому впроваджувати цифрові інновації, що забезпечить стійкість і конкурентоспроможність українських портів у світовому морському транспорті.

ЛІТЕРАТУРА

- Електронний журнал «Liga.net». Електронний ресурс URL: <https://biz.liga.net/ua/all/transport/interview/miliardni-zbytky-vtrata-tranzytu-ta-tsyfrovizatsiia-morskykh-portiv-interviu-holovy-ampu>
- Електронний журнал «Logist today». Електронний ресурс URL: http://logist.today/dnevnik_logista-uk/2025-09-17/v-portu-pivdennyj-zarabotal-avtomobilnyj-modul-docport-2/

КОРПОРАТИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ СУДНОПЛАВНОЮ КОМПАНІЄЮ

Петріченко Є.А., к.т.н., доцент кафедри морських перевезень

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Вступ. Судноплавство є ключовим сектором світової економіки, грає важливу роль у розвитку міжнародної торгівлі та забезпеченні ефективного руху товарів. Однак, галузь судноплавства зіштовхується з рядом викликів, таких як збільшення конкуренції, регулюючих обмежень у використанні інформаційних технологій, високих вимог до безпеки та екологічної сталості. Один з основних аспектів, який впливає на продуктивність роботи морських суден, полягає в ефективній роботі систем експлуатації та управлінні ними.

На сучасному етапі розвитку судноплавних компаній простежується необхідність впровадження корпоративних інформаційних систем (KIC), які включали б декілька консультативних систем підтримки прийняття рішень (СППР) для різних аспектів їх діяльності, таких як судноплавна експлуатація, технічне обслуговування, маркетинг, менеджмент та інше.

Сприйняття впровадження KIC у судноплавних компаніях, та СППР як інтегрованої частини їх діяльності, приводить до покращення економічної ефективності, якості управління та координації дій між різними підрозділами організаціями. Також допомагає виявити та вирішити проблеми, пов'язані з низькою оперативністю системи, забезпечує більш надійну та систематичну обробку інформації для наступного статистичного аналізу. Впровадження цифрової трансформації та, на її основі, інформаційного моделювання, забезпечує механізм ефективної реалізації нових методів управління роботою судна. [1].

Судноплавні компанії просувають цифрову трансформацію як майбутнє морської галузі. Вивчення цих цілей та стратегій щодо їх досягнення було б корисним для кращого розуміння шляху, по якому рухається морська галузь. [2]. Підвищення ефективності роботи судноплавної компанії на новій якісній основі, неможливо без впровадження KIC, систем обробки даних та СППР. СППР – двигун ефективної реалізації нових методів управління.

Без впровадженням подібних систем не вдалося вирішити ключові проблеми технології обміну інформацією як між підрозділами судноплавних компаній, так і між судноплавними компаніями, адміністрацією судноплавства та підприємствами морської промисловості.

Актуальним є питання цифрової трансформації операційної діяльності судноплавної компанії, та на базі цього процесу, створення єдиного сховища інформації (KIC) та технології оперування цією інформацією по напрямкам діяльності, підрозділам судноплавної компанії.

Постановка задачі. Сучасні тенденції розвитку транспортних технологій спираються на цифрову трансформацію діяльності компанії. Що забезпечує сталий розвиток бізнесу в умовах динаміки зовнішнього середовища. Основними передумовами технологічної трансформації є нові цифрові технології: мобільний Інтернет, соціальні мережі, штучний інтелект, BigData, хмарні технології, роботи нового покоління, віртуальна та доповнена реальність, Інтернет речей, блокчейни. Розширення спектру використання та фінансова доступність технологій призвели до масового створення, подання та передачі інформації в цифровому вигляді. Зараз практично вся інформація існує в електронній (цифровій) формі. Впровадження корпоративних інформаційних систем у судноплавних компаніях, та СППР як інтегральної частини їх діяльності може привести до покращення ефективності, якості управління та координації дій між різними підрозділами і сторонніми організаціями. Окрім того, це допоможе виявити та вирішити проблеми, пов'язані з низькою оперативністю системи, а також забезпечити більш надійну та систематичну обробку інформації для наступного статистичного аналізу.

Суттєвим аспектом корпоративних інформаційних систем для судноплавних компаній є необхідність інтеграції з Глобальною мережею аналізу та інформації (GAIN - Global Analysis and Information Network). Великі та провідні судноплавні компанії такі як Maersk Line, MSC, China COSCO Shipping, CMA CGM, Hapag-Lloyd, Evergreen, Yang Ming, ZIM вже використовують GAIN у своїй діяльності. Ці компанії розуміють важливість взаємодії та обміну інформацією в межах глобальної мережі для забезпечення ефективності та конкурентоспроможності своїх операцій. Корпоративні інформаційні системи не можна розглядати як просте об'єднання.

Багато дослідників сходяться на думці, що морському транспорту бракує фундаментальних досліджень в області цифрової трансформації, інформаційних технологій Enterprise Resource Planning (ERP). Це викликає труднощі в управлінні сьогоденням та формуванням майбутньої судноплавної компанії. Тому термін «цифрової зрілості галузі» [3], є актуальним.

Морські перевезення є частиною системи ланцюга поставок, а цифрова інтеграція визначає організації, які залишаються в ринковій конкуренції.

Головна риса в організації перевезення вантажів – загальносистемний підхід до діяльності з переміщення вантажів та пасажирів. Йдеться про принцип «сукупних витрат». Цей принцип використовується для прийняття рішень про вибір видів транспорту, способів транспортування, перевізників, маршрутів прямування, допоміжних посередників (страховик, стивідор, банк, митний брокер) вирішувати проблему комплексно. КІС дозволяє розв'язання задачі за критеріями (вартість перевезення, термін доставки та ін.), замінивши їх на один глобальний.

Головними особливостями підходу до побудови КІС для судно плавних компаній є:

1. Всебічний аналіз бізнес-процесів, на основі якого проводиться розробка проекту інформаційної системи та обґрунтування закладених у ньому рішень;
2. Використання широкої палітри сучасних методологій та інструментальних засобів моделювання та проектування систем; детальне опрацювання та погодження із замовником усіх етапів розробки проекту, контрольних точок, необхідних ресурсів.

Можна позначити чотири основні функціональні компоненти КІС:

1. База типових операційних даних (БД) – дані з різних нормативних джерел (техніко економічні характеристики суден, тарифів, портів, грузив ,клас пасажирів і т. д.) включаючи внутрішні дані організації, дані, що генеруються різними додатками, а також зовнішні дані, отримані з Інтернету, і т. д. та представляє собою банк даних, який підтримує інформаційні потреби організації.

2. База Моделей типових операцій компанії яка складається з різних математичних та аналітичних моделей, які використовуються для аналізу складних даних, тим самим виробляючи необхідну інформацію. Модель передбачає вихідні дані на основі різних вхідних даних або умов, або визначає комбінацію умов і вхідних даних, яка потрібна для отримання бажаного результату. Вибір моделей, які мають бути включені до системи підтримки прийняття рішень, залежить від вимог користувача та цілей системи підтримки прийняття рішень (СППР)

3. Система управління базою даних (СУБД) – сукупність програмних засобів загального чи спеціального призначення, що забезпечують управління виробництвом, маніпулюванням, та використанням баз даних (вставляти, видаляти, організувати та оновлювати). Система забезпечує безпеку зберігання даних, надійність та цілісність.

4. Система управління базою моделей (СУБМ) яка включає Мову опису даних(МОД) та Мову маніпулювання даними (ММД).

Використання бази моделей суттєво відрізняє СППР від звітних інформаційних систем. База моделей для СППР – це спеціально організований набір математичних моделей (загально-цільових та специфічних). Частина представлених моделей підтримує обчислення, наприклад, одно-факторні та багато-факторні моделі які представляють зв'язок між багатьма змінними.

Організація БД, надає єдине середовище для зберігання корпоративних даних, у структурах, оптимізованих до виконання аналітичних операцій.

Висновок. Впровадження КІС та СППР забезпечує конкурентоспроможність, сталий розвиток бізнесу. Інтегрована інформаційна системи баз даних для підприємств морського транспорту у практичній площині, дає можливість:

1. Прогнозування, оперування та аналізу транспортно логістичної діяльності. Ефективну та швидко реалізацію закладених у неї рішень;

2. Досліджувати динаміку системи. Існує можливість використання широкої палітри сучасних інструментальних засобів моделювання та проектування систем;

3. Застосування КІС дозволяє використовувати одну інтегровану програму замість кількох розрізнених. Єдина інтегрована система яка може керувати обробкою, логістикою, дистрибуцією, запасами, доставкою, виставленням рахунків-фактур та бухгалтерським обліком.

4. Цифрова трансформація підвищує конкурентоспроможність компанії за рахунок оперативного доступу до бази даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Y. Ichimura, Y., Dalaklis, D., Kitada, M., & Christodoulou, A. (2022). Shipping in the era of digitalization: Mapping the future strategic plans of major maritime commercial actors. Digital Business, 2(1), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100022>
2. A.I. Golovan . Prospective directions and innovative approaches to managing the cargo vessels maintenance system. Transpot Development №2№ 2(17), 2023. <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.04>
3. Nerima, M., & Ralyté, J. (2021). Towards a Digital Maturity Balance Model for Public Organizations. Lecture Notes in Business Information Processing, 415 LNBIP(May), 295–310. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75018-3_20.

УДК 656.073(045)

ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ НЕПРОДУКТИВНИХ ПРОСТОЇВ СУДЕН НА ВАНТАЖНИХ ТЕРМІНАЛАХ

Петров І.М., д.т.н., професор, к.д.п., НУОМА, **Рудніченко М.Д.**, к.т.н, доцент, НУ «Одеська політехніка, **Казак Ю.В.**, к.т.н.

Вступ. Розгляд діяльності портових терміналів як ланок транспортно-логістичних ланцюгів пов'язані з прогнозуванням ризиків несвоєчасного прибуття вантажу складу чи взагалі з відсутності його складі у необхідному кількості. Цей прогноз необхідний для науково обґрунтованого управління зазначеними ризиками [1].

Постановка задачі. Нами розглянуто портовий термінал, що складається з n взаємозамінних причалів та складу. Однорідний вантаж завозиться до складу терміналу наземними транспортними засобами (ТЗ), що описується моделлю процесу накопичення [2]. Інтервали часу між сусідніми моментами прибуття ТЗ є взаємно незалежними випадковими величинами (ВН ВВ) з однаковою функцією розподілу (фр) $A(t)$, а їх вантажопідйомності (в/п) – також ВН ВВ з однією фр $G(x)$. Весь вантаж вивозиться суднами, що прибувають відповідно до закону Пуассона з параметром a , а фр чистої в/п довільного судна є $H(x)$. Інтенсивність навантаження на судно є W . Гранично допустима довжина черги суден в очікуванні причалу є r .

Результати дослідження. Побудова математичної моделі виконано у припущенні, що: місткість складу досить велика, що унеможливорює додаткові простой ТЗ; час вивантаження вантажу з ТЗ на склад дуже мало, тобто фронт вивантаження має необмежену пропускну

здатність. Ці припущення не відкидають ситуації очікування судами підвезення вантажу на ТЗ.

Позначимо: $v(t)$ – кількість суден, що стоять біля причалів та в черзі до них у момент часу t ; $\xi(t)$ – кількість вантажу на складі в момент часу t .

Модель описується системою інтегро-диференціальних рівнянь щодо граничного розподілу ймовірностей. Для вивчення роботи терміналу в режимі потрібно знайти граничний при $t \rightarrow \infty$ розподіл випадкового вектору $\{v(t), \xi(t)\}$.

Позначимо: $F_k(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{v(t) = k, \xi(t) \leq x\}, x \geq 0, k = 0, 1, \dots, n + r,$

шукаємо граничний розподіл ймовірностей (у припущенні існування зазначених меж). Для його знаходження зроблено низку додаткових припущень, що дозволяють звести випадковий процес $\{v(t), \xi(t)\}$ до марковського. Справедливо

$$A(t) = 1 - e^{-\lambda t}, t \geq 0;$$

$$H(x) = 1 - e^{-x/g}, x \geq 0,$$

де $1/\lambda$ – середній інтервал часу між сусідніми прибуттями суден на термінал; g – середня чиста в/п судна.

При цих припущеннях потік завантажених ТЗ описується моделлю складного пуассонівського процесу $X(t)$, $X(0)=0$, з невід'ємними ненегативними траєкторіями та нульовим зносом [3], а процес $\{v(t), \xi(t)\}$ стає однорідним марківським. Для знаходження граничного розподілу цього процесу необхідно спочатку вивести відповідну систему інтегро-диференціальних рівнянь шляхом запису асимптотичних співвідношень, що пов'язують розподіл, що шукається, у двох нескінченно близьких моментах часу, і в подальшому граничному переході [4].

Типові ймовірні міркування [5,6] показують справедливність наступної системи інтегро-диференціальних рівнянь і граничних умов:

$$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2)F_0(x) + \lambda_1 \int_0^x G(x-y) dF_0(y) + \mu(F_1(x) - F_1(0)), x > 0, \quad (1)$$

$$-W_k F_k'(x) = -(\lambda_1 + \lambda_2)F_k(x) + \lambda_1 \int_0^x G(x-y) dF_k(y) - \mu_k(F_k(x) - F_k(0)) +$$

$$+ (N - k + 1)\lambda_2 F_{k-1}(x) + \mu_{k+1}(F_{k+1}(x) - F_{k+1}(0)), x > 0, k = 1, 2, \dots, n + r - 1, \quad (2)$$

$$-W_N F_N'(x) = -(\lambda_1 + \mu_N)F_N(x) + \lambda_1 \int_0^x G(x-y) dF_N(y) + \lambda_2 F_{N-1}(x), x > 0, \quad (3)$$

$$W_k F_k'(0) = [\lambda_1 + \lambda_2(N - k)]F_k(0) + \lambda_2(N - k + 1)F_{k-1}(0), k = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

$$F_0(0) = 0. \quad (5)$$

де $W_k = \mu_k g$; $\mu_k = \mu \min(k, n)$; $\mu = W / g$.

Умова нормування:

$$\sum_{k=0}^N F_k(\infty) = 1. \quad (6)$$

Система рівнянь (1)-(6) може бути вирішена аналітично за допомогою методу перетворення Лапласа. Позначимо через

$$\begin{aligned} \varphi_0(s) &= \int_0^{\infty} e^{-sx} dF_0(x), \\ \varphi_k(s) &= F_k(0) + \int_0^{\infty} e^{-sx} dF_k(x), \operatorname{Re} s \geq 0, k=1,2,\dots,n+r, \end{aligned} \quad (7)$$

перетворення Лапласа-Стилтьєса від функцій $F_k(x), k=0,1,\dots,n+r$. Перетворимо систему (1)-(6), застосувавши до інтегральних членів теорему про згортання функцій та враховуючи умови (4), (5). Як результат, отримуємо наступну систему алгебраїчних рівнянь для знаходження функцій (7):

$$-[\lambda_1(1-g(s)) + \lambda_2]\varphi_0(s) + \mu_1\varphi_1(s) = \mu_1F_1(0), \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & -[sW_k + \mu_k + \lambda_1(1-g(s)) + \lambda_2]\varphi_k(s) + \lambda_2\varphi_{k-1}(s) + \\ & + \mu_{k+1}\varphi_{k+1}(s) = (-\mu_k + sW_k)F_k(0) + \mu_{k+1}F_{k+1}(0), k=1,2,\dots,n+r-1, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & -[sW_N + \lambda_1(1-g(s)) + \mu_N]\varphi_{n+r}(s) + \lambda_2\varphi_{n+r-1}(s) = \\ & = (-\mu_{n+r} + sW_{n+r})F_{n+r}(0), \operatorname{Re} s \geq 0; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\sum_{k=0}^{n+r} \varphi_k(0) = 1. \quad (11)$$

Підсумовуючи рівняння системи (8)-(10), після елементарних перетворень отримаємо рівність:

$$-\lambda_1(1-g(s)) \sum_{k=0}^{n+r} \varphi_k(s) = s \sum_{k=1}^{n+r} [W_k(F_k(0) - \varphi_k(s))]. \quad (12)$$

Розділивши обидві його частини на s і перейшовши до межі при $s \rightarrow +0$, отримаємо співвідношення

$$\lambda_1 g^{(1)} = \sum_{k=1}^{r+n} W_k(F_k(\infty) - F_k(0)), \quad (13)$$

где $g^{(1)} = \int_0^{\infty} x dG(x) < \infty$ – середня в/п одного ТЗ.

Видно, що в лівій частині рівності (13) стоїть інтенсивність вантажопотоку, що надходить на склад терміналу, а в лівій – інтенсивність потоку відвантаженого зі складу на судна вантажу.

Рішення системи (8)-(10) може бути знайдено шляхом послідовного вираження функцій $\varphi_k(s), k = 1, 2, \dots, n+r$, через $\varphi_0(s)$ та подальшого використання рівності (12).

Постійні, що залишилися невідомими $F_k(0), k = 1, 2, \dots, n+r$, знаходяться з умови аналітичності функцій $\varphi_k(s), k = 0, 1, \dots, n+r$, у правій напівплощині $\text{Res} \geq 0$. Можна показати, що визначник системи (8)-(10) має рівно $n+r$ нулів у цій напівплощині.

Визначивши функції $F_k(x), k = 0, 1, \dots, n+r$, можна обчислити:

а) стаціонарне математичне очікування кількості вантажу, що знаходиться на складі у довільний момент часу,

$$\mathbf{M}\xi = \int_0^{\infty} x \sum_{k=0}^{n+r} dF_k(x) = - \sum_{k=0}^{n+r} \frac{d}{ds} \varphi_k(s) \Big|_{s=0}; \quad (14)$$

б) стаціонарне математичне очікування числа судів, що у довільний час на терміналі,

$$\mathbf{M}v = \sum_{k=1}^{n+r} k F_k(\infty) = \sum_{k=1}^{n+r} k \varphi_k(0); \quad (15)$$

в) стаціонарну ймовірність того, що склад порожній і судна додатково простоюють в очікуванні підвезення вантажу

$$\sum_{k=1}^{n+r} F_k(0); \quad (16)$$

г) пропускну спроможність термінального фронту навантаження

$$\sum_{k=1}^{n+r} W_k F_k(\infty). \quad (17)$$

Зазначимо, що резерв пропускну спроможності фронту навантаження терміналу

$$\sum_{k=1}^{n+r} W_k F_k(\infty) - \lambda_1 g^{(1)} \quad (18)$$

повинен бути позитивним, щоб уникнути занадто великого скупчення вантажу (див. (13)).

Висновки. 1. З формальної точки зору позитивність резерву означає режиму роботи аналізованої транспортно-складської системи.

2. Проведені дослідження дозволяють поширювати висновки на розробку критеріїв доцільності страхування ризику простою суден через додаткове очікування підвезення вантажу на термінал.

ЛІТЕРАТУРА

1. Петров І.М. Сучасний стан і проблеми розвитку берегових сервісних формувань на морському транспорті / Принципи розвитку організації морських перевезень в сучасних умовах міжнародного судноплавства: монографія // [авт. кол.: Ніколаєва Л.Л., Савчук В.Д., Петров І.М. та ін.] під редакцією Л.Л. Ніколаєвої. – Одеса: НУ «ОМА». 2019. – С. 123-162.
2. Воевудский, Е.Н. Стохастические модели в проектировании портов и управлении их деятельностью / Е.Н. Воевудский, М.Я. Постан. – М.: Транспорт, 1987. – 318 с.
3. Постан, М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок / М.Я. Постан. – Одесса: Астропринт, 2006. – 376 с.

4. Постан, М.Я. Об унифицированных схемах моделирования взаимодействия транспортных потоков в пунктах перевалки грузов /М.Я. Постан // ВИНТИ. Транспорт: наука, техника, управление.–1992.– №6.– С. 8–20.
5. Prabhu, N.U. Stochastic storage processes: queues, insurance risk, dams, and data communications. 2nd Ed./ N.U. Prabhu. NY–Berlin–Heidelberg: Springer, 1997.– 206 p.
6. Постан М.Я. A method of determination of port terminal capacity under irregular cargo delivery and pickup/M.Я. Постан, L.V. Kushnir//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V.4, № 4/3 (82). – P. 30–37. (DOI: 10.15587/ 1729 - 4061.2016.76285)

УДК 656.073(045)

КОНЦЕПЦІЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПОРТОВИХ ТЕРМІНАЛІВ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ СТОЯНКОВОГО ЧАСУ СУДЕН

¹Петров І.М., д.т.н., професор, к.д.п. ²Рудніченко М.Д., к.т.н, доцент,
³Казак Ю.В., к.т.н.

^{1,3}Національний університет "Одеська морська академія", Україна

²Національний університет «Одеська політехніка»

Вступ. Ефективність функціонування портових вантажних терміналів як основної виробничої ланки у транспортно-логістичних ланцюгах має прямий вплив на загальні терміни та вартість доставки вантажів, а також на забезпечення їхнього належного збереження [1]. Взаємодія різнорідних транспортних потоків суміжних видів транспорту в межах порту часто супроводжується об'єктивно існуючою нерівномірністю та нерегулярністю руху транспортних засобів, що призводить до ускладнення режиму експлуатації виробничих потужностей та обумовлює необхідність створення їх резервів. З економічної та організаційної точки зору це спричиняє значні складнощі в процесі забезпечення безперервної та швидкої обробки морських суден [2].

Надлишковість або, навпаки, недостатність вантажу на складі, а також низька пропускна спроможність вантажних фронтів, можуть призводити до непродуктивного простою суден в очікуванні початку вантажних операцій або в процесі їхнього виконання [3]. Такий простой суден генерує додаткові фінансові витрати для судновласників і становить суттєвий ризик для морських агентів та канвасерів, які відповідають за забезпечення завантаження та своєчасного відходу суден з порту. Саме тому виникає нагальна практична потреба у прогнозуванні ризиків несвоєчасної обробки суден та розробленні науково обґрунтованих методів управління цими ризиками з метою мінімізації загальних часових витрат, пов'язаних з портовою діяльністю [4].

Для формального опису та аналізу функціонування вантажних терміналів найбільш доцільним є використання поєднання методів теорії масового обслуговування та теорії запасів. Теорія масового обслуговування дозволяє здійснювати прогнозування коливань довжини черг транспортних засобів та часу їхнього перебування в черзі в очікуванні початку вантажних операцій. У свою чергу, теорія запасів надає можливість коректно оцінити очікуваний рівень запасів вантажу на складі терміналу та визначити його оптимальну місткість [5]. Комплексне застосування цих інструментів створює необхідну методологічну базу для розробки стохастичної моделі роботи портового терміналу, що дозволяє оцінити ризик простою суден та обґрунтувати шляхи мінімізації часових витрат на їхнє обслуговування [6].

Постановка задачі. Головною метою запропонованого дослідження є побудова та детальний аналіз стохастичної моделі функціонування портового терміналу в умовах

нерівномірного надходження вантажу наземним транспортом та його подальшого вивезення морськими суднами, що прибувають для завантаження. На основі отриманих аналітичних результатів ставиться завдання розробити та обґрунтувати метод кількісної оцінки ризику додаткового простою суден, який безпосередньо корелює із загальними часовими витратами на портову обробку.

Основна частина. Для моделювання роботи портового терміналу було прийнято припущення про його функціонування як єдиної транспортно-складської системи, що складається з кількох взаємозамінних причалів та вантажного складу. Однорідний вантаж надходить на термінал за допомогою наземних транспортних засобів, таких як автомашини або залізничні потяги, і акумулюється на складі. Потік прибуття цих транспортних засобів описується моделлю процесу накопичення, де інтервали часу між сусідніми прибуттями є взаємно незалежними випадковими величинами, а їхні вантажопідйомності також є незалежними випадковими величинами.

Вантаж вивозиться з терміналу морськими суднами, прибуття яких для завантаження описується моделлю Пуассонівського закону. Інтенсивність навантаження вантажу зі складу на будь-яке судно, за умови, що склад не порожній, приймається постійною. Для спрощення аналізу та можливості знаходження аналітичного рішення було зроблено два ключові допущення:

- місткість вантажного складу є достатньо великою, що дозволяє нехтувати ймовірністю додаткового простою наземних транспортних засобів, спричиненого повним заповненням складу;
- час вивантаження вантажу з наземних транспортних засобів на склад є дуже малим, що еквівалентно припущенню про необмежену пропускну спроможність фронту вивантаження.

Важливо відзначити, що ці допущення не виключають ситуацію, за якої судна можуть зазнавати додаткового простою біля причалів через тимчасову відсутність вантажу на складі, очікуючи його підвезення, що є критичним фактором часових витрат.

При прийнятих допущеннях процес, що описує кількість суден на терміналі та обсяг вантажу на складі, може бути зведений до однорідного марківського процесу з нульовим знесенням. Для визначення граничного розподілу ймовірностей станів цього процесу, що характеризує сталий режим роботи терміналу, була виведена відповідна система інтегродиференціальних рівнянь та граничних умов. Ця система є основою для аналітичного моделювання. Розв'язання отриманої системи рівнянь здійснюється за допомогою методу перетворення Лапласа-Стілтєса, із застосуванням теореми про згортання функцій. Це дозволяє отримати систему алгебраїчних рівнянь відносно функцій перетворення Лапласа-Стілтєса для граничного розподілу ймовірностей. В ході аналізу цієї системи було підтверджено співвідношення, відоме як закон збереження вантажопотоку, яке встановлює рівність інтенсивності вантажопотоку, що надходить на склад, та інтенсивності вантажу, що відвантажується на судна, що є необхідною умовою існування сталого режиму роботи системи. Визначення функцій перетворення Лапласа-Стілтєса дає змогу обчислити низку важливих показників функціонування терміналу, безпосередньо пов'язаних із часовими витратами:

- стаціонарне математичне очікування кількості вантажу, що перебуває на складі у довільний момент часу;
- стаціонарне математичне очікування кількості суден, які перебувають на терміналі, що є прямим індикатором часу очікування обробки;
- стаціонарна ймовірність того, що склад є порожнім, і судна простоюють, очікуючи підвезення вантажу, що є критичним показником додаткових часових витрат;
- пропускну спроможність вантажного фронту терміналу та її резерв, позитивне значення якого є обов'язковим для уникнення надмірного скупчення вантажу та забезпечення сталого режиму.

Окремо було розглянуто практичний аспект використання отриманих результатів, зосереджений на обґрунтуванні доцільності страхування ризику додаткового простою суден. Оскільки цей ризик найбільшою мірою лежить на відповідальності морського агента-канвасера, було розроблено простий критерій доцільності страхування. Цей критерій порівнює додаткові середні витрати судновласника, спричинені простоєм судна через відсутність вантажу на складі, з розміром страхової премії. Прийняття рішення про страхування, засноване на такому критерії, дозволяє мінімізувати фінансові втрати, які є наслідком неконтрольованих часових витрат. Отримані аналітичні співвідношення є основою для формування стратегії поповнення запасів вантажів на складах порту, що є ключовим механізмом мінімізації часу простою суден в умовах нерівномірного прибуття наземного транспорту.

Концептуальна схема пропонованого підходу наведена на рис.1.

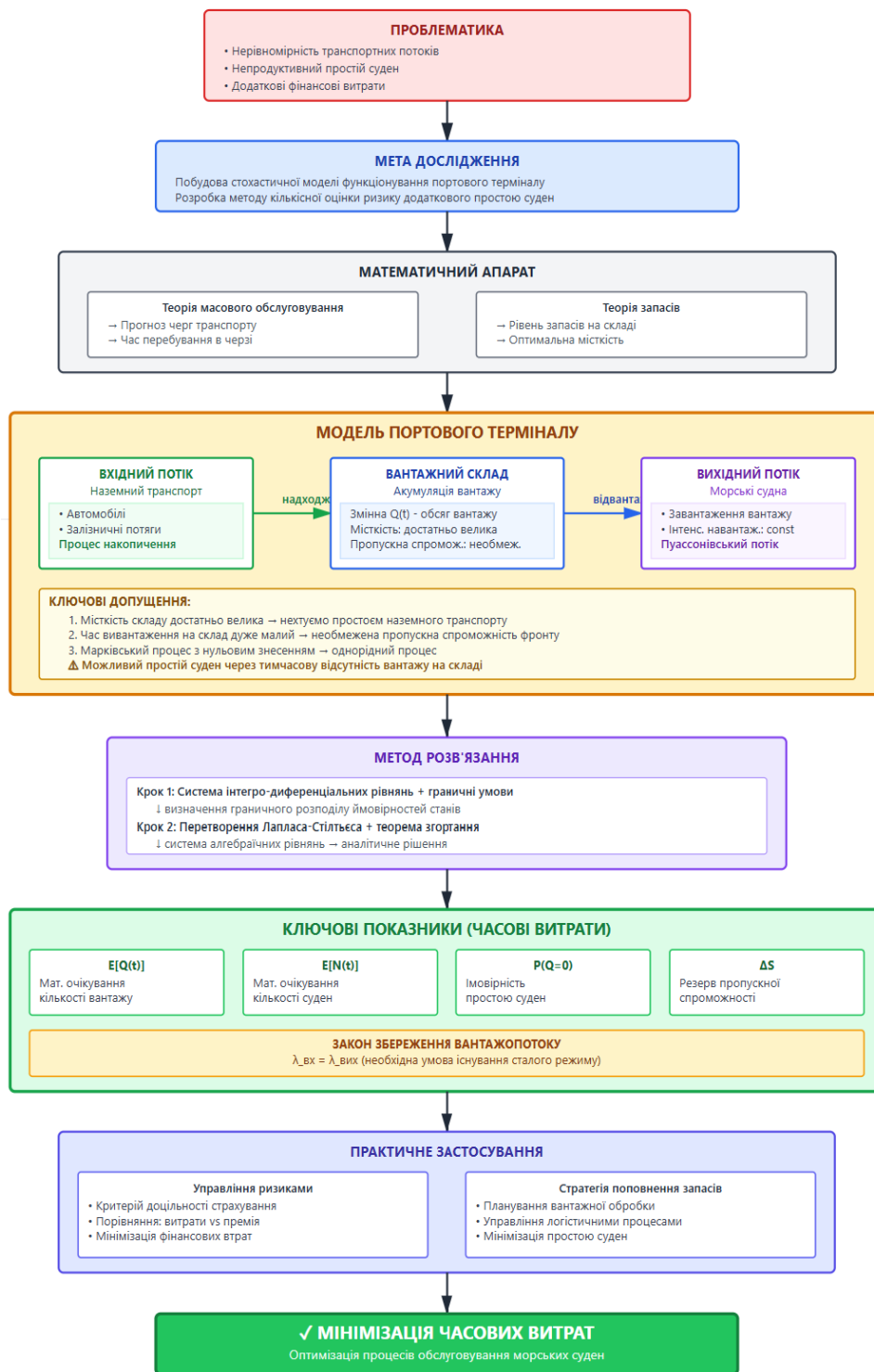


Рисунок.1. Схема пропонованого підходу

Висновки. Запропонований підхід ґрунтується на побудові та аналізі стохастичної моделі роботи портового терміналу, що інтегрує методи теорії масового обслуговування та теорії запасів для врахування нерівномірності взаємодіючих транспортних потоків. Аналітичне розв'язання отриманої системи інтегро-диференціальних рівнянь дозволило отримати формули для розрахунку ключових показників, що прямо характеризують часові витрати на обслуговування суден, включаючи стаціонарну ймовірність їхнього простою в очікуванні вантажу та резерв пропускної спроможності вантажного фронту.

Пропонована методика вирізняється простотою застосування та не вимагає значної кількості вихідних даних чи високої кваліфікації персоналу. Вона може використовуватися в менеджменті портових терміналів та агентських компаній для планування вантажної обробки

суден та управління логістичними процесами на заданому часовому горизонті. Результати дослідження надають можливість формувати науково обґрунтовану стратегію поповнення запасів вантажів, спрямовану на мінімізацію додаткових часових втрат, пов'язаних із затримками в підвезенні вантажу.

Проведені дослідження також дозволяють розробити критерії доцільності страхування ризику простою суден через додаткове очікування вантажу, забезпечуючи судновласників та їхніх агентів інструментом для управління фінансовими наслідками нерівномірності транспортних потоків.

Перспективи подальшої роботи у цьому напрямі передбачають підвищення точності моделі шляхом використання параметрів, які є не детермінованими, а випадковими величинами із заданими законами розподілу. Це відкриває шлях до нових завдань стохастичної оптимізації обліку виникнення ризиків додаткового простою суден через недостатню кількість вантажів на складі, що є наступним кроком у мінімізації часових витрат портових робіт

ЛІТЕРАТУРА

1. Петров І.М. Сучасний стан і проблеми розвитку берегових сервісних формувань на морському транспорті / Принципи розвитку організації морських перевезень в сучасних умовах міжнародного судноплавства: монографія // [авт. кол.: Ніколаєва Л.Л., Савчук В.Д., Петров І.М. та ін.] під редакцією Л.Л. Ніколаєвої. – Одеса: НУ «ОМА». 2019. – С. 123-162.
2. Воевудский, Е.Н. Стохастические модели в проектировании портов и управлении их деятельностью / Е.Н. Воевудский, М.Я. Постан. – М.: Транспорт, 1987. – 318 с.
3. Постан, М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок / М.Я. Постан. – Одесса: Астропринт, 2006. – 376 с.
4. Постан, М.Я. Об унифицированных схемах моделирования взаимодействия транспортных потоков в пунктах перевалки грузов / М.Я. Постан // ВИНТИ. Транспорт: наука, техника, управление. – 1992. – №6. – С. 8–20.
5. Prabhu, N.U. Stochastic storage processes: queues, insurance risk, dams, and data communications. 2nd Ed. / N.U. Prabhu. NY–Berlin–Heidelberg: Springer, 1997. – 206 p.
6. Постан М.Я. A method of determination of port terminal capacity under irregular cargo delivery and pickup / М.Я. Постан, Л.В. Кущнір // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V.4, № 4/3 (82). – P. 30–37. (DOI: 10.15587/ 1729 - 4061.2016.76285)

УДК 004.009

ПЕРЕВАГИ ТА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ НАВЧАННЯ БЕЗ ВЧИТЕЛЯ ПРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ВЕЛИКИХ ОБСЯГІВ ФІНАНСОВИХ ДАНИХ

Рудніченко М.Д., к.т.н, доцент, Шведов Д.В., аспірант, Байраченко О.В., аспірант

НУ «Одеська політехніка», Україна

Вступ. Використання моделей навчання без учителя в інтелектуальному аналізі великих обсягів фінансових даних має ряд переваг і можливостей, які можуть підвищити ефективність аналізу та прийняття рішень. Це зумовлено тим, що сучасний бізнес, фінансові установи та державні органи залежать від швидкої обробки та точності аналізу інформації для досягнення конкурентних переваг, оптимізації процесів та мінімізації ризиків [1]. Основним факторами актуальності підвищення ефективності аналізу великих даних є наступні.

Зростання обсягу даних. Щодня створюються величезні обсяги інформації в різних сферах, зокрема у фінансових, медичних, соціальних мережах та електронній комерції. Для того, щоб ефективно працювати з цією інформацією, необхідно постійно вдосконалювати методи аналізу, що дозволяють швидко і точно знаходити корисну інформацію.

Конкурентні переваги та інновації. Компанії, які здатні оперативно аналізувати великі дані, можуть розвивати інноваційні рішення, які базуються на точних аналітичних інсайтах, наприклад, автоматизовані прогнози, поведінковий аналіз клієнтів або персоналізовані пропозиції. Це дозволяє досягати кращої задоволеності клієнтів і підвищення лояльності.

Підвищення ефективності та швидкості прийняття рішень. Швидкий доступ до релевантної інформації дає можливість приймати зважені рішення в режимі реального часу, що критично важливо в фінансовому секторі, логістиці, медицині та інших галузях. Це дозволяє уникати помилок, зменшувати витрати, оптимізувати роботу і знижувати ризики.

Мінімізація ризиків та покращення безпеки. Вчасний аналіз даних допомагає виявляти аномалії та потенційні загрози безпеці, такі як шахрайські дії, кіберзагрози чи фінансові кризи. Ефективні методи аналізу великих даних дозволяють швидко реагувати на проблеми і запобігати збиткам [2].

Розробка штучного інтелекту та машинного навчання. Ефективна обробка великих обсягів даних дозволяє підвищити точність і швидкість роботи алгоритмів штучного інтелекту, що створює можливість для автоматизації рутинних задач, обслуговування клієнтів, прогнозування попиту та багатьох інших задач.

Основна частина. Слід зазначити наступні важливі аспекти та можливості застосування алгоритмів та моделей навчання без вчителя [1-3]:

1. Виявлення прихованих патернів і кластерів. Моделі навчання без вчителя, такі як кластеризація (наприклад, метод К-середніх або ієрархічна кластеризація), дозволяють виявляти приховані групи в даних без попередніх знань про мітки чи категорії. Це особливо корисно у фінансових даних, де можливе автоматичне виявлення спільних характеристик клієнтів, груп ризику, аномальних поведінкових патернів.

2. Аномалії та шахрайство. Алгоритми навчання без учителя, наприклад методи виділення аномалій, можуть виявляти підозрілі транзакції або фінансові операції, які не відповідають типовим моделям. Це допомагає фінансовим установам виявляти шахрайство та мінімізувати фінансові втрати.

3. Скорочення людської участі. Моделі навчання без учителя не потребують міток або попередньої класифікації даних, що знижує потребу в ручному маркуванні. Це дозволяє автоматизувати велику частину аналітики, зокрема у великих масивах даних, що є корисним для фінансових організацій із великим обсягом транзакцій.

4. Підвищення точності прогнозування. За допомогою алгоритмів, як РСА (метод головних компонент), можна зменшити розмірність даних, виділяючи основні характеристики, що впливають на фінансові результати. Це може сприяти підвищенню точності прогнозування, оскільки дозволяє моделі навчатися на більш релевантних параметрах.

5. Побудова рекомендаційних систем. У фінансах рекомендаційні системи, що базуються на моделях без учителя, можуть допомогти з персоналізацією пропозицій для клієнтів, підвищуючи задоволеність користувачів та стимулюючи продажі. Наприклад, банки можуть використовувати алгоритми навчання для автоматичного підбору продуктів, таких як кредити чи інвестиційні можливості, відповідно до профілю користувача.

6. Зменшення ризиків та оптимізація портфелів. Кластеризація активів на основі їхньої поведінки може допомогти інвесторам у диверсифікації ризиків та розробці стратегій оптимізації портфелів. Це дозволяє побудувати збалансований портфель із врахуванням поведінкових кореляцій між активами.

Доцільними та ефективними прикладами зазначених алгоритмів є такі, як:

- кластеризація, що групує об'єкти в кластери на основі їхніх характеристик, до неї відносяться алгоритми К-середніх (розділяють дані на К кластерів, мінімізуючи середню відстань між об'єктами та центрами кластерів), ієрархічна кластеризація (створюється ієрархія кластерів, що може бути представлена у вигляді дендрограми) та DBSCAN (виявляє кластери різної форми та розміру, спираючись на щільність даних);

- зменшення розмірності, алгоритми зменшують кількість ознак у наборі даних, зберігаючи при цьому важливу інформацію, зокрема це є метод головних компонент (PCA) (знаходить нові осі, що максимізують дисперсію даних), t-SNE (візуалізує дані у низькорозмірному просторі, зберігаючи відстані між точками) та UMAP (подібний до t-SNE, але з більшою ефективністю при обробці великих наборів даних).

Таким чином, для того, щоб підвищити ефективність аналізу та прийняття рішень, потрібно вирішити ряд технічних і організаційних питань: розробка та вдосконалення алгоритмів машинного навчання, впровадження хмарних технологій для зберігання та обробки даних, захист приватності та конфіденційності інформації.

Висновки. Використання навчання без учителя дозволяє отримувати додаткову інформацію з даних та приймати обґрунтовані фінансові рішення. Однак для досягнення найкращих результатів ці методи часто застосовують разом з навчанням з учителем та іншими підходами, що дає змогу повніше використати потенціал даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Байраченко О.В. Аналіз призначення та можливостей кластерного аналізу даних для завдань сегментації / О.В. Байраченко, М.Д. Рудніченко // XVI міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології і автоматизація - 2023» 19-20 жовтня 2023 р., м.Одеса. – 2023. - С.323-324.

2. Шведов Д. Система прогнозування фінансових часових рядів на основі використання нейронних мереж / Д. Шведов, І. Шпінарева, М. Рудніченко // «ІНФОРМАЦІЙНІ УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ» (ІУСТ-ОДЕСА-2023). Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції, 21 - 23 вересень 2023 р Одеса / вип. ред. В.В. Вичужанін, 2023. - С.118-120.

3. Шведов Д.В. Інтелектуальний модуль збору та аналізу даних для пошуку аномалій / Д.В. Шведов, Ю.О. Бут // II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій» ПІШРІТ-2023, 6 грудня 2023 року, м.Черкаси, Україна. С. 78-79.

УДК 656.6/5.091.4/5(477):004

ПЕРСПЕКТИВИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ В ТОРГОВЕЛЬНОМУ МОРЕПЛАВСТВІ

Ярмолович Ю.Р., кандидат. технічних наук

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Підвищення ефективності морських перевезень є важливою задачею, в вирішенні якої зацікавлені всі сторони, задіяні в організації цього процесу. Судновласники, оператори складів, адміністрації портів, терміналів, контролюючі служби, сервісні організації об'єднані

навколо виконання спільної задачі – швидко та ефективно доставити вантаж від порту навантаження до порту прибуття. Кінцевий результат залежить від ефективності кожної ланки.

Кожен з учасників стикається з постійними викликами: необхідністю оптимізації маршрутів, вирішенням логістичних задач, зниженням витрат на використання ресурсів (паливо, електроенергію, персонал), підвищенням рівня безпеки, модернізацією виробничих фондів. До недавнього часу найпопулярнішим засобом передбачуваної аналітики, прогнозування поведінки об'єктів було математичне моделювання процесів. Для особливо відповідальних об'єктів, таких, як космічні апарати, створювались фізичні копії, які дозволяли моделювати ситуації і діагностувати проблеми, шукати їх вирішення не ризикуючи оригіналом.

Набагато більше можливостей надає цифровий двійник (ЦД) — віртуальна копія фізичного об'єкта, яка дозволяє моделювати, аналізувати та оптимізувати процеси в режимі реального часу. Авторство концепції технології цифрових двійників належить М. Гривзу, професору Мічиганського університету, який працював над її реалізацією з 2002 до 2016 р. [1].

Цифровий двійник моделюється за допомогою поєднання низки компонентів:

Фізичний об'єкт: реальне судно, двигун, термінал, кран, контейнер – будь який об'єкт, що підлягає моделюванню

Датчики: прилади, які встановлені на вузлах та механізмах об'єкту для збору інформації про швидкість, температуру, вібрацію, тиск, вагу та інші виробничі параметри та перетворення цієї інформації в електричні сигнали

Засоби двонаправленого зв'язку: обладнання, яке забезпечує постійний потік даних від датчиків фізичного об'єкта до його віртуального двійника та в зворотному напрямку

Віртуальна модель: цифрова копія фізичного об'єкта, яка, моделює його характеристики, поведінку та стан, обробляє та аналізує отримані дані і в разі потреби генерує команди, які може надсилати до фізичного об'єкту

Сервісні пристрої: пристрої, які мають змогу керувати вузлами та механізмами фізичного об'єкту у відповідності до отриманих від віртуальної моделі команд

На відміну від математичної моделі технологія ЦД базується на безперервному циклі отримання-передавання-аналізу даних, що дає змогу бачити, що відбувається з об'єктом у режимі реального часу, передбачати, що станеться в майбутньому, оптимізувати його роботу. Реалізація ідеї ЦД базується на сучасних можливостях - використанні технології інтернету речей, здатності потужної обчислювальної техніки обробляти величезні масиви даних, використанні програмного забезпечення, яке моделює виробничі процеси.

Станом на сьогодні запровадження технології ЦД в галузі морського транспорту знаходиться на початковій стадії. Лідерами є низка найбільших портів світу, серед яких найактивнішими є Роттердам, Сінгапур, Тяньцзинь, Гамбург та Лос-Анджелес [2]. Кожен з портів знаходиться на різних етапах реалізації ідеї ЦД, від пілотних проєктів до практичного втілення на вантажних терміналах. Найбільша економія отримується у разі об'єднання ЦД виробничої ланки в єдину систему.

Використання технології ЦД на торговельних судах менш розповсюджене, наразі розробляються близько 5 проєктів. Тільки на двох працюючих судах, а саме *Acta Auriga* данської компанії та *Høegh Aurora* норвезького перевізника проводяться натурні випробування цієї технології [3,4]. Відмічається, що використання ЦД дозволяє прогнозувати збої обладнання, аналізуючи показники вібрації, температури та тиску, завчасно планувати ремонт, зменшуючи витрати та час простою. Моделювання погодних умов, впливу течії, осадності та стану корпусу судна (наприклад, обростання) дозволяє розраховувати найвигідніші режими руху та обирати маршрут, скорочуючи шкідливі викиди в довкілля та економлячи паливо. Симуляція складних маневрів або небезпечних ситуацій мінімізує вплив людського фактору та знижує ризики аварій.

Найзначнішою перешкодою на шляху до широкого застосування ЦД в судноплаванні визнається висока вартість обладнання, робіт по встановленню датчиків та підтримка

технології обробки та аналізу інформації. Майбутнє зниження щорічних витрат оцінюється в обсязі від 15 до 30%, при необхідних інвестиціях від 200 000 до мільйонна доларів США в залежності від розміру судна та бажаного рівня цифровізації [5]. Вкладати такі ресурси має сенс тільки під час побудови нових суден. Відмічається, що значна кількість підключених пристроїв призводить до підвищеної вразливості обладнання до стороннього впливу, кібератак.

Висновки

1. Висока вартість впровадження технології ЦД призводить до зменшення кількості компаній, які мають можливість її реалізувати
2. Впровадження технології ЦД на існуючих суднах малоперспективне
3. Найбільша економія може бути досягнута у разі об'єднання ЦД всіх учасників морського перевезення - суден, терміналів, портів в єдину систему, створення "цифрового двійника логістичного ланцюга"

ЛІТЕРАТУРА

1. Grieves M. Origins of the Digital Twin Concept. ResearchGate, 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept (дата звернення: 21.09.2025).
2. A digital twin for the Port of Rotterdam by Esri. DITTO Ocean Decade. URL: <https://ditto-oceandecade.org/use-cases/a-digital-twin-for-the-port-of-rotterdam-by-esri/> (дата звернення: 21.09.2025).
3. Höegh Autoliners and Kongsberg Digital signs contract to digitalise entire Höegh Autoliners. Höegh Autoliners, 2023. URL: <https://www.hoeghautoliners.com/news/hoegh-autoliners-and-kongsberg-digital-signs-contract-to-digitalise-entire-hoegh-autoliners> (дата звернення: 21.09.2025).
4. Digital twin will make vessel ops safer and more efficient. Riviera Maritime Media, 2020. URL: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/digital-twin-will-make-vessel-ops-safer-and-more-efficient-61442> (дата звернення: 21.09.2025).
5. 20 Proven Ways Digitalization Can Cut Operating Costs for Shipowners. Ship Universe. URL: <https://shipuniverse.com/20-proven-ways-digitalization-can-cut-operating-costs-for-shipowners/> (дата звернення: 21.09.2025).

0977703573УДК 656.073(045)

РОЗРОБКА МОДУЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ СКЛАДНОСТРУКТУРОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ ДАНИХ ВЕЛИКИХ РОЗМІРІВ У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Рудніченко М.Д., к.т.н, доцент, Шведов Д.В., аспірант, Шибасва Н.О., к.т.н, доцент

Національний університет «Одеська політехніка»

Вступ. Інтенсивний розвиток транспортних систем та їхня інтеграція у глобальні логістичні ланцюги призводять до експоненційного зростання обсягів технічних даних. Ці

дані, що генеруються від різноманітних сенсорів, бортових систем, систем моніторингу та управління рухом, є великими, гетерогенними та складноструктурованими [1]. Ефективний аналіз таких масивів інформації є критично важливим для підвищення безпеки, оптимізації маршрутів, прогнозування відмов обладнання та загального покращення операційної ефективності [2]. Традиційні методи обробки даних часто виявляються недостатньо гнучкими та обчислювально ресурсомісткими для роботи з цими масивами [3]. З огляду на це, виникає потреба у створенні новітніх, високопродуктивних аналітичних інструментів, що здатні ефективно вилучати знання з неструктурованих та напівструктурованих даних великих обсягів [4].

Постановка задачі. Метою даної наукової роботи є розробка теоретичних засад та архітектури модуля багатокритеріального аналізу складноструктурованих технічних даних великих розмірів у транспортних системах. Ключовим завданням є застосування гібридних моделей глибокого навчання для підвищення точності, швидкості та масштабованості аналітичних процесів. Гібридизація моделей передбачає поєднання переваг різних архітектур, наприклад, згорткових нейронних мереж (CNN) для виявлення просторово-часових закономірностей у сенсорних даних та рекурентних нейронних мереж (RNN) або трансформерів для аналізу часових рядів та послідовностей подій. Отриманий модуль має забезпечити прийняття зважених рішень на основі одночасного врахування множини технічних, економічних та експлуатаційних критеріїв.

Основна частина. Багатокритеріальний аналіз (MCDA) у контексті транспортних систем вимагає одночасного оцінювання низки суперечливих параметрів, таких як витрата палива, час доставки, рівень викидів, ризик аварії та ступінь зносу компонентів. Традиційні методи MCDA, як-от AHP (Analytic Hierarchy Process) чи TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), мають обмежену ефективність при безпосередній обробці сирих даних великих розмірів. Вони потребують попередньої значної агрегації та зменшення розмірності.

Для подолання цих обмежень пропонується інтегрувати процеси глибокого навчання безпосередньо у фазу вилучення ознак та оцінювання критеріїв. Глибокі нейронні мережі можуть автоматично ієрархічно вивчати високоабстрактні та репрезентативні ознаки зі складноструктурованих даних, таких як відеопотоки з камер спостереження, дані лідарів, багатоканальні часові ряди телеметрії та неструктуровані текстові логи.

Ключовим елементом запропонованого модуля є використання гібридних моделей глибокого навчання. Зокрема, для аналізу багатовимірних часових рядів технічних параметрів (вібрація, температура, тиск) доцільним є поєднання CNN та LSTM (Long Short-Term Memory). CNN використовуються для локального виявлення просторових або часових патернів, що свідчать про аномалії або зміни режимів роботи, тоді як LSTM ефективно моделюють довгострокові залежності в послідовностях, що критично важливо для прогнозування технічного стану обладнання. Така архітектура дозволяє враховувати як миттєві зміни, так і кумулятивні ефекти.

Для обробки неструктурованих звітів, протоколів технічного обслуговування та логістичних записів, які також є частиною технічних даних, можуть бути застосовані гібриди трансформерів та автокодувальників. Трансформери (зокрема, моделі на основі механізму уваги) чудово справляються із розумінням контексту та семантики у великих текстових даних, тоді як автокодувальники можуть використовуватися для ефективного стиснення та виявлення прихованих латентних ознак.

Розроблений модуль включатиме три основні компоненти.

Перший компонент, Підсистема підготовки та нормалізації даних, відповідає за збір, очищення, синхронізацію та уніфікацію гетерогенних даних із різних джерел. На цьому етапі відбувається стандартизація форматів та застосування методів зменшення розмірності, що базуються на варіаційних автокодувальниках.

Другий компонент, Ядро гібридного глибокого навчання, реалізує власне багатокритеріальний аналіз. Тут відбувається навчання гібридних моделей. Наприклад, для

оцінки ризику затримки використовується гібридна мережа CNN-LSTM, яка обробляє погодні дані, дані про трафік та історію відмов транспортних засобів. Вихідні дані цієї мережі являють собою вектор оцінок за окремими критеріями (надійність, швидкість, екологічність).

Третій компонент, Підсистема прийняття рішень та візуалізації, використовує результати, отримані від гібридних моделей. Оцінки критеріїв інтегруються у модифіковану багатокритеріальну функцію корисності, яка враховує вагові коефіцієнти, визначені експертами, або адаптивно налаштовані за допомогою методів навчання з підкріпленням. Це дозволяє модулю не лише аналізувати, але й пропонувати оптимальні рішення (наприклад, рекомендації щодо профілактичного обслуговування або вибору маршруту). Схема модулів наведена на рис.1.

Обробка даних великих розмірів вимагає високої обчислювальної ефективності. Гібридні моделі глибокого навчання природно піддаються паралелізації та розподіленому обчисленню на графічних процесорах (GPU) та спеціалізованих тензорних процесорах (TPU). Використання міні-пакетного навчання та оптимізованих алгоритмів поширення помилки дозволяє значно зменшити час навчання та висновку моделі, роблячи аналітичний модуль придатним для роботи у режимі реального часу у критично важливих транспортних застосуваннях.

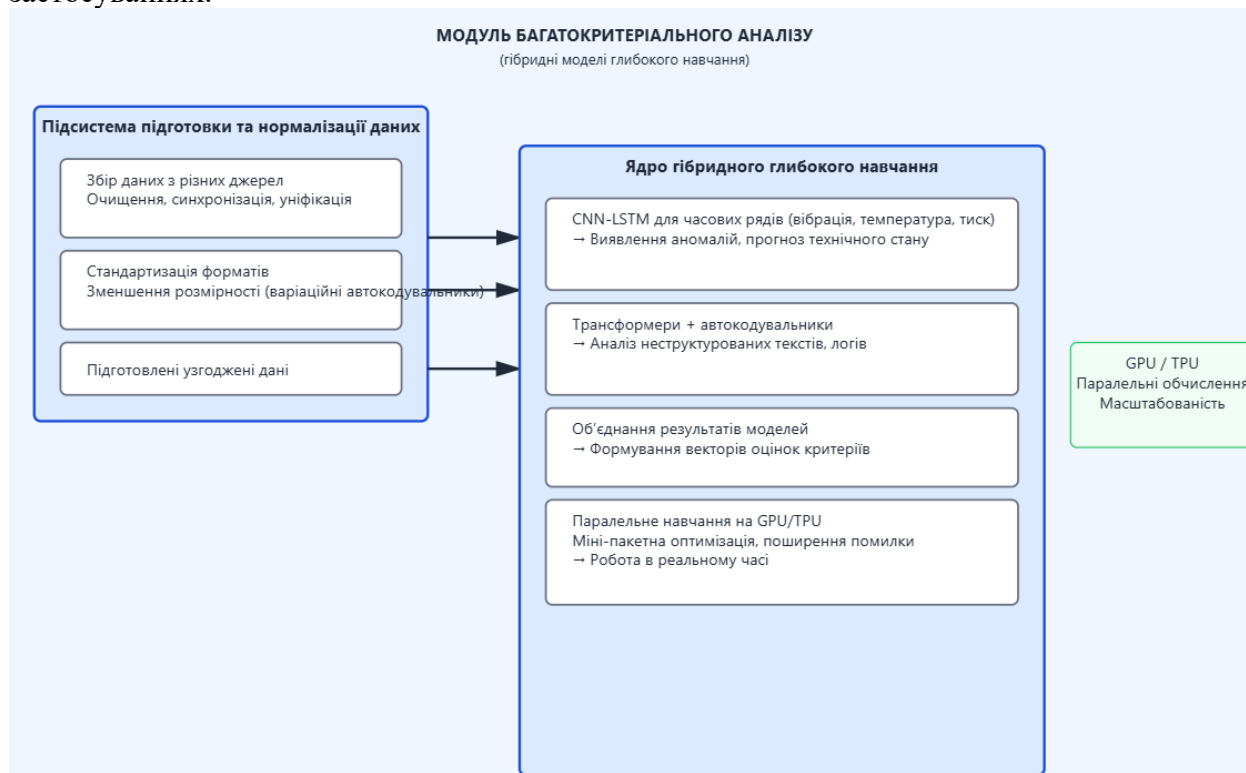


Рисунок 1. Схема розроблених модулів багатокритеріального аналізу

Висновки. Розробка модуля багатокритеріального аналізу складноструктурованих технічних даних великих розмірів, що базується на гібридних моделях глибокого навчання, є перспективним напрямом для підвищення ефективності та надійності сучасних транспортних систем. Застосування архітектур, що поєднують сильні сторони CNN, RNN та трансформерів, дозволяє ефективно витягувати складні патерни та приховані залежності із гетерогенних масивів даних. Запропонована архітектура модуля, що включає підготовку даних, ядро гібридного навчання та підсистему прийняття рішень, створює теоретичну основу для реалізації інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, здатної працювати в умовах швидкозмінних операційних середовищ. Подальші дослідження будуть спрямовані на емпіричну перевірку розроблених гібридних моделей на реальних даних транспортних підприємств та оптимізацію їхньої обчислювальної продуктивності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ященко В.О. Гібридна нейромережева модель для прогнозування параметрів руху транспортних засобів на основі даних GPS / В.О. Ященко, О.І. Ткаченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – 2022. – № 2. – С. 73–80.
2. Смердов А.А. Метод багатокритеріального вибору раціональних маршрутів перевезення небезпечних вантажів на основі нечіткої логіки та генетичних алгоритмів / А.А. Смердов, С.В. Кравченко // Проблеми транспорту. – 2023. – Вип. 34. – С. 110–121.
3. Клименко І.А. Застосування глибоких згорткових нейронних мереж для ідентифікації технічного стану елементів залізничного транспорту / І.А. Клименко, Ю.В. Гончаренко // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія: Транспортні системи та технології. – 2024. – Вип. 40. – С. 55–65.
4. Шевченко В.П. Розробка інтелектуальної системи моніторингу і діагностики транспортних потоків на основі методів машинного та глибокого навчання / В.П. Шевченко, Л.С. Захарова // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки. – 2021. – Вип. 44. – С. 135–142.

UDC 629.5.017:620.95:621.472

SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM INTEGRATION IN MODERN SHIPPING: ADVANCING MARITIME INDUSTRY DECARBONISATION

Petrychenko O.O., Karaush Y. S.

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Traditionally powered almost exclusively by heavy fuel oil and marine diesel, ships are now transitioning toward alternative fuels and renewable energy integration. While liquefied natural gas (LNG), methanol, biofuels, hydrogen, and ammonia are at the forefront of this revolution, solar power has emerged as an important complementary solution. According to the DNV Maritime Forecast to 2050 and its Alternative Fuels Insight (AFI) database, orders for alternative-fuel capable ships surged in 2024–2025. LNG and methanol dominate newbuilding contracts, but hybrid and renewable solutions including solar PV, wind-assisted propulsion, and shore power connections are increasingly featured in ship design. This trend reflects a growing recognition that decarbonization will require multiple overlapping solutions rather than a single fuel replacement.

Compliance mechanisms such as the Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) and the Carbon Intensity Indicator (CII) place pressure on shipowners to adopt energy-saving technologies. Solar photovoltaic (PV) installations, though not sufficient alone, can help vessels demonstrate improved efficiency indices. Ships can benefit from solar energy since most of their upper decks are always exposed to the Sun, especially in tropical regions. Solar power does not directly replace marine fuel in main engines. Instead, it provides clean, renewable electricity that can be used for hotel loads, auxiliary systems, and in hybrid configurations, propulsion support.

Technical Capabilities of Marine Solar Systems

Solar energy is harnessed on ships through photovoltaic modules mounted on deckhouses, rooftops, or specialized structures. These panels convert sunlight into direct current (DC), which can be integrated into the ship's electrical system via inverters or stored in battery banks. Key functions of marine solar power include supplying electricity to hotel loads such as lighting, HVAC, kitchens, and elevators, charging energy storage systems including lithium-ion or hybrid batteries, supporting auxiliary equipment such as navigation systems, pumps, or reefers, and providing redundancy or emergency backup power.

The power requirements of oceangoing vessels are immense. Cruise ships typically have hotel loads between 4 and 11.5 MW, equivalent to the power consumption of a small town. Container ships

can require hundreds of kilowatts of auxiliary electricity, especially when running refrigeration for reefers. Solar panels can realistically contribute only a portion of this demand. A container vessel with 1,000 m² of solar panels at 200 Wp/m² could achieve roughly 200 kWp peak output, generating 0.8 to 1.2 MWh per day in favourable conditions. This output might cover 10 to 30 percent of auxiliary needs while at port or underway.

Though modest, this reduction translates into meaningful fuel savings. Given a typical specific fuel oil consumption (SFOC) of 221 g/kWh for diesel generators, each 1 MWh of solar electricity saves approximately 220 kg of fuel and prevents about 700 kg of CO₂ emissions.

System Integration and Energy Management

Successful use of PV requires careful integration into the ship's electrical system. Modern vessels increasingly employ DC-based distribution grids, which simplify the connection of solar arrays, batteries, and fuel cells. Energy management systems (EMS) optimize the load distribution, deciding when to draw power from PV, batteries, or diesel generators. For passenger ferries and hybrid ships, solar power works in tandem with shore charging infrastructure. Vessels recharge batteries overnight, use PV during daytime voyages, and rely on generators only as backup. Shore power, also known as cold ironing, complements this transition, allowing vessels to connect to the electrical grid in port, where solar energy can additionally supplement onboard energy needs, further reducing reliance on fossil fuels.

Real-World Applications and Performance Data

Real-world applications across various vessel types demonstrate the feasibility and tangible benefits of marine PV systems. Comparative performance data for selected solar-powered vessels is presented in Table 1. The Aditya Solar Ferry in India, operating in the inland waterway near the port of Kochi, serves as a strong case for short-sea passenger transport. This catamaran is 20 metres long and 7 metres wide, covered by 140 square metres of solar panels. The panels are rated at 20 kW and connect to two 20 kW electric motors and lithium-ion batteries with 50 kWh capacity. The ferry successfully operates 22 trips per day, transporting 1,650 people daily, saving 58,000 litres of diesel fuel annually with cost savings of approximately \$65,000 USD.

The Auriga Leader, a Japanese car carrier, was one of the earliest large-scale demonstrations, fitted with 328 solar panels producing up to 40 kW of electricity. Though this represented only a fraction of its propulsion needs, it saved approximately 13 tons of fuel annually and demonstrated the feasibility of integrating PV on a commercial vessel. Kawasaki Heavy Industries and NYK later upgraded the vessel into a hybrid ship with battery storage, reinforcing the value of solar as part of a multi-source system.

The Yuanhai Kou represents the most ambitious commercial project, a Chinese LNG/PV car carrier. This vessel pairs LNG propulsion with a distributed photovoltaic system. The onboard PV system has a peak capacity of 302.8 kW, comprised of over 500 high-durability Sea-Shield panels installed across upper deck space. It is estimated to generate 410,000 kWh per year, yielding annual fuel savings of approximately 111 tons and cutting approximately 345.9 tons of CO₂ emissions. The solar modules incorporate enhanced resistance to salt spray, vibration, and corrosion, making them suitable for high-stress marine conditions.

Pioneering vessels such as the Swiss-built catamaran Tûranor PlanetSolar remain important. It is the largest solar-powered vessel in history, with 537 m² of PV panels rated at 93 kWp. Between 2010 and 2012, it completed the first circumnavigation of the globe powered entirely by solar energy. The Energy Observer is a French research vessel that combines solar panels, wind turbines, and hydrogen fuel cells in a pioneering hybrid system, demonstrating a future vision of energy autonomy at sea. The comparative performance data for all these vessels is systematically presented in Table 1 below.

Table 1. Comparative Data for Solar-Powered Vessels

Vessel Name	Vessel Type	PV Panel Area, m ²	Power, kW	Annual Generation, MWh	Fuel Savings, t/year	Payback Period, years
Aditya	Passenger Ferry	140	20	26.6	19.1	3-4
Auriga Leader	Car Carrier	328	40	51.2	13.0	8-10
PlanetSolar	Research Vessel	537	93	119.0	35.7	-
Yuanhai Kou	LNG+PV Car Carrier	2,150	302.8	410.0	111.0	6-8
Energy Observer	Hybrid Vessel	130	28	35.8	10.8	-

Economic Efficiency and Environmental Impact

The economic efficiency of solar installations varies depending on the type of vessel and operating conditions. As shown in Table 1, on small ferries and cruise vessels with high hotel loads, solar panels can deliver short payback periods ranging from 3 to 7 years. On deep-sea cargo ships, savings are smaller but still contribute to compliance with IMO efficiency metrics. Environmentally, even modest contributions matter. If every containership saved just 1 ton of fuel per month through solar power, the cumulative effect across the global fleet would reduce millions of tons of CO₂ annually. When implemented across 50 percent of the world's trading fleet, the potential fuel savings could reach 2 to 3 million tons per year, corresponding to a reduction of 6 to 10 million tons of CO₂ emissions annually. Moreover, solar installations improve public perception of green shipping, which is increasingly important for cruise lines and passenger services.

Challenges and Limitations

Despite its benefits, solar technology faces several limitations at sea. Physical constraints include limited deck space and shading from containers, cranes, and superstructures that reduce usable surface area. Durability challenges arise from salt spray that accelerates corrosion and fouling, requiring constant cleaning to prevent performance loss. Weather dependency is significant as cloud cover, high latitudes, and nighttime eliminate generation entirely. Capital costs for marine-grade solar panels and installation are more expensive than land-based systems. Safety requirements demand that panels must withstand storms, vibrations, and meet fire-safety regulations. These challenges do not eliminate solar's role but confine it mainly to auxiliary and short-sea applications.

Hybridization Strategy and Future Perspectives

Solar should not be viewed in isolation but as part of a broader hybridization strategy. LNG, methanol, biofuels, and hydrogen provide the bulk of propulsion energy, while solar reduces baseline electrical demand and supports zero-emission operations in port. Perspective developments will accelerate adoption including raising photovoltaic module efficiency to 25 to 30 percent, reducing installation costs by 40 to 50 percent by 2030, and developing flexible integrated panels. The greatest potential is demonstrated by short-sea ferries and passenger vessels with large deck areas and predictable routes, cruise vessels capable of significantly reducing hotel loads, and hybrid cargo vessels integrating solar systems, batteries, and alternative fuels. As technology advances, costs fall, and energy management systems improve, solar power will become a standard feature in ship design not as the main engine, but as an essential partner in the industry's green transition.

Conclusions

The study affirms that solar energy for ships is not a cure-all for maritime decarbonization but is a useful and necessary part of a comprehensive solution. It delivers actual fuel and emission savings, demonstrates innovative technology, and enables hybrid systems with alternative fuels and shore power. The main function of solar PV is to reduce baseline electrical demand and enable zero-

emission operation in port, which significantly helps meet IMO obligations and improve operational efficiency. With continued technological innovation, cost reductions, and more sophisticated energy management systems, solar power will ultimately become a standard feature in modern shipbuilding as a collaborator in the green transition of the maritime industry.

REFERENCES

1. Khan, M.I.; Gutiérrez-Alvarez, R.; Asfand, F.; Bicer, Y.; Sgouridis, S.; Al-Ghamdi, S.G.; Jouhara, H.; Asif, M.; Kurniawan, T.A.; Abid, M.; et al. The economics of concentrating solar power (CSP): Assessing cost competitiveness and deployment potential. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2024, 200, 114551. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
2. Khurshid, H.; Mohammed, B.S.; Al-Yacoubya, A.M.; Liew, M.S.; Zawawi, N.A.W.A. Analysis of hybrid offshore renewable energy sources for power generation: A literature review of hybrid solar, wind, and waves energy systems. *Dev. Built Environ.* 2024, 19, 100497. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
3. “MS Tûranor PlanetSolar.” Wikipedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/T%C3%BBaranor_PlanetSolar
4. “Auriga Leader.” Wikipedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Auriga_Leader
5. “Aditya (boat).” Wikipedia. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Aditya_\(boat\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Aditya_(boat))

УДК 629.5.056.8

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ INMARSAT NEXUSWAVE - МЕРЕЖЕВА ПОСЛУГА МАЙБУТНЬОГО

Бардар О.А., курсант групи 1503, керівник **Козаченко О.Ю.,** старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ

Inmarsat NexusWave — це повністю керована мережна послуга для морської галузі, офіційно представлена Inmarsat Maritime (як частина групи Viasat) 20 травня 2024 року.

Мета — дати суднам «домашній» інтернет: високу пропускну здатність, «безлімітні» тарифи для екіпажу, глобальне покриття і вбудовану кібер-захищеність, при цьому об'єднуючи одночасно декілька мереж (орбітальні і наземні) у єдиний логічний канал.



Рисунок 1. - NexusWave — глобальна супутникова система.

I. Архітектура та ключові компоненти NexusWave

NexusWave будується як «агрегатор», що динамічно з'єднує й використовує одночасно різні підключення для досягнення максимальної пропускної спроможності та стійкості, тобто вона базується на технології “network bonding” — використанні кількох підмереж одночасно, щоб забезпечити швидкість, стійкість та безперервність з'єднання:

- **GX Ka-band (Global Xpress)** — основний високошвидкісний канал Inmarsat (Ka-діапазон).
- **LEO-послуги** — підключення через провайдерів супутників низької навколоземної орбіти для зниження затримок і додаткової ємності, коли вони доступні
- **Coastal LTE** — коли судно близько до узбережжя, система може автоматично використовувати місцеві мобільні мережі.
- **L-band** — як резервний канал, для забезпечення надлишковості і безперервності зв'язку.

Також є механізм інтелектуального управління трафіком — рішення, які визначають, який трафік і якому каналу надсилати, щоб забезпечити максимальну ефективність, пріоритетність для критичних служб тощо. Тобто трафік може розподілятися автоматично, наприклад:

- Відеоконференції — через швидкий LEO або LTE,
- Телеметрію — через GX,
- Трекінг / GMDSS — через L-band.

Здатний миттєво перемикається між мережами, якщо один канал втрачає якість; об'єднувати швидкість усіх активних каналів та підтримувати безперервний зв'язок, навіть якщо один із каналів зник (наприклад, під час переходу з узбережжя в океан).

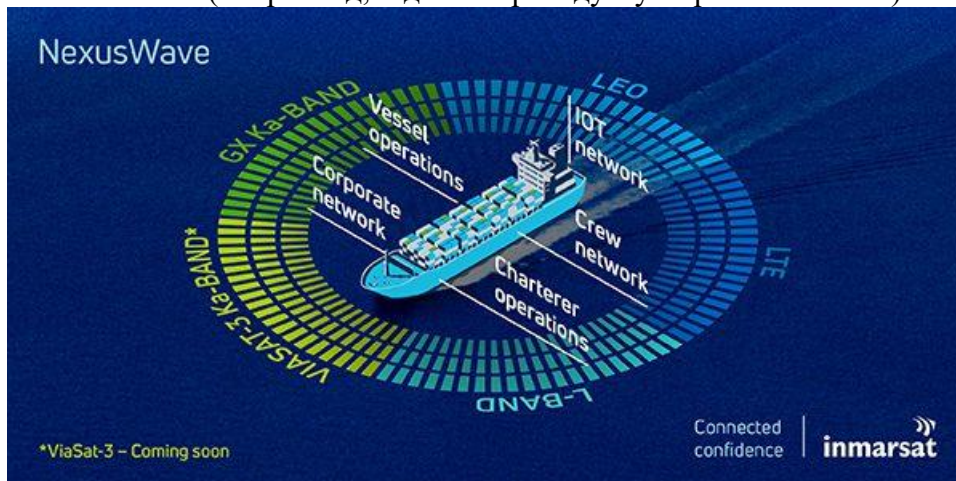


Рисунок 2. - Концепція «бондованої» мульти-мережі: Ka-band, LEO, LTE, L-band.

II. Практична продуктивність — результати тестів і реального використання

Inmarsat оприлюднила верифіковані результати польових випробувань (12 березня 2025): максимальні пікові завантаження до ~330–340 Mbps download і до 70–80 Mbps upload, середні реальні швидкості в тестах — ~120–150 Mbps download і 20–45 Mbps upload, а доступність мережі на борту — >99.9% (іноді 99.99% у прес-релізах). Це демонструє, що агрегація мереж реально дає пропускну здатність на рівні наземного широкосмугового інтернету.

III. Основні переваги для операторів флоту

1. Досвід екіпажу «як вдома» — відеодзвінки, стримінг, месенджери без затримки і

частих обривів. Ключовий аргумент для підвищення добробуту екіпажу та утримання кадрів.

2. **Підтримка цифровізації судна** — віддалений моніторинг обладнання, передача великих телеметричних пакетів, оновлення ПЗ, відео-консультації технічних фахівців.
3. **Висока доступність** — автоматична маршрутизація по доступних серединках з відмовостійкістю (включно з резервним L-band).
4. **Простота контракту/операцій** — NexusWave позиціюється як «все в одному» (single provider, managed service), що знижує кількість постачальників та операційних складнощів для судновласника.

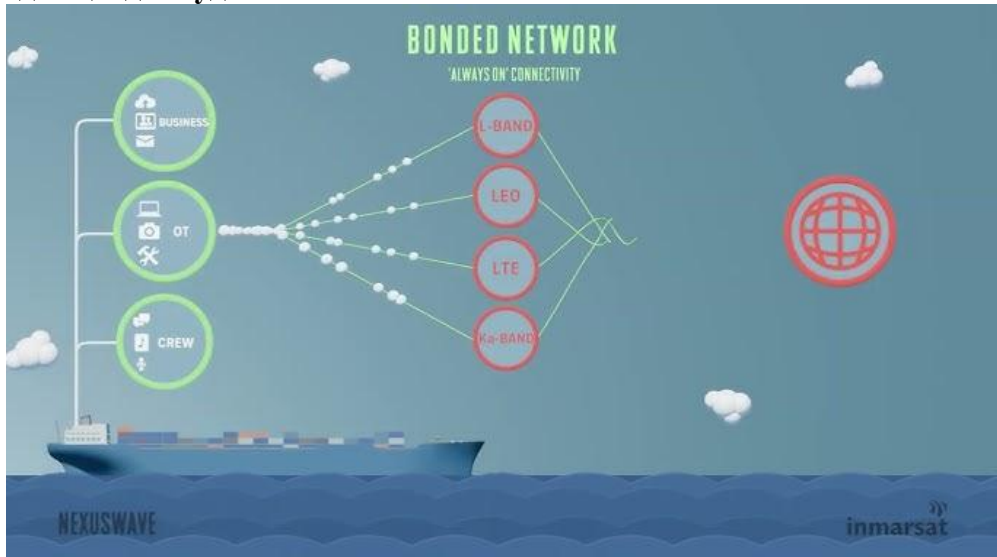


Рисунок 3. - Практичне застосування Inmarsat NexusWave на морі: установка системи на судні.

IV. Як NexusWave відрізняється від Inmarsat-C

1. Призначення:

NexusWave: широкосмуговий, багатоцільовий сервіс для операцій, екіпажу і бізнес-додатків. Inmarsat-C: низькошвидкісна пакетна служба для текстових повідомлень, розсилки морських попереджень (SafetyNET) і частина GMDSS (служба безпеки).

2. Технічні характеристики:

NexusWave: Мбіт/с рівні, багатоканальна агрегація (GX, LEO, LTE, L-band). Inmarsat-C: кілобіти/с, store-and-forward текстові повідомлення, примітивне обладнання (автентичне для GMDSS).

3. Регуляція та GMDSS:

Inmarsat-C: сертифікований елемент GMDSS, має нормативні вимоги у SOLAS для певних суден. NexusWave: комерційний сервіс; на сьогодні не замінює офіційні сертифіковані GMDSS служби (для виконання SOLAS потрібно зберігати GMDSS-сумісність через відповідні сервіси/пристрої). Inmarsat та інші працюють над модернізацією GMDSS, але нормативні зміни повільні.

4. Обладнання та інтеграція:

NexusWave: вимагає VSAT-антени (Ka), LEO-термінали або сумісну апаратуру та відповідний модем/локальний маршрутизатор, інсталяція і налаштування централізованого управління. Inmarsat-C: простіша антена/термінал, невеликі вимоги до потужності, простіше технічне обслуговування.

V. Обмеження та питання для впровадження

1. **Вартість** — стартові інвестиції (VSAT/антени, інсталяція, обладнання) і підписка можуть бути вищими за традиційні L-band рішення.
2. **Регуляторна невизначеність** — для критичних безпекових функцій судна поки що потрібні GMDSS-сертифіковані рішення; повне «перехресне» заміщення потребує оновлень у SOLAS/IMO.
3. **Кіберризик** — швидкий доступ означає більшу атрактивність для атак; важлива правильно сконфігурована сегментація мережі й політики.

VI. Кейс-стаді — хто вже впроваджує NexusWave

Після запуску 2024 року NexusWave пройшов серію пілотів та отримав замовлення від великих операторів: Harpag-Lloyd (trial), Mitsui O.S.K. Lines, Pacific Basin, Solvang, Parlevliet & van der Plas, Anthony Veder, Toei Reefer та інші. Це показує комерційне прийняття як для контейнерних ліній, так і для суховантажних, танкерних та рибальських компаній.

Висновок

NexusWave — це крок уперед у бік «офісного» інтернету на морі з високою швидкістю і централізованим управлінням, а Inmarsat-C, у свою чергу, — це надійний, перевірений часом канал для безпеки й текстових повідомлень, інтегрований у GMDSS. NexusWave значно підвищує пропускну здатність на борту й відкриває можливості для повноцінної цифровізації суден та покращення добробуту екіпажу. Однак воно не замінює наразі Inmarsat-C як елемент GMDSS — тож розумним підходом є комбінування: зберігати сертифіковані безпекові канали і використовувати NexusWave для бізнес- і екіпажних потреб.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.inmarsat.com/nexuswave/>
2. <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/03/12/3041324/0/en/Inmarsat-Verifies-Unparalleled-340-Mbps-NexusWave-Download-Speeds-to-Demonstrate-Power-of-Network-Bonding-for-Maritime-Market.html>
3. <https://www.inmarsat.com/news/latest-news/maritime/2025/nexuswave-misui-osk-onboard-digitalisation/>
4. <https://valourconsultancy.com/the-evolution-of-inmarsat-maritime-nexuswave-surpasses-1000-ships-and-beyond/>

УДК 656.073.28(042.3)

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВЕРИФІКАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ПРОГРАМ

Бродецький В.І., к-т гр. 1305, керівник Петров І.М., д-р техн.наук, проф., к.д.п.

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. У зв'язку зі зростанням номенклатури вантажів, що перевозяться морем, надходженням в експлуатацію сучасних суден вузької спеціалізації, все більше виникає необхідність розвитку нових технологій управління вантажними операціями. Одним із шляхів проектування та впровадження подібних технологій є автоматизація перевантажувальних процесів на основі адекватно розроблених вантажних програм. Ступінь відповідності таких програм існуючим вимогам нормативних документів, вантажних планів суден. у цьому контексті визначає їх верифікація (від латів. *verum* «істинний» + *facere* «робити»). Крім суттєвого скорочення непродуктивних простоїв суден у портах, розробка та застосування вантажних програм дозволяє підвищити, у тому числі, безпеку судна під час його експлуатації. Ці обставини свідчать про безумовну актуальність проведеного дослідження.

Постановка задачі. Вантажні програми на судах – це спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ), яке використовується на борту суден для планування, контролю та забезпечення безпеки вантажних операцій. Кожна програма проходить сертифікацію класифікаційними товариствами, що гарантує точність розрахунків у всіх можливих режимах експлуатації судна.

Функціонал сучасних програм та їх призначення можна сформулювати так:

- оптимізація розміщення вантажу: Програми допомагають найкраще розподілити вантаж на судні, щоб забезпечити його остійність і зберегти необхідний диферент;
- розрахунки: Виконують складні розрахунки остійності, міцності корпусу, осідань та диференту для підтвердження безпеки навантаження;
- планування навантаження: Створюють детальний план завантаження та вивантаження з огляду на всі вимоги (stowage and segregation);
- усунення конфліктів: Допомагають старшому помічнику виявляти та усувати конфлікти, пов'язані з розміщенням вантажів, наприклад, небезпечних чи негабаритних;
- розрахунки видимості: Щоб вантаж не закривав огляд з містка судна (visibility);
- вантажні операції: Розраховують занурення гвинта під воду (propeller immersion).

У дослідженні встановлено необхідність синхронізації вантажних програм причальних і суднових операцій. Показано, що сучасні вантажні програми для навалювальних вантажів передбачають повну автоматизацію судновантажних машин (CBM, або шиплоудерів).

Вантажні програми по керуванню причальними операціями з участю CBM містять:

1. Апаратне забезпечення та сенсори CBM для "сприйняття" навколишнього середовища: 3D-сканери (LiDAR або 3D-радар). Це "очі" системи; системи запобігання зіткнень (Anti-Collision); датчики на судні для вимірювання осідання, крену та диферента, рівня води в баластових танках.

2. Програмне забезпечення (ПЗ) та управління, що об'єднує компоненти: верхньорівневе програмне забезпечення системи управління терміналом (TOS - Terminal Operating System); програмуємий логічний контролер (ПЛК) CBM, що програмується. Керує всіма операціями CBM (поворот, підйом / опускання стріли, висування хоботу та інші); судновий комп'ютер стійкості (Load Calculator / Loadicator). На борту судна безперервно розраховує остійність, крен, диферент та поздовжню міцність корпусу.

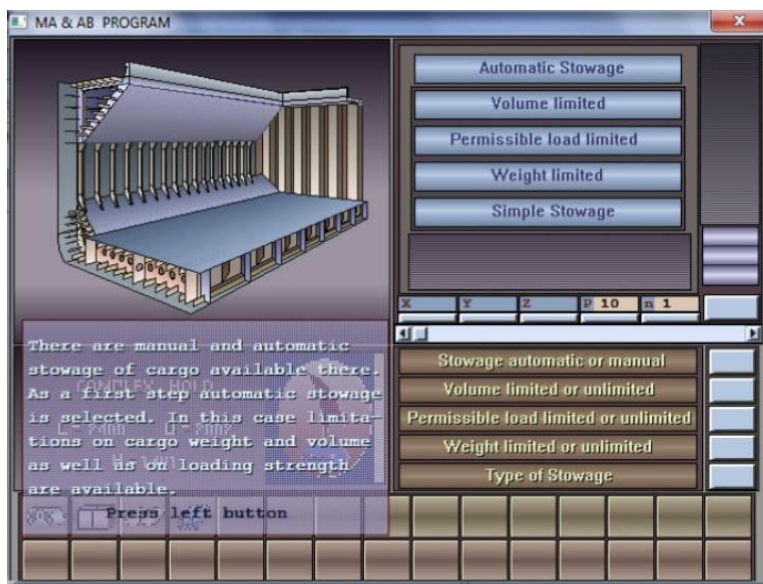
3. Процес навантаження: від плану до трюму. Процес включає: а) планування, коли каргоплан завантажується в TOS; б) позиціонування, коли оператор чи система переміщає CBM до першого трюму згідно з планом; в) сканування: 3D-сканери знаходять трюм і визначають його точні межі; г) автоматичне навантаження, коли ПЛК CBM, отримуючи команди від TOS, автоматично керує рухами стріли та хобота; д) контроль ваги вантажу.

4. Замкнений контур безпеки (Closed-Loop Control). Забезпечує режими: ручний (застарілий); режим; замкнутого контура режим.

Дослідження показало, що усі вантажні програми для суден мають схожий принцип роботи, проте відрізняються параметрами конкретного судна. Сьогодні у сфері морських перевезень активно застосовуються такі вантажні програми: LPS-Bulk; FastLoad; OPUS Stowage; SimpleStow GC; cCASP.

Також часто зустрічаються вантажні програми Transas Marin, MACS3, ShipManager, Load-Master, MA & AB Stowage/Lashing System.

Так, програма MA & AB (рис. 1) дозволяє моделювати процес розміщення вантажів у трюмах у тривимірному (3D) форматі, враховуючи качку судна, перерозподіл навантажень і перевірку остійності.



У ході перевірки до програми вводяться дані, ідентичні тим, що містяться в одному із
Рисунок 1. 3D-модельовання вантажного приміщення

затверджених тестових умов, і результати розрахунків осадки, остійності та напружень повинні повністю збігатися з офіційно схваленими показниками. Далі вносяться суттєві зміни у вхідні параметри, наприклад, шляхом коригування ваги вантажу або баласту для зміни осідання чи водотоннажності не менше ніж на 10%, що має призвести до логічної відмінності результатів. Завершальним етапом є перевірка системи попереджень, яка має своєчасно реагувати на перевищення максимально допустимого осідання, меж міцності корпусу та критеріїв остійності.

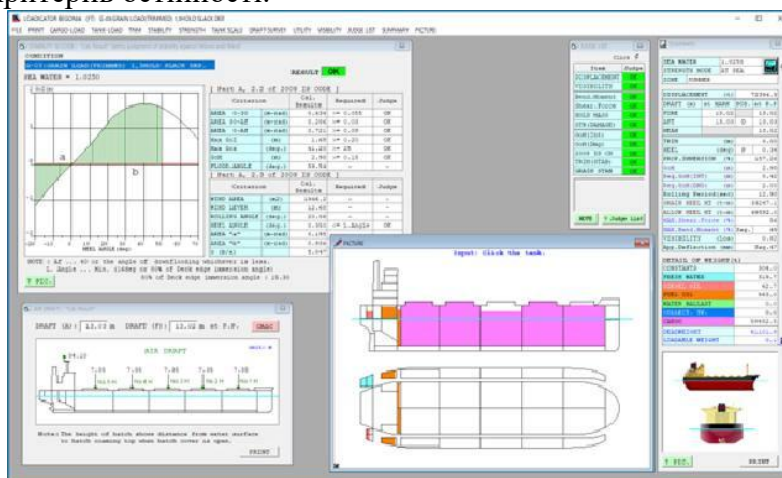


Рисунок 2. Програма Loadicator

На наш погляд, інтерес може становити вантажна програма Bulk Cargo (рис. 3).

Програма автоматично розраховує сили, що діють на вантаж, контролює натяг кріпильних тросів і підбирає оптимальні засоби кріплення відповідно до стандартів ABS, DNV, BV, LR.

Також відома серед фахівців вантажна програма Loadicator (рис. 2). Процедура її верифікації періодично виконується вантажним помічником та щорічно перевіряється сюрвейєром класифікаційного товариства; вона спрямована на підтвердження точності розрахунків та коректності роботи програмного забезпечення.

Допустимі відхилення (Tolerance Limits) для основних параметрів під час проведення верифікації становлять: водотоннажність $\pm 2\%$, довжина плеча остійності $\pm 5\%$, диферент і осідання до $\pm 1\%$, поправка на вільну поверхню $\pm 2\%$, а кут закінчення діаграми остійності може відрізнятись в межах 1° - 2° . Такі відхилення вважаються припустимими і не впливають на достовірність.

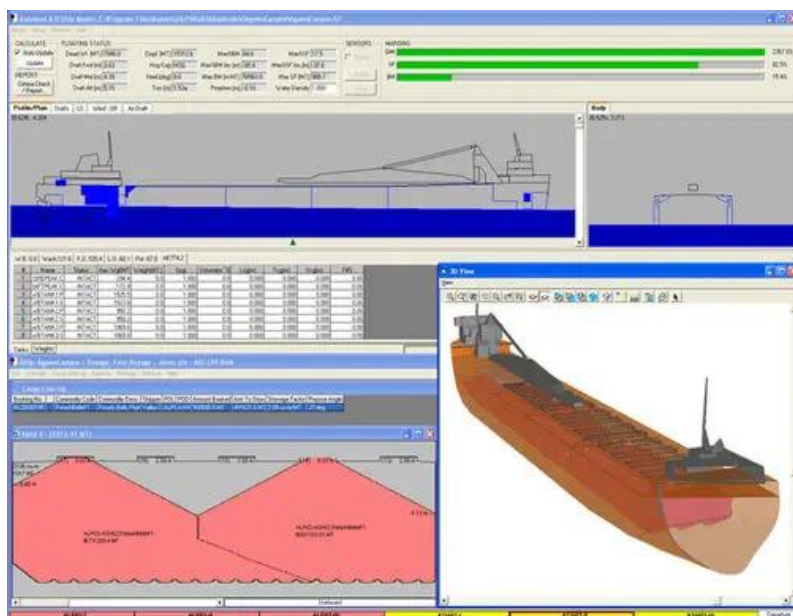


Рисунок. 3. Робота вантажної програми “Bulk Cargo”

Недоліки програм завантаження суден включають: залежність від людського фактора та складності в управлінні, неможливість точного обліку при нестандартних вантажах, а також проблеми із програмним забезпеченням та сумісністю даних. Крім того, існують обмеження типу вантажу, які не можуть бути враховані в програмі, що ускладнює планування маршруту.

Нами зроблено спробу систематизації таких експлуатаційних проблем.

Показано, що мають враховуватись і проблеми з обладнанням та інфраструктурою: обмеження по типу суден і щодо виду вантажів; залежність від інфраструктури.

Ручна перевірка поки що залишається єдиним способом виявлення таких помилок вхідних даних. Але ця обставина створює "місце помилки", додаючи час та навантаження, подовжуючи роботу, а також залишаючи простір для наступних помилок. Усунення такого дублювання та підвищення абсолютної надійності розрахунків є важливою.

Висновки. Сучасні вантажні програми є важливим інструментом для забезпечення безпеки судноплавства, проте не можуть повністю замінити професійний контроль. Важливу роль у забезпеченні точності даних відіграє синхронізація між судовими системами та засобами портового обладнання. Запропонований підхід із проведенням верифікації розрахунків, веденням реєстру змін маси та подвійним контролем параметрів дозволяє підвищити точність і надійність оцінок. Після впровадження запропонованих заходів щодо вдосконалення верифікації вантажних програм, у майбутньому слід очікувати поєднання автоматизованих розрахунків із постійним моніторингом реального стану суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Savchuk V.D., Petrov I.M. Technology of Cargoes Transportation / V.D. Savchuk, I.M. Petrov // Підручник. – Одеса: НУОМА, 2025. – 384 с. – англ. мовою.
2. Thomas R.E., Pepper G.M. The Properties and Stowage of Cargoes [Text]. 10th Ed./ R.E. Thomas, G.M. Pepper. – Publisher: Witherby Publishing Group, January 2024.– 403 p.
3. Research and development of automatic bulk cargo equipment in modern ports: Part 1.URL: <https://www.porttechnology.org/wp-content/uploads/2019/05/PT40-22.pdf>.
4. Publication No. 16/P. Loading Guidance Information (January, 2022). URL:https://prs.pl/wp-content/uploads/2024/04/p16p_en.pdf.
5. Guide for Software Systems Verification – ABS CyberSafety™ Volume 4 (SSV Guide) URL:https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/253cybersafety/V4/CyberSafety_V4_SSV_Guide_e.pdf.

Графічні інструменти програми придатні як для балкерів з вертикальним засібом завантаження, так і для балкерів, що саморозвантажуються. Вантажні операції плануються в одному інтерфейсі шляхом перетягування між вікнами вантажних списків та власне трюмів. Розрахунки проводяться залежно від кута природного укосу вантажу, диферента та крену судна, а також габаритів та положення СВМ. Програма функціонує під час роботи більше, ніж одного навантажувача в даний момент часу.

БЕЗПЕКА ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ НА МОРСЬКИХ СУДАХ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА РИЗИКИ

Дулін О.О., студент 4 курсу

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Безпека вантажних операцій на морських судах є одним із найважливіших аспектів морської практики, який безпосередньо визначає не лише збереження життя членів екіпажу та берегового персоналу, а й надійність ланцюгів міжнародних перевезень. Вантажні процеси – завантаження, розвантаження, лашинг, переміщення вантажів – супроводжуються дією значних механічних навантажень, використанням потужної техніки, роботою у складних просторових умовах і часто – у замкнутих приміщеннях трюмів чи танків. Унаслідок цього саме ця стадія судової експлуатації залишається однією з найризикованіших у структурі морських робіт [1].

Актуальність теми. Постійне зростання обсягів морських перевезень генеральних вантажів у контексті глобалізації економіки та розвитку міжнародної торгівлі зумовлює необхідність підвищення рівня технологічної та експлуатаційної безпеки суден. Зі збільшенням обсягів перевезень пропорційно зростає кількість потенційних загроз безпеці вантажів, екіпажу та суден, що актуалізує питання удосконалення технологій вантажних операцій, оптимізації маршрутів і впровадження автоматизованих систем контролю [2]. Таким чином, дослідження питань технологічної безпеки вантажних операцій на суднах є надзвичайно важливим для забезпечення стабільності, ефективності та стійкості сучасних морських перевезень.

Постановка задачі. Проаналізувати сучасний стан безпеки вантажних операцій на морських судах, виявити основні ризики та фактори, що впливають на рівень виробничого травматизму, і визначити напрями підвищення технологічної та експлуатаційної безпеки шляхом удосконалення систем управління ризиками та впровадження міжнародних стандартів.

За даними аналітичного звіту ICHCA International (2025 р.) [5], упродовж останніх двадцяти п'яти років у світі зафіксовано понад п'ятсот випадків загибелі берегових працівників під час робіт у портах і терміналах, половина з яких сталася безпосередньо під час вантажних операцій на суднах або поруч із ними. Згідно з узагальненою статистикою, 59 % усіх смертельних інцидентів припадає на етапи завантаження, розвантаження чи переміщення вантажів, а 46 % випадків відбуваються безпосередньо на борту судна. Це свідчить про критичну концентрацію ризиків саме у взаємодії судових і берегових команд під час роботи з вантажем.

Основними причинами смертельного травматизму визначено: розчавлення вантажем або технікою (27 %), зіткнення транспортних засобів і працівників (23 %), інциденти в закритих просторах (14 %), а також падіння з висоти або у воду (до 15 %). Серед небезпечних місць особливу увагу привертають трюми (17 %), причали (19 %) та термінальні платформи (16 %). Найвищий рівень ризику характерний для контейнерних (34 %) і сипучих (28 %) вантажів, де поєднуються фактори великої маси, нестабільності вантажу й обмеженого простору для роботи [5].

Проблема посилюється низкою об'єктивних і організаційних чинників. По-перше, у більшості портів і на суднах досі відсутня повна стандартизація процедур взаємодії між екіпажем і береговими службами, що призводить до неузгодженості дій у небезпечних зонах. По-друге, людський фактор залишається ключовим – нехтування правилами безпеки, втома, недооцінка ризику або порушення послідовності операцій є безпосередньою причиною значної частини інцидентів. По-третє, технічний прогрес не завжди супроводжується

адекватною підготовкою персоналу: нові типи вантажних механізмів, автоматизовані системи та роботизовані крани потребують додаткового навчання та контролю [8].

Окремо слід відзначити небезпеку закритих просторів. Випадки отруєння або задухи під час входу до трюмів і цистерн залишаються одними з найтяжчих. Дані звіту [5] свідчать, що хоча кількість таких інцидентів залишається стабільною, число загиблих зросло майже вдвічі. Це означає, що, незважаючи на формальне дотримання вимог щодо газоаналізу, практична культура безпеки залишається недостатньо розвиненою.

У сучасних умовах зростання обсягів морських перевезень питання забезпечення технологічної безпеки суден набуває стратегічного значення. Аналіз причин аварій свідчить, що вони здебільшого зумовлені сукупністю взаємопов'язаних факторів. До основних ризиків належать людський фактор, технічні недоліки, специфіка вантажу та вплив зовнішніх умов [6].

Людський фактор проявляється у недостатній ситуаційній обізнаності екіпажу, втомі, порушеннях під час планування або виконання вантажних операцій. Технічні та конструктивні проблеми пов'язані з неправильним розміщенням і кріпленням вантажів, перевищенням допустимих навантажень, несправністю обладнання, що може призвести до втрати остійності або пошкодження корпусу судна. Важливу роль відіграють і характеристики вантажів - особливо небезпечних, сипучих чи рідких, які потребують суворого дотримання технологічних параметрів, контролю вологості, температури та спеціальних умов транспортування. Додаткові ризики створюють гідрометеорологічні фактори, складні погодні умови, сильне хвилювання та маневри під час портових і міжсуднових операцій.

Згідно до рекомендацій ІМО стосовно виконання формальної оцінки безпеки [4], оцінка безпеки вантажних робіт повинна включати наступні кроки: ідентифікацію небезпек; аналіз ризиків; визначення варіантів контролю ризиків; оцінку рентабельності; і рекомендації для прийняття рішень.

Для протидії зазначеним викликам у морській галузі впроваджується система комплексних заходів безпеки, спрямованих на запобігання аварійності. Їх основу становлять міжнародні стандарти SOLAS, IMSBC та ISPS, які регламентують організацію, контроль і планування вантажних операцій. Важливу роль відіграють системи управління ризиками, що включають ідентифікацію, оцінку, моніторинг і мінімізацію небезпек. Значну увагу приділяють професійній підготовці екіпажу, проведенню тренінгів і формуванню культури безпеки на судах [7].

Окремим напрямом є впровадження сучасних технологій моніторингу – датчиків, автоматизованих систем та елементів штучного інтелекту, які забезпечують постійний контроль параметрів судна, вантажу й зовнішніх умов. Важливим інструментом підвищення безпеки є також використання математичного моделювання для оптимізації планів завантаження та забезпечення остійності судна.

У межах сучасних підходів до запобігання нещасним випадкам виділяють кілька ключових напрямів. Насамперед – ризик-орієнтоване управління вантажними операціями, що передбачає постійний аналіз і контроль небезпечних дій та зон. Значну увагу приділяють системі permit-to-work, яка визначає порядок допуску працівників до робіт підвищеної небезпеки. Важливим є запровадження «культури безпеки», у межах якої кожен член екіпажу або портового персоналу несе персональну відповідальність за дотримання правил і може зупинити роботу у разі потенційної загрози. Технічні рішення включають використання дистанційно керованих кранів, автоматичних систем спостереження за зонами навантаження, газоаналізаторів із безперервною передачею даних, а також спеціалізованих навчальних програм для лашерів і операторів вантажних механізмів [3].

Висновки: Аналіз матеріалів Міжнародної асоціації вантажопереробних компаній (ICHCA International, 2025 р.) показав, що основними передумовами смертельного травматизму під час вантажно-розвантажувальних робіт є поєднання технічних, організаційних і людських факторів ризику. Аналіз статистичних даних засвідчує, що основна частина смертельних інцидентів спричинена механічними ушкодженнями, падіннями та

задушеннями у замкнутих просторах, що безпосередньо пов'язано з порушенням процедур і людським фактором. Ефективне підвищення рівня морської безпеки можливе лише за умови переходу від реактивного до превентивного управління ризиками, коли пріоритетом стає прогнозування небезпечних ситуацій, а не реагування на їх наслідки. Наголошено, що поєднання технологічного прогресу, системної освіти та спільної відповідальності між екіпажем і береговими службами може забезпечити реальне зниження рівня травматизму при вантажних операціях на морських судах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конон, Н., Конон, В. Аналіз ризиків контейнерного флоту в контексті підвищення безпеки морських операцій. *Судноплавство та навігація*. 2023. <https://doi.org/10.31653/2306-5761.34.2023.79-92>.
2. Мельник О.М Основні концепції безпечної обробки та транспортування палубних вантажів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. Том 34 (73) № 6. С.251-257. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/37>
3. Bolgov, O. (2023). Planning the cargo operations of a bulk carrier with continuous maintaining its seaworthiness. *Development of Management and Entrepreneurship Methods on Transport (ONMU)*. 2(83). P. 61-67. <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2023-2-61-67>.
4. IMO, Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2. London: IMO, 2018. [Online] Available: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/MSC-MEPC%202-Circ%2012-Rev%202.pdf>
5. International Cargo Handling Coordination Association (ICHCA International, 2025 p.) URL: <https://ichca.com/ichca-severe-risks-dashboard>
6. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Lohinov, O., Ocheretna, V., & Dovidenko, Y. (2022). Basic aspects ensuring shipping safety. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.117.10>.
7. Onyshchenko, S., Melnyk, O. Efficiency of Ship Operation in Transportation of Oversized and Heavy Cargo by Optimizing the Speed Mode Considering the Impact of Weather Conditions. *Transport and Telecommunication Journal*. 2022. vol.23, no.1, pp. 73–80. DOI:10.2478/tjt-2022-0007.
8. Yorulmaz, M., & Susoy, M. (2025). Risk analysis and management for STS operations in ports using an integrated hybrid method. *Ocean Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.120019>.

УДК 656.614.03

ПРАКТИКА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ НАВАЛЮВАЛЬНИМ ФЛОТОМ

Крат Д.І., магістр судноводіння, 2-й пом. капітана т/х «VIRGO STELLAR»,
Савчук В.Д., к.т.н., с.н.с, професор

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Актуальність теми спостережень, зроблених у реальному рейсі балкера «ANNY PETRAKIS» під час перевезення зерна кукурудзи пов'язана з тим, що зерно є третім за величиною вантажем з точки зору морської торгівлі та становить близько 9,50% від загального обсягу перевезень насипних вантажів у всьому світі.

Серед зернових культур є три основні, які займають найбільше місце в перевезенні морем: пшениця – 29,8%; кукурудза – 21,3%; соя – 32,9%; інші зернові культури становлять 16% усіх зернових культур. Між Бразилією та країнами Перської затоки морський флот

перевозить приблизно 500 мільйонів тонн зерновідходів, які при перевезенні морем швидко подрібнюються, а це, призводить до зниження їхньої якості при збереженні та переробці на кінцеві харчові продукти. Через швидкий технологічний прогрес судновласники балкерів та стикаються з дедалі новими проблемами, і тому виникає потреба у виконанні досліджень процесів транспортування зернових вантажів для розробки нових технологічних рішень. Таким чином, незалежно від широкого спектру перевезень зерна морськими суднами, для впорядкування цього технологічного процесу буде потреба постійного оновлення бази знань. З метою вивчення технологічних особливостей перевезення зернових вантажів великотоннажними балкерами, автор здійснив рейс з насипним вантажем кукурудзи з порту Сантос, Бразилія (Порт Сантос) до порту Бандар-Аббас, Іран (Порт Бандар-Аббас). Відстань між портами становила 8 548 миль.

Порт Сантос (Бразилія), координати: 23°56' пд.ш. 46°19' зх.д.

Розташований у затоці Атлантичного океану. Гавань розташована в протоці між двома островами та доступна для суден з осадкою 13,5 м. Довжина причального фронту становить 11 км, глибина біля причалів до 13,5 м. Порт обслуговує різні типи суден: суховантажні, контейнеровози, судна типу ро-ро, ліхтеровози. Третина причалів призначена для обробки танкерів. Біля входу в порт немає течій, він захищений від вітру та океанських хвиль. Якірні стоянки не мають обмежень щодо осадки, вони призначені для стоянки великотоннажних суден.

Вхід та вихід здійснюється вздовж фарватерного шляху, лоцманське проведення судна є обов'язковим. В порту є 14 буксирів потужністю від 500 кВт до 2350 кВт.

Для виклику лоцмана використовуються сигнали, рекомендовані Міністерством закордонних справ, або УКХ-канал 16, управління портом - УКХ-канали 11, 12, 13, 16, виклик буксира - 10, 13, 16.

Для отримання «вільної практики», тобто можливості виконувати вантажні операції, капітан повинен надати адміністрації порту наступні документи: судову роль, лист про стан здоров'я та вакцинацію кожного члена екіпажу, копії вантажних документів, Сертифікат про вільну практику, Списки запасів та інші.

Порт Бендер-Хомейні (Іран), координати 27°06' пн. ш., 56°05' сх. д.

Акваторія порту дозволяє захід суден з осадкою до 19 м. Глибини біля зернових причалів № 13, 14, 15 сягають 14-17,5 м. Причали обладнані зерно перевантажувачами (всмоктувальними агрегатами) продуктивністю 240 тонн на годину. Біля причалів розташовані транзитний силосний блок об'ємом 30 000 тонн та 5 силосів загальним об'ємом 37 500 тонн. Для їх завантаження використовується конвеєрна стрічка продуктивністю до 3000 тонн на годину. У порту є 5 буксирів потужністю від 300 кВт до 1250 кВт.

Техніко-експлуатаційні характеристики балкера "ANNY PETRAKIS": максимальна довжина - 225,00 м; довжина між перпендикулярами - 217,00 м; ширина - 32,26 м; висота борту - 19,60 м; водотоннажність по літню вантажну марку - 87 003 тонни; дедвейт - 75 181 тонна.

У порту Сантос на судно було завантажено зерно кукурудзи врожаю. Вологість становила до 14%, щільність вантажу - 0,7761 т/м³, природний кут укосу - 25-40°.

Категорія зернових вантажів має свої особливі вимоги до підготовки трюму, які має виконати екіпаж судна перед його завантаженням [1, 2]. Така підготовка вантажних приміщень проводилося також на балкері «ANNY PETRAKIS».

На підході до порту Сантос члени екіпажу протягом 2 днів чистили, мили та сушили трюми, після їх висихання поверхню бортів та поперечних перегородок пофарбували свіжою фарбою. Ретельно оглянули горловини та тамбури, що ведуть до трюмів, а також перевірили та дезодорували льяльні колодязі, перевірили систему відкачування води з льял. Електричні кабелі та розетки перевіряв електромеханік. Також ретельно оглянули протипожежне обладнання на предмет можливого пошкодження внутрішніх форсунок системи парового або вуглекислотного гасіння, перевірили стан датчиків виявлення диму.

Готовність судна до завантаження зерна кукурудзи перевіряла суднова комісія та фіксувала відповідним записом у судновому журналі. Після завершення підготовки судна до завантаження капітан подав адміністрації порту Сантос Notice of Readiness to load..

При підготовці вантажного плану для т/х «ANNY PETRAKIS» були дотриманні вимоги [3], а саме:

- кут крену від зміщення зерна не повинен перевищувати 12° або кут, під яким край палуби занурюється у воду, дивлячись по тому, що менше;

- на діаграмі статичної остійності чиста або залишкова площа між кривою кренящого моменту та кривою відновлювальних плечей до кута крену, що відповідає максимальній різниці між ординатами цих двох кривих або 40° , або кута заливання, дивлячись по тому, що менше, повинна бути у всіх випадках завантаження не менше $0,075$ метра-радіан;

- початкова метацентрична висота, враховуючи поправку на вплив вільної поверхні рідини (суднових змінних запасів) у танках, повинна бути не менше $0,30$ м.

На судно було завантажено 69 050 тонн кукурудзи, вантаж розподілено між усіма трюмами, а саме: тр. № 1 – 7820 тонн, тр. № 2 – 10 050 тонн, тр. № 3 – 10 980 тонн, тр. № 4 – 9980 тонн, тр. № 5 – 11 000 тонн, тр. № 6 – 9990 тонн, тр. № 7 – 9230 тонн.

Детальні розрахунки остійності судна, погодного критерію та поздовжньої міцності корпусу показали, що завантаження судна відповідає вимогам Кодексу [3].

Завантаження кукурудзи здійснювалося за допомогою вакуумної установки («ніпелів»). Після заповнення трюмів члени екіпажу вирівнювали поверхню вантажу таким чином, щоб можна було закрити кришки трюмів. Процес завантаження кукурудзи в порту Сантос представлено на рис. 1.



Рисунок 1. Завантаження кукурудзи в порту Сантос

Після завантаження зерна кукурудзи в порту Сантос, екіпаж судна виконав такі роботи:

- для запобігання намокання вантажу від вологи з атмосфери або заборотної води, стики між комінгсами люків та кришками трюмів були задуті пінопластом, поверх пінопласту були покладені смужки технічної тканини шириною близько 25 см та довжиною 1 метр, які були зафарбовані;

- стики між кришками (з правого та лівого боків) були герметизовані матеріалом з гумовою основою (рамнек), який при нагріванні газовою горілкою приклеювався до кришки та комінгсів трюму;

- фумігація заповнених зерном трюмів проводилася протягом 21 дня, протягом цього трюми не вентильовалися та не відкривалися.

Оскільки в масі кукурудзяних зерен безперервно відбуваються різні фізіологічні процеси, основним з яких є «дихання», під час якого виділяється вуглекислий газ, волога та тепло. А це, в свою чергу, призводить до самонагрівання зернової маси в трюмі судна. Температура вантажу має великий вплив на інтенсивність дихання зерна. Підвищення температури до $50-60^\circ\text{C}$ викликає посилення дихання, а зниження температури знижує

активність цього процесу. Практика перевезення зерна навалом, коли тривалість рейсу перевищує 10 днів [2] показала, що в цьому випадку його збереження забезпечується під час доставки до порту призначення при повній герметизації вантажних приміщень (трюмів).

Найефективнішим засобом запобігання псування зернових вантажів є використання примусової вентиляції та кондиціонування трюмів. Оскільки вантажівка «ANNY PETRAKIS» не має потужної системи примусової вентиляції трюмів, а оснащена системою природної вентиляції, вантажні приміщення на переході не вентильовалися. Під час океанського переходу трюми не відкривалися, щоб запобігти потраплянню води у вантаж. Щодня під керівництвом старшого помічника капітана проводилися вимірювання температури та вологості за допомогою 3 термометрів Астмана, які були розміщені на трьох рівнях: біля нижньої палуби, на середині висоти трюму та біля головної палуби. Результати вимірювань записувалися до судового журналу. Трюми відкривалися лише під час прибуття на якірну стоянку порту призначення. Під час рейсу екіпаж судна «ANNY PETRAKIS» дотримувався вимог правил [3, 4, 5] та вказівок судовласника, вантаж кукурудзи був доставлений та переданий без претензій, а його стан у порту Бендер-Хомейні представлено на рис. 2.



Рисунок 2. Поверхня вантажу кукурудзи в порту Бендер-Хомейні

Практичні спостереження, які були виконані на балкері "ANNY PETRAKIS" у реальному рейсі перевезення зерна кукурудзи між портами Сантос та Бендер-Хомейні, дозволяють зробити такі висновки:

- перевезення зернових вантажів морським флотом між країнами світу займає значне місце в загальному обсязі перевезень насипних та навалювальних вантажів і сягає майже 437 мільйонів тонн;
- для перевезення зерна між континентами економічно ефективно використовувати великотоннажний насипний флот, судна дедекейтом 100-150 тисяч тонн;
- при перевезенні сухого зерна кукурудзи (вологість до 14%) можливе використання методу «герметизації трюмів», а під час океанського переходу необхідно здійснювати постійний контроль за температурою вантажу;
- з метою подальшого вдосконалення методів безпечного перевезення зернових вантажів, підвищення економічної ефективності експлуатації великотоннажних насипних суден необхідно продовжувати дослідження в цьому напрямку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Савчук В.Д. Технологія перевезень вантажів: Підручник для курсантів та студентів морських вищих навчальних закладів, Видання 2-ге, перероблене і доповнене . – Одеса: НУ"ОМА", 2021. – 390 с.
2. Снопков В.І. Технологія перевезень вантажів морем: Підручник для вузів, 4-те вид. – Санкт-Петербург, НВО «Професіонал». 2006. – 560 с.
3. Internftional Code for the Safe Carriage of Grain in Balk (Grain Code) – London,: IMO, 1999. – 96 p. URL

4. Code of Practice for Safe Loading and Unloading of Bulk (BLU Code) [//www.axelzone.ro/storage/ttm/_lessons/balk_carriers/IMSBC%20CODE.pdf](http://www.axelzone.ro/storage/ttm/_lessons/balk_carriers/IMSBC%20CODE.pdf)
5. International Maritime Dangerous Goods Code, 2014 edition. Vol. 1, Vol. 2: IMO. London, 2014

УДК 629.5.017:665.612.2

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ЯК СУДОВОГО ПАЛИВА: ТЕХНІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Петриченко О.О., Козаченко О.Ю., Дімова К.І.

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Актуальність дослідження. Сучасна морська індустрія стикається з необхідністю кардинальної трансформації енергетичних систем у відповідь на глобальні кліматичні виклики та посилення міжнародних екологічних стандартів. Традиційне суднове паливо, представлене мазутом та дизельним паливом, залишається одним із найбільших джерел антропогенних викидів вуглекислого газу та інших забруднюючих речовин в атмосферу. Міжнародна морська організація систематично посилює вимоги щодо скорочення шкідливих викидів, визначаючи амбітну мету досягнення нульових викидів парникових газів до 2050 року. У цьому контексті водень розглядається як один із найперспективніших векторів розвитку екологічно безпечного судноплавства завдяки своїм унікальним фізико-хімічним властивостям та потенціалу повної декарбонізації морського транспорту.

Мета дослідження полягає в комплексному аналізі технічних, економічних та екологічних аспектів впровадження водневих технологій у морському транспорті, оцінці перспектив масового застосування водню як судового палива та виявленні ключових бар'єрів на шляху до його широкого впровадження в судноплавній галузі.

Основні характеристики водню як судового палива. Водневе паливо являє собою енергоносію, при використанні якого єдиним побічним продуктом є водяна пара, що забезпечує повну відсутність токсичних викидів в атмосферу. Водень характеризується надзвичайно високою питомою енергоемністю, що перевищує показники традиційних видів палива, та може застосовуватися як у двигунах внутрішнього згоряння, так і в паливних елементах для генерації електроенергії. Виробництво водню для потреб судноплавства здійснюється кількома методами, серед яких найбільш поширеними є паровий риформінг метану та електроліз води. Особливої уваги заслуговує технологія отримання так званого зеленого водню шляхом електролізу води з використанням енергії відновлюваних джерел, що забезпечує повну екологічність енергетичного циклу. Інноваційні розробки включають методи прямого виробництва водню на борту судна шляхом реакції алюмінію з морською водою у присутності каталізатора, що дозволяє забезпечити автономність суден без необхідності створення складної берегової інфраструктури/

Аналіз існуючих водневих суден. Практична реалізація водневих технологій у судноплавстві демонструється низкою пілотних проєктів, що успішно експлуатуються в різних регіонах світу. Судно Nemo H₂, спущене на воду в 2009 році в Амстердамі, стало одним із перших комерційних пасажирських суден на водневому паливі. Катамаран довжиною 21 метр здатний транспортувати до 88 пасажирів та оснащений водневим паливним елементом потужністю 60 кВт у поєднанні з акумуляторною батареєю ємністю 30 кВт на годину. Водень зберігається у спеціалізованих балонах під тиском 350 бар, забезпечуючи безпечну та стабільну роботу енергетичної системи. Судно було розроблено в рамках європейського проєкту Clean Urban Transport for Europe та продемонструвало технічну можливість ефективного використання водневих паливних елементів у комерційній експлуатації міського водного транспорту [1].

Більш технологічно досконалим проектом є Energy Observer, перше у світі повністю автономне судно-катамаран, що використовує комбінацію сонячної, вітрової та водневої енергії. Унікальність проекту полягає у виробництві водню безпосередньо на борту судна шляхом електролізу попередньо опрісненої морської води з використанням надлишкової енергії, що генерується сонячними панелями та вітрогенераторами. Судно функціонує як плавуча науково-дослідна лабораторія, де проводиться тестування інноваційних технологій у сфері відновлюваної енергетики в реальних морських умовах. Участь компанії Toyota у проекті підкреслює стратегічне значення водневих технологій для майбутнього розвитку як морського, так і наземного транспорту [2].

Технічні виклики впровадження водневих технологій. Масштабне впровадження водню як судового палива стикається з низкою суттєвих технічних обмежень, що потребують комплексного вирішення. Основною проблемою залишається зберігання водню на борту судна, оскільки існуючі методи зберігання у стисненому стані під високим тиском, у зрідженому вигляді при криогенних температурах або у вигляді хімічних сполук характеризуються високою вартістю та складністю реалізації. Створення ефективних та безпечних систем зберігання водню потребує використання спеціалізованих матеріалів, здатних витримувати екстремальні умови експлуатації, та розробки багаторівневих систем безпеки для запобігання можливих аварійних ситуацій. Додатковим бар'єром є необхідність створення глобальної інфраструктури для виробництва, транспортування та бункерування водню у портах, що потребує колосальних капіталовкладень та координації зусиль на міжнародному рівні [3].

Економічні аспекти переходу на водневе паливо. Економічна доцільність використання водню визначається співвідношенням початкових капітальних витрат та довгострокових операційних переваг. Будівництво водневих суден на сучасному етапі характеризується значно вищими витратами порівняно з традиційними суднами, що пов'язано з необхідністю встановлення дорогого обладнання для зберігання та використання водню. Водночас довгострокова економічна ефективність забезпечується зниженням витрат на паливо при масовому виробництві зеленого водню, відсутністю необхідності встановлення систем очищення викидів та потенційним зменшенням податкового навантаження у зв'язку з використанням екологічно чистих технологій. Критично важливим фактором є державна підтримка переходу на альтернативні види палива через механізми субсидування, податкових пільг та фінансування розвитку необхідної інфраструктури.

Екологічні переваги водневого судноплавства. Використання водню як судового палива забезпечує фундаментальне вирішення проблеми атмосферних викидів від морського транспорту. При роботі водневих паливних елементів або двигунів внутрішнього згоряння на водні єдиним продуктом є водяна пара, що означає повну відсутність викидів вуглекислого газу, оксидів азоту, сірки та твердих частинок. Це особливо важливо для судів, що експлуатуються у прибережних зонах та міських акваторіях, де концентрація забруднюючих речовин має критичний вплив на здоров'я населення та стан екосистем. Екологічність водневого циклу досягає максимуму при використанні зеленого водню, виробленого з відновлюваних джерел енергії, що забезпечує нульовий вуглецевий слід протягом всього життєвого циклу палива [4].

Для об'єктивної оцінки перспектив водню в морському транспорті необхідно порівняти його характеристики з іншими альтернативними джерелами енергії, що розглядаються судноплавною галуззю як потенційна заміна традиційному мазуту. У таблиці 1 наведено комплексний аналіз основних показників шести типів альтернативного палива: водню, скрапленого природного газу (LNG), аміаку, метанолу, біопалива та електроенергії.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз альтернативних джерел енергії для морського транспорту

Показник	Водень (H ₂)	LNG	Аміак (NH ₃)	Метанол (CH ₃ OH)	Біопаливо	Електроенергія
----------	--------------------------	-----	--------------------------	------------------------------	-----------	----------------

Джерело енергії	Електроліз води (зелений) або паровий риформінг (сірий)	Викопний природний газ	Синтез з H ₂ та N ₂	Синтетичний або з біомаси	Органічна біомаса	Відновлювана або традиційна
Викиди CO ₂	0 (зелений); 9-12 кг/кг (сірий)	Зниження на 20-25% vs HFO	0 при згорянні*	Зниження на 15-20% vs HFO	Зниження на 50-80%	0 (відновлювана енергія)
Викиди NO _x	Зниження до 80%	Зниження до 85%	Можлива емісія N ₂ O	Зниження на 60%	Помірне зниження	0
Викиди SO _x	0	0	0	Низькі (<0.05%)	Дуже низькі	0
Зберігання	-253°C або 350-700 бар	-162°C	-33°C або 8-10 бар	Кімнатна t°	Кімнатна t°	Кімнатна t°
Безпека	Вибухонебезпечний (5-75%); швидко розсіюється	Вибухонебезпечний (5-15%)	Високотоксичний (LC ₅₀ : 2000 ppm)	Токсичний; горючий	Горюче	Термічний розгін батарей
Інфраструктура	Обмежена (початкова стадія)	Добре розвинена (зріла)	Практично відсутня	На стадії розвитку	Існуюча (адаптація)	Потребує портових станцій
Капітальні витрати	+40-60% до судна	+15-25%	+30-50%	+10-20%	+5-10%	+20-40% (малі судна)
Ефективність перетворення енергії	50-60% (ПЕ); 35-45% (ДВЗ)	40-45%	35-40%	40-45%	35-42%	85-95%
Дальність	Обмежена (500-2000 км**)	Висока (5000-15000 км)	Висока	Середня (3000-8000 км)	Висока	Дуже обмежена (50-300 км)
Термін служби	ПЕ: 10-20 тис. год; танки: 20+ років	Двигуни/танки: 25-30+ років	Двигуни: 20+ років	Двигуни: 20-25 років	Двигуни: 25+ років	Батареї: 3-5 тис. циклів (8-12 років)

Як видно з порівняльного аналізу, жодне з альтернативних джерел енергії не є ідеальним рішенням для всіх типів суден та маршрутів. Водень виділяється найвищою екологічною чистотою та енергоємністю, але потребує складної інфраструктури та має високі початкові витрати. LNG залишається найбільш технологічно зрілим варіантом, проте забезпечує лише часткове зниження викидів. Електричні судна демонструють найвищу ефективність, але обмежені дальністю плавання.

Вибір оптимального палива залежить від специфіки експлуатації: для коротких пасажирських маршрутів перспективними є водень та електроенергія, для далеких океанських рейсів — LNG та аміак, для середньотоннажного флоту — метанол. Найбільш вірогідним сценарієм розвитку галузі до 2050 року є диверсифікація енергетичних рішень, коли різні типи

суден використовуватимуть найбільш відповідне їхнім потребам паливо, а не єдину універсальну технологію [5..

Позиція міжнародних морських організацій. Міжнародна морська організація визначає водень як один із пріоритетних напрямів декарбонізації морського транспорту в рамках стратегії досягнення нульових викидів до середини поточного століття. Згідно з прогнозами організації, частка альтернативних видів палива, включаючи водень та його похідні, має становити щонайменше п'ять-десять відсотків від загального обсягу суднового палива вже до 2030 року. Європейське агентство з морської безпеки та Міжнародний форум з транспорту активно підтримують розробку нормативно-правової бази для безпечної експлуатації водневих суден, фінансують пілотні проекти та сприяють створенню інфраструктури для постачання водню у портах. Провідні судноплавні компанії та суднобудівні верфі дедалі активніше включаються у програми зеленого судноплавства, розробляючи проекти водневих суден різного призначення та тоннажу.

Перспективи масового впровадження до 2050 року. Реалістичність масового переходу морського транспорту на водневе паливо в період до 2050 року визначається успішністю вирішення комплексу взаємопов'язаних завдань технологічного, інфраструктурного, економічного та регуляторного характеру. Ключовими передумовами широкого впровадження водню є здешевлення технологій виробництва зеленого водню, створення глобальної мережі водневих бункерних станцій у провідних портах світу, стандартизація технічних вимог до водневих суден та систем безпеки, а також формування сприятливого інвестиційного клімату через державну підтримку та міжнародну координацію зусиль. За умови виконання цих передумов водневі судна мають потенціал зайняти провідні позиції в сегментах пасажирського, портового та прибережного транспорту вже до 2030-2035 років, з подальшим розширенням застосування у міжнародних вантажних перевезеннях до середини століття.

Висновки. Водень являє собою стратегічно важливий вектор розвитку екологічно безпечного судноплавства, що відповідає глобальним цілям декарбонізації морського транспорту. Технічна реалізованість водневих технологій підтверджується успішною експлуатацією пілотних проектів, що демонструють можливість створення повністю автономних суден з нульовими викидами. Водночас масове впровадження водню потребує подолання суттєвих технічних та економічних бар'єрів, що вимагає консолідації зусиль держав, міжнародних організацій, бізнесу та наукових установ. За умови достатнього фінансування досліджень, розвитку інфраструктури та формування сприятливого регуляторного середовища водень має всі передумови стати одним із основних видів судового палива до середини поточного століття, забезпечивши перехід галузі до екологічно стійкої моделі розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sagin, S. V., & Kuropyatnyk, O. A. (2018). The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines. *OUR SEA: International Journal of Maritime Science & Technology*, 65(2), 78-86. <https://doi.org/10.17818/NM/2018/2.3>.
2. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Yarovenko, V., Klyuyeva, Y., Zaporozhets, A., & Kucherenko, V. (2025). Technological overview and perspectives of wind energy for sustainable maritime transportation. *Modern Technologies in Energy and Transport II. Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 574, pp. 177–189). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76650-3_11
3. Sagin, A. S., Sagin, S. V., & Madei, V. V. (2021). Operation of a marine diesel engine on biodiesel fuel. *Avtomatyzatsiia sudnovykh tekhnichnykh zasobiv*, (27), 93–107. Odesa: National University “Odessa Maritime Academy.”

4. Столярик Т. О. Прогнозування механічних втрат в суднових дизелях // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. – Одеса: НУ «ОМА», 2022. – Вип. 44. – 194 с.
5. Petrychenko, O., Levinskyi, M., Goolak, S., & Lukoševičius, V. (2025). Prospects of solar energy in the context of greening maritime transport. *Sustainability*, 17(5), 2141. <https://doi.org/10.3390/su17052141>

УДК 629.5.017:665.612.2

СКРАПЛЕНИЙ ПРИРОДНИЙ ГАЗ ЯК ПЕРЕХІДНЕ ПАЛИВО В СТРАТЕГІЇ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ: ТЕХНІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Петриченко О.О., Козаченко О.Ю., Трегубов В.В.

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Сучасне судноплавство переживає кардинальні зміни, спрямовані на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та дотримання міжнародних екологічних стандартів. Міжнародна морська організація постійно посилює вимоги щодо зменшення шкідливих викидів, встановлюючи амбітну ціль знизити викиди парникових газів від морського транспорту на 50% до 2050 року порівняно з рівнем 2008 року. У цьому контексті судновласники активно шукають альтернативу традиційним видам палива, серед яких найперспективнішим напрямком став перехід на скраплений природний газ.

Скраплений природний газ являє собою природний газ, охолоджений до температури приблизно мінус 162 градуси Цельсія, що переводить його у рідкий стан і зменшує обсяг у 600 разів порівняно з газоподібною формою. Сучасний LNG складається з 85-95% метану, а решта 5% припадає на етан, пропан, бутан та азот. Чистий LNG не горить самостійно, не спалахує і не вибухає за нормальних умов, однак при випаровуванні та змішуванні з повітрям у концентрації від 5% до 16% утворює вибухонебезпечну суміш.

Основні фізико-хімічні властивості LNG включають високу теплоту згоряння приблизно 50 МДж/кг, майже повну відсутність сірки, низький рівень утворення твердих частинок та необхідність криогенного зберігання. Для ефективного використання LNG на судах застосовується система постачання паливного газу, яка безпечно зберігає, обробляє та подає газоподібне паливо до двигунів, підтримуючи необхідні параметри тиску та температури [1].

Порівняльний аналіз характеристик різних видів судового палива демонструє значні переваги LNG над традиційними паливами (табл.1). Дослідження показують, що LNG має теплотворну здатність близько 50 МДж/кг, що перевищує показники важкого мазутного палива та морського дизелю. Найбільш вражаючими є екологічні характеристики: викиди сірководню при використанні LNG практично дорівнюють нулю, тоді як важке мазутне паливо може містити до 3,5% сірки. Оксиди азоту знижуються на 80% порівняно з традиційними паливами, а викиди вуглекислого газу зменшуються на 20%.

Таблиця 1. Техніко-економічні показники основних типів морського палива

Характеристика	LNG	HFO	MDO	Метанол
Теплотворна здатність, МДж/кг	50	40	42	19
Викиди SO _x , %	0	До 3,5	0,1-1,0	Низькі
Зниження викидів NO _x , %	80	Базовий рівень	20	60
Зниження викидів CO ₂ , %	20	Базовий рівень	10	15
Вартість, \$/тонна	750-950	550-650	650-750	400-600

Характеристика	LNG	HFO	MDO	Метанол
Щільність енергії, МДж/м³	22,200	40,200	35,800	15,800

Економічний аспект використання LNG потребує комплексного аналізу початкових капіталовкладень та операційних витрат. Розрахунки для типового контейнеровоза місткістю 15000 TEU на маршруті Азія-Європа тривалістю 30 днів показують цікаві результати. При роботі на важкому мазуті середнє споживання становить 200 тонн на добу, що за рейс складає 6000 тонн при вартості 600 доларів за тонну, загальною сумою 3,6 мільйона доларів. При переході на LNG споживання зменшується на 10-15% до 175 тонн на добу, що за рейс становить 5250 тонн при вартості 850 доларів за тонну, загальною сумою 4,46 мільйона доларів [2].

Незважаючи на вищу вартість палива, економічна ефективність LNG проявляється у довгостроковій перспективі через відсутність необхідності встановлення дорогих систем очищення викидів, що економить 8-10 мільйонів доларів при будівництві судна, нижчі витрати на обслуговування двигунів та зменшення податкового навантаження у майбутньому.

Технічні особливості суден, що використовують LNG, включають кардинальні зміни у конструкції та обладнанні. Кріогенні паливні танки виготовляються зі спеціальних матеріалів, стійких до низьких температур, з надзвичайно високим рівнем ізоляції. Системи регазифікації включають спеціальні теплообмінники для перетворення рідкого LNG у газоподібний стан з підтриманням стабільних параметрів тиску та температури. Багаторівневі системи безпеки включають датчики витоку газу, системи аварійного відключення, вогнетривкі бар'єри та спеціалізовані системи вентиляції [3].

Широкого розповсюдження набули двотопливні системи, які забезпечують можливість роботи як на LNG, так і на традиційних видах палива (табл.2). Такі системи забезпечують плавний перехід між типами палива без зупинки двигуна, підвищують надійність експлуатації та дозволяють оптимізувати витрати залежно від доступності та вартості палива у різних портах.

Таблиця 2. Технічні компоненти системи постачання LNG на судні

Компонент системи	Функція	Технічні вимоги	Вартість, % від загальної
Кріогенні танки	Зберігання LNG при -162°C	Подвійні стінки, вакуумна ізоляція	35-40
Система регазифікації	Перетворення LNG у газ	Теплообмінники, контроль тиску	25-30
Системи безпеки	Запобігання аваріям	Датчики, аварійні клапани	15-20
Двотопливні двигуни	Робота на LNG/MDO	Подвійні системи впорскування	20-25
Системи управління	Контроль параметрів	Автоматизація процесів	5-10

Серед відомих прикладів впровадження LNG-технологій можна відзначити контейнеровоз CMA CGM Adventure місткістю 23000 TEU, поромі компанії Brittany Ferries з LNG-двигунами та LNG-танкери з двотопливними системами, які демонструють технічну можливість використання скрапленого природного газу на різних типах суден.

Виклики впровадження LNG включають високу вартість будівництва спеціалізованих суден, що зростає на 15-25% порівняно зі звичайними суднами. Недостатність бункерної інфраструктури у портах світу обмежує оперативність та гнучкість експлуатації LNG-суден, вимагаючи ретельного планування маршрутів. Необхідність спеціальної підготовки екіпажу для роботи з кріогенним паливом та забезпечення високого рівня безпеки потребує значних інвестицій у навчання персоналу.

Аналіз глобального ринку LNG-суден показує стрімке зростання замовлень на нові судна з LNG-двигунами. За період 2020-2024 років кількість замовлень збільшилась у чотири рази, що свідчить про зростаючу довіру судовласників до цієї технології. Основними регіонами розвитку LNG-інфраструктури є Європа, Азійсько-Тихоокеанський регіон та

Північна Америка. Перспективи розвитку LNG як палива для морського транспорту пов'язані з розбудовою глобальної бункерної інфраструктури та інтеграцією з іншими екологічно чистими технологіями. Створення нових бункерних терміналів з сучасними системами зберігання та регазифікації підвищить доступність LNG у ключових морських хабах [4].. Розвиток гібридних паливних стратегій, що поєднують LNG з метанолом, аміаком та воднем, дозволить створити більш гнучкі та ефективні енергетичні системи для суден майбутнього.

Результати дослідження підтверджують, що скраплений природний газ є ефективним перехідним рішенням для сучасного флоту, яке поєднує екологічну відповідальність з економічною доцільністю. Хоча початкові капіталовкладення залишаються високими, довгострокові переваги включають відповідність міжнародним екологічним нормам, зниження операційних витрат та формування позитивного корпоративного іміджу. Таким чином, LNG становить ключовий етап у переході від традиційного палива до повністю екологічного судноплавства майбутнього.

Подальший розвиток використання LNG у морському транспорті тісно пов'язаний із впровадженням цифрових технологій управління енергоспоживанням. Сучасні судна, обладнані системами моніторингу в реальному часі, дозволяють відстежувати витрати палива, оптимізувати режими роботи двигунів і знижувати рівень викидів [5].. Це відкриває шлях до створення «розумного флоту», де рішення щодо маршруту, швидкості та витрати енергії приймаються автоматизовано на основі аналізу даних. Такий підхід забезпечує не лише підвищення ефективності, але й сприяє досягненню глобальних екологічних цілей.

Окрім того, важливим напрямом залишається розвиток інфраструктури повторного використання та утилізації LNG. Розглядаються технології уловлювання викидів метану, повторне використання холодоенергії, отриманої при зберіганні LNG, а також створення замкнених енергетичних циклів на базі портових терміналів. Ці інноваційні рішення дають змогу зменшити втрати енергії та підвищити загальну екологічну ефективність LNG-ланцюга. Таким чином, інтеграція LNG у морську індустрію стає не лише питанням вибору палива, а й частиною глобальної стратегії переходу до низьковуглецевої економіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sagin, S. V., & Kuropyatnyk, O. A. (2018). The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines. *OUR SEA: International Journal of Maritime Science & Technology*, 65(2), 78-86. <https://doi.org/10.17818/NM/2018/2.3>.
2. Matveev, I. B., Serbin, S. I., & Washcilenko, N. V. (2014). Sewage sludge-to-power. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 42(12), 3876-3880.
3. Cherednichenko, O., & Serbin, S. (2018). Analysis of Efficiency of the Ship Propulsion System with Thermochemical Recuperation of Waste Heat. *Journal of Marine Science and Application*, 17(1), 122-130.
4. Mikosyanchyk, O., Mnatsakanov, R., Zaporozhets, A., & Kostynik, R. (2016). Influence of the nature of boundary lubricating layers on adhesion component of friction coefficient under rolling conditions. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 4(1), 24-31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75857>.
5. Andersson, K., Brynolf, S., Lindgren, F., & Nilsson, L. (2020). Comparison of Alternative Marine Fuels, Part II: Life Cycle Assessment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(9), 667. <https://doi.org/10.3390/jmse8090667>.

УДК 656.61.022.8:004.8(045)

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ФРАХТОВОГО РИНКУ: ВПЛИВ ІІІ НА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАВОК ТА ОПТИМІЗАЦІЮ МАРШРУТІВ СУДЕН

Вступ

Сучасна комерційна експлуатація суден функціонує в умовах надзвичайно високої конкуренції та жорсткого екологічного регулювання. У структурі операційних витрат судна (ОРЕХ) витрати на паливо (бункер) традиційно складають від 40% до 60%. Одночасно, Міжнародна морська організація (ІМО) та регіональні регулятори, як-от ЄС, впроваджують нові вимоги (ЕЕХІ, СІІ, ЕU ЕТS), що змушують судновласників радикально скорочувати викиди CO₂.

Традиційні методи планування рейсів, що базуються на статичних кліматологічних даних та усереднених показниках, демонструють свою неефективність. Вони не здатні адекватно реагувати на динамічні зміни погодних умов чи оперативну ситуацію в портах, що призводить до перевитрати палива, зривів графіку та фінансових втрат через простій (демередж).

У цьому контексті, впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (ML) стає ключовим фактором підвищення комерційної ефективності флоту. Метою даної роботи є аналіз впливу ШІ на два ключові аспекти комерційної експлуатації: оптимізацію маршрутів та прогнозування фрахтових ставок.

Основна частина

Штучний інтелект у судноплавстві – це не окрема програма, а комплексні аналітичні системи, що здатні обробляти величезні масиви даних (Big Data) у реальному часі для прийняття оптимальних комерційних та навігаційних рішень.

Ключові напрямки застосування ШІ в експлуатації флоту можна розділити на дві взаємопов'язані категорії:

1. Динамічна оптимізація маршруту та швидкості. На відміну від стандартних програмних комплексів, що прокладають найкоротший шлях, ШІ-платформи використовують предиктивне моделювання. Вони аналізують сукупність факторів [1]:

Метеорологічні та океанографічні дані: прогнози хвиль, вітру, океанських течій.

Динамічні дані судна: поточне завантаження, диферент, рівень обростання корпусу, ефективність роботи головного двигуна та ковзання гвинта.

Навігаційні дані: дані AIS (Automatic Identification System) про трафік інших суден, затори на підходах до портів та каналів.

На основі цього аналізу ШІ вирішує два завдання. Перше – "**Weather Routing**" (погодна маршрутизація). Алгоритм прораховує тисячі варіантів, щоб знайти не обов'язково найкоротший, але найбільш *економічний* маршрут. Наприклад, ШІ може порекомендувати судну зробити невелике відхилення від генерального курсу, щоб обійти зону шторму. Це значно зменшує опір води та вітру, що у підсумку дає чисту економію палива при збереженні розкладу [3].

Друге, не менш важливе завдання – це забезпечення "**Just-in-Time**" (JIT) **прибуття** [5]. Система з високою точністю прогнозує час прибуття в порт, враховуючи доступність причалу та вантажних потужностей. Це дозволяє оптимізувати швидкість судна ("*Speed of Advance*") таким чином, щоб прибути точно під початок вантажних операцій, уникаючи дорогого простою на якірній стоянці та мінімізуючи ризик сплати демереджу.

2. Прогнозування фрахтових ставок. Комерційний успіх рейсу залежить не лише від мінімізації витрат, але й від максимізації доходу, тобто від ставки фрахту. ШІ-моделі, що використовують машинне навчання, здатні аналізувати ринкові тенденції значно глибше за людину [2, 4].

Ці моделі враховують:

Історичні дані про фрахтові угоди (fixtures) та індекси (напр., Baltic Dry Index).

Макроекономічні показники (ціни на сировину, нафту).

Дані про попит і пропозицію тоннажу, отримані, зокрема, через аналіз AIS.

Аналізуючи за допомогою AIS рівень заторів у ключових портах (наприклад, у Шанхаї чи Роттердамі), ШІ може передбачити локальний дефіцит тоннажу *ще до того*, як це відобразиться на ринкових індексах. Це дає комерційному департаменту (чартерному відділу) судовласника критичну перевагу: він розуміє, куди рухається ринок, і може приймати обґрунтовані рішення – фрахтувати судно негайно чи почекати зростання ставок.

Комерційний ефект від такого підходу є комплексним. Економія палива та часу від оптимізації маршрутів напряду збільшує прибутковість рейсу, що відображається у показнику **TCE (Time Charter Equivalent)** – чистому добовому доходу судна. А точне прогнозування ринку дозволяє укладати чартери на пікових значеннях, максимізуючи дохід.

Висновки

Впровадження технологій штучного інтелекту кардинально змінює підходи до комерційної експлуатації суден. Вони дозволяють перейти від реактивного управління (реагування на проблеми) до предиктивного (передбачення та уникнення проблем).

Аналіз практичних кейсів впровадження ШІ-оптимізації у провідних судноплавних компаніях демонструє стабільну економію палива на рівні від 5% до 15% на окремих рейсах [3]. У масштабах флоту це трансформується у мільйони доларів щорічного прибутку та значне зниження викидів CO₂, що дозволяє відповідати новим екологічним стандартам.

Таким чином, Штучний Інтелект – це вже не футуристична концепція, а доведений практичний інструмент. Компанії, що ігнорують цифровізацію та можливості ШІ у плануванні рейсів та аналізі ринку, найближчим часом ризикують втратити конкурентоспроможність на глобальному фрахтовому ринку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Афанасьєв Д. В. Зменшення витрат у морських перевезеннях за допомогою штучного інтелекту. *Наукове бачення: економіка та управління*. 2023. № 4 (18). URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1811> (дата звернення: 28.10.2025).
2. Budzyński P., Cieśla M. Application of a machine learning model for forecasting freight rate in road transport. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2025. Vol. 126. P. 23–35. URL: https://sjsutst.polsl.pl/archives/2025/vol126/023_SJSUTST126_2025_Budzynski_Ciesla.htm (дата звернення: 28.10.2025).
3. The Impact of AI on the Optimization of Maritime Routes / Transglory. 2024. URL: <https://www.transglory.com/en/the-impact-of-ai-on-the-optimization-of-maritime-routes/> (дата звернення: 28.10.2025).
4. Investigation of Multivariate Freight Rate Prediction Using Machine Learning and AIS Data / P. S. G. Myklebust. Master's thesis. Norwegian University of Science and Technology, 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/328531951_Investigation_of_Multivariate_Freight_Rate_Prediction_Using_Machine_Learning_and_AIS_Data (дата звернення: 28.10.2025).
5. 'Just in time' is just the beginning / Wärtsilä. 2021. URL: <https://www.wartsila.com/insights/article/just-in-time-is-just-the-beginning> (дата звернення: 28.10.2025).

УДК 656.615(477)-048.23

РЕАЛІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОРТОВОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Холчев О.І., курсант групи 1604, Омельченко Т.Ю., кандидат технічних наук, доцент

В сьогоденні портова індустрія України переживає важкі часи, але продовжує розвиватись навіть в таких, доволі, складних військових умовах. Серед основних офіційних державних документів, головним є розроблена урядом Стратегія розвитку морських портів України до 2038 року, в якій окреслені ключові напрями для реалізації стратегічних можливостей. Серед основних напрямків можна виділити:

- 1) модернізацію портової інфраструктури;
- 2) залучення інвестицій через державно-приватне партнерство в розвиток портової галузі;
- 3) техніко-економічне обґрунтування нових інфраструктурних проєктів в портовому господарстві;
- 4) оптимізацію транспортних потоків в яких залучені порти України.

Аналіз вантажообігу морських портів України за 2020-2024 роки приведено на рис. 1.

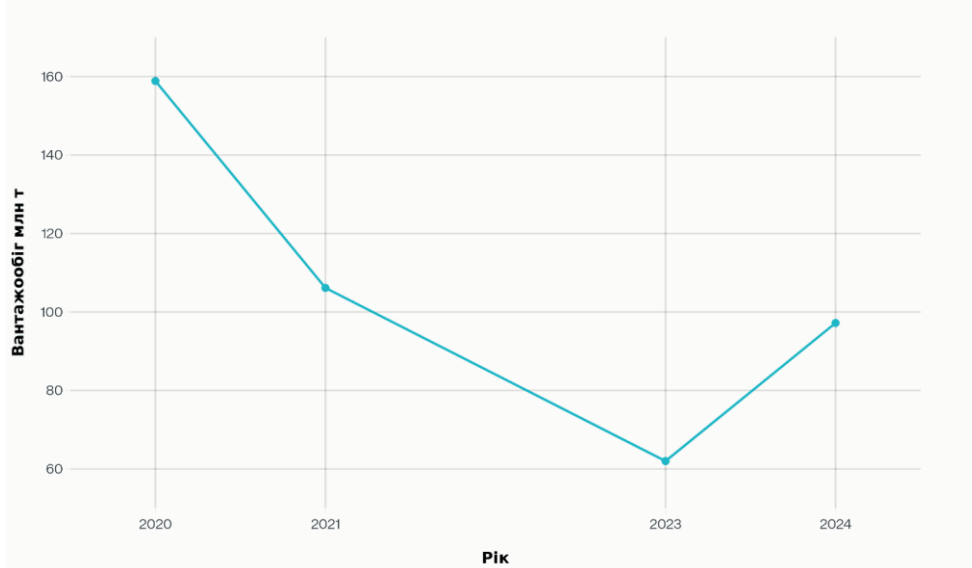


Рисунок 1. Вантажообіг морських портів України за 2020-2024 р.

З рис. 1 можна зробити висновок, що в 2020 р. загальний вантажообіг морських портів України складав приблизно 158,86 млн. т, що було на 0,7% менше ніж у 2019 р. Лідером був порт Південний з обсягом 61,66 млн. т., далі п. Миколаїв - 30,07 млн. т., п. Чорноморськ - 23,86 млн. т., п. Одеса – 23,29 млн. т. та п. Маріуполь – 7,01 млн. т. [1].

За 9 місяців 2021 р. вантажообіг портів України склав – 106,13 млн. т. У 2023 р. порти України перевантажили близько 62 млн. т. вантажів, з них експорт склав 56,3 млн. т., а імпорт – 5,3 млн. т. Значним було перевантаження зернових, що склало – 45,5 млн. т. [2].

Весь 2023 рік показував позитивну динаміку зростання вантажообігу після довгого спаду з 2020 р. В 2024 р. вантажообіг склав рекордні 97,2 млн. т. Окремо потрібно зазначити експорт – 88,1 млн. т., та імпорт – 8,8 млн. т. Основну частку займали, як і раніше зернові (60,3 млн. т.) та рудні вантажі (18,5 млн. т.). Лише за 9 місяців 2024 р. порти перевантажили близько 74 млн. т. вантажів [3].

Як видно з аналізу вантажообігу портів України за 2020-2024 р. є великий потенціал, щоб вийти на показники 2020 р. Для цього передбачено вироблення механізмів інвестування, перепрофілювання існуючих потужностей та створення нових перевантажувальних комплексів, що дозволить збільшити їхню ефективність до 70% і створити понад 5 тис. нових робочих місць в портовій галузі. Це можливо при вирішенні наступних питань:

- забезпечення прозорого управління і балансу між державним контролем і приватними інвестиціями;
- реформування системи портових зборів та стимулювання інвестицій, що включають днопоглиблення для збільшення вантажообігу;

- розвиток інфраструктури припортових територій з урахуванням потреб військово-морських сил і безпеки;
- впровадження електронних систем і високозахищених цифрових технологій для підвищення стійкості до зовнішніх загроз;
- підвищення пропускнуєї спроможності шляхом розвитку як основних, так і альтернативних транспортних маршрутів.

Портова галузь України, попри виклики воєнної агресії та геополітичної нестабільності, має стратегічний потенціал для подальшого розвитку через модернізацію, цифровізацію та активну участь приватного сектора. Вирішення проблем буде сприяти стабілізації та зростанню міжнародної торгівлі, зміцненню позицій України як морської держави, саме тому реалізація стратегічного потенціалу портової галузі стає важливим інструментом зростання економіки України шляхом підвищення експортоорієнтованості, залучення інвестицій і створення нових робочих місць, особливо в контексті сучасних викликів у нашому регіоні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Офіційна сторінка Департаменту морегосподарського комплексу, транспортної інфраструктури та зв'язку Одеської обласної державної адміністрації. Електронний ресурс URL: <https://morhoz.od.gov.ua/morski-porty-ukrayiny-ta-odeskoyi-oblasti-sichen-gruden-2020-roku/>
2. Електронна версія журналу «Українська правда», 2024 р. Електронний ресурс URL: <https://epravda.com.ua/news/2024/01/24/709110/>
3. Електронна версія журналу «Судноплавство», 2025 р. Електронний ресурс URL: <https://ua.sudohodstvo.org/rekordnyj-vantazhoobig-ukrayinskyh-portiv-u-2024-rocz-972-mln-tonn/>

УДК 656.614.03

ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД ПРИ ВИКОНАННІ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ НА КОНТЕЙНЕРОВОЗІ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ ТА СУДНОВОГО ЕКІПАЖУ

Буренко О.О., курсантка гр. 1402, керівник Савчук В.Д., к.т.н., с.н.с., професор

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Транспортування вантажів морем є одним із розвинутих елементів світової економіки, що дозволяє переміщення вантажів у різні куточки світу. Одним з найбільш поширеним, надійним і вигідним способом сучасного морського перевезення є перевезення контейнерів [1]. Контейнерні перевезення також значно підвищують швидкість логістичних операцій [2]. У даній роботі розглянуто процес виконання вантажних операцій у портах Південної Кореї та Японії – відповідно Бусан як порт завантаження та Токіо як порт вивантаження, – а також особливості розміщення контейнерів на судні.

Актуальність теми. Контейнери забезпечують безпечно, економічно вигідне та ефективне транспортування різних типів вантажів. Дослідження процесів завантаження та вивантаження контейнерів, а також підхід до розміщення вантажу на борту судна, мають важливе значення для підвищення ефективності безпечного мореплавання. Окрім того, покращення вантажних операцій дозволяє зменшити витрати часу в порту та забезпечити дотримання графіку заходу у порти, якщо судно працює по заздалегідь визначеній лінії переходу.

Постановка задачі. Метою дослідження є аналіз вантажних операцій під час завантаження та розвантаження судна. Також поставлено задачу врахування особливостей

розміщення різних типів контейнерів і заходів безпеки під час вантажних операцій з використанням автоматизованих систем у сучасних портах.

Результати досліджень. Спостереження були виконані автором під час рейсу на контейнеровозі “SAMOA CHIEF” (травень-серпень 2025 р.), який побудований 2013 р. та ходить під прапором Сінгапуру [3]. Його валова місткість становить 25483 т, дедвейт – 30699,5 т. Загальна довжина судна становить 199,9 м, ширина корпусу – 28,20 м, ємність – 2117 TEU. На борту 5 трюмів з можливістю розміщення контейнерів у кілька ярусів, а також палубні позиції, обладнані фіксаторами типу “twist-lock” для надійного кріплення контейнерів під час рейсу.

Порт завантаження – Бусан (Південна Корея). Завантаження контейнерів проводилося в порту Бусан, який є одним із найбільш технологічно розвинених портів Азії [4]. Особливістю цього терміналу є високий рівень автоматизації вантажних процесів. Переміщення контейнерів, їх сортування та облік виконуються автоматичними системами управління, що координують роботу портових кранів, автономних транспортних візків, і все це без участі людини. Такий підхід забезпечує високу швидкість та точність виконання операцій, звісно ж мінімізує людський фактор, але і у автоматики бувають технічні збої. Один з таких відбувся під час одночасного завантаження 20-футових контейнерів; один невірний крок, і вантажні операції зупиняються, що призводить до затримки судна в порту чи пошкодження вантажу.

На рис. 1 можна побачити один із прикладів, чому все ж таки залишається потреба у контролі з боку операторів. Після виявлення ситуації система безпеки автоматично зупинила операцію, і завдяки оперативному втручання портових працівників інцидент було ліквідовано без пошкодження вантажу або обладнання. Але ж, на жаль, була пошкоджена напрямна трюму, яка не дозволяла продовжити завантаження. Були проведені екстрені зварювальні роботи силами суднового екіпажу, щоб забезпечити вільне завантаження контейнерів. У результаті судно було затримане у порту на добу, що перешкоджало роботі по графіку як судна, так і порту. Однак, подія підкреслила важливість поєднання автоматизації з людським наглядом і періодичними перевітками вантажного обладнання.

Після завершення вантажних операцій у порту Бусан, судно виконало рейс до порту Токіо (Японія). Загальна відстань між портами становить близько 650 морських миль; тобто, при середній швидкості близько 15 вузлів тривалість переходу склала 43,4 години (1,8 доби). Під час рейсу погодні умови були сприятливими, вітер був слабким, хвилювання моря не перевищувало 2–3 балів. Протягом переходу екіпаж здійснював контроль стану кріплення контейнерів і температурних режимів для рефрижераторних контейнерів.

Порт призначення – Токіо (Японія). Розвантаження контейнерів проводилося в контейнерному терміналі Токіо, який є одним із найбільших портів Японії. Порт відзначається високим рівнем організації логістичних процесів та ефективністю роботи під час вантажних операцій при взаємодії суднового екіпажу з портовими працівниками [5]. Вивантаження виконувалося за попередньо узгодженим вантажним планом (рис. 2), що дозволило забезпечити чітку послідовність операцій і уникнути непорозумінь.

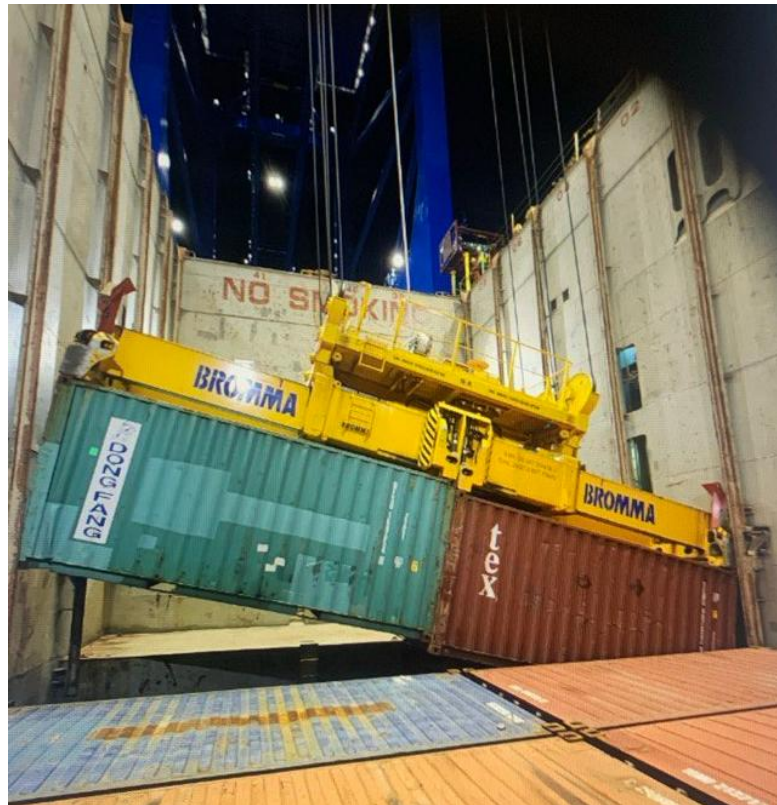


Рисунок 1 – Збій у роботі автоматизованого крану

Використовувалися портові крани великої вантажопідйомності, керовані з центрального диспетчерського пункту. Під час вантажних операцій спочатку були вивантажені контейнери з палуби, а потім відкривали трюм № 1 та № 5 з закриттям понтонного типу за допомогою суднового крану, де був задіяний вахтовий матрос, який виконував роботи під керівництвом вахтового помічника. Особливу увагу приділяли контейнерам із рефрижераторними вантажами, які були підключені до портів електричних мереж одразу після вивантаження для підтримання необхідної температури.

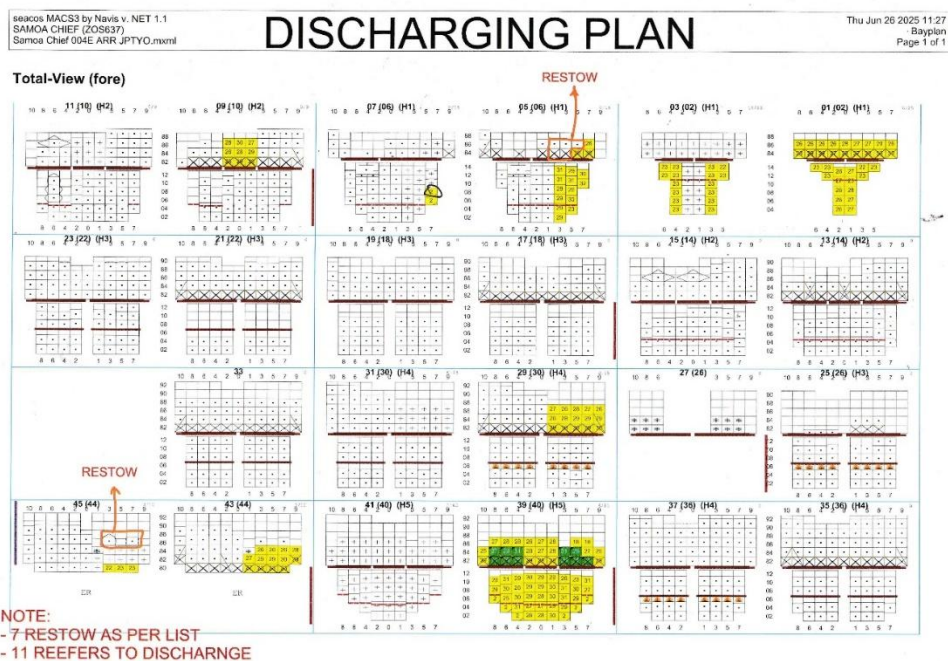


Рисунок 2 – Вантажний план на вивантаження

Вантажний план вивантаження контейнеровоза “SAMOA CHIEF” в порту Токіо, який приведено на рис. 2 показує, що потрібно звернути увагу на позначку на вантажному плані щодо контейнерів, які потрібно перемістити (англ. Restow). Під час переміщення здійснювалась перевірка номера кожного контейнера з доданим переліком, щоб переконатися у правильності розміщення контейнера на новій позиції.

Висновок. Проведене дослідження дозволило розглянути особливості вантажних операцій контейнеровоза. Порт Бусан показав високу ефективність та інтегрованість завдяки повній автоматизації вантажних операцій, проте, спостережений збій у роботі автоматизованої системи управління кранами довів, що у гонитві за зменшенням впливу людського фактору, навіть сучасні технології потребують постійного контролю людини. Цей інцидент є прикладом того, що поєднання автоматики та людського досвіду є найкращим підходом для гарантування безпеки під час вантажних операцій на суднах-контейнеровозах.

Отже, рівень автоматизації портових вантажних операцій хоч і підвищує продуктивність, однак повна відмова від людського фактору наразі є неможливою. Все ж таки, ефективність морських перевезень залежить від досвіду екіпажу та його здатності швидко реагувати на позаштатні ситуації та навичок взаємодії з автоматизованими системами. Таким чином, цей інтегрований підхід при виконанні вантажних операцій на контейнеровозі із залученням як автоматизованих пристроїв, так і суднового екіпажу створює основу безпечної та ефективної експлуатації контейнерного флоту у сучасних умовах розвитку автоматизованих систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Харламова В. В., Церковна А. В. Контейнерні перевезення – вигідний та зручний спосіб транспортування вантажів. *74-та звітна конф. Одеського нац. ун-ту ім. І. І. Мечникова* : зб. тез доповідей. Одеса : Фенікс, 2018. С. 273–275. URL: <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/14671> (дата звернення: 09.11.2025).
2. Контейнерні перевезення: Переваги, недоліки та актуальні тренди. Оpubл. 25 жовтня 2025 р. URL: <https://saveprosolutions.com/blog/konteynorni-perevezennia-perevagi-nedoliki-ta-aktualni-trendi> (дата звернення: 09.11.2025).
3. SAMOA CHIEF. Container Ship, IMO 9614476. URL: <https://www.vesselfinder.com/vessels/details/9614476> (дата звернення: 09.11.2025).
4. Sunghyun S., Kim D., Park K., Bae H. Artificial intelligence-based smart port logistics metaverse for enhancing productivity, environment, and safety in port logistics: A case study of Busan port. August 2024. 26 p. DOI: 10.48550/arXiv.2409.10519.
5. Логістика в Японії: Технології та сталий розвиток. *Gettransport International Limited* : блог компанії. Оpubл. 16 лютого 2025 р. URL: <https://blog.gettransport.com/uk/trends-in-logistic/34-2/> (дата звернення: 09.11.2025).

УДК 656.073.28(042.3)

ОЦІНКА ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ВАНТАЖУ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАПОБІГАННЯ ПРИ СКЛАДАННІ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ

Книгін Г.В., курсант гр. 1305, керівник Петров І.М., д.т.н., проф., к.д.п.

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ. Стрімке зростання обсягів міжнародних перевезень та постійне розширення номенклатури вантажів, що транспортуються, регламентують критичну необхідність забезпечення транспортної безпеки. Сьогодні вантажі (крім тих, що класифікуються як небезпечні) завантажуються на судна без урахування їх потенційної небезпеки, що залишає місце для поліпшень у плані запобігання займанню. Під час укладання вантажу вантажні одиниці розподіляються по палубах залежно від наявного простору, їх розміру та, опціонально, ваги і кінцевого пункту призначення у разі наявності декількох проміжних портів заходу. Однак тільки вантаж, класифікований як небезпечний, управляється відповідно до положень Кодексу IMDG [1,2], що вимагає суворого дотримання встановлених правил щодо пакування, маркування (рис.1), сегрегації (рис.2), розташування та умов перевезення. До найбільш пожежонебезпечних вантажів належать: горючі гази (клас 2.1), легкозаймисті рідини (клас 3) та легкозаймисті тверді речовини (клас 4) [2,3].

Рисунок 1. Маркування небезпечних вантажів

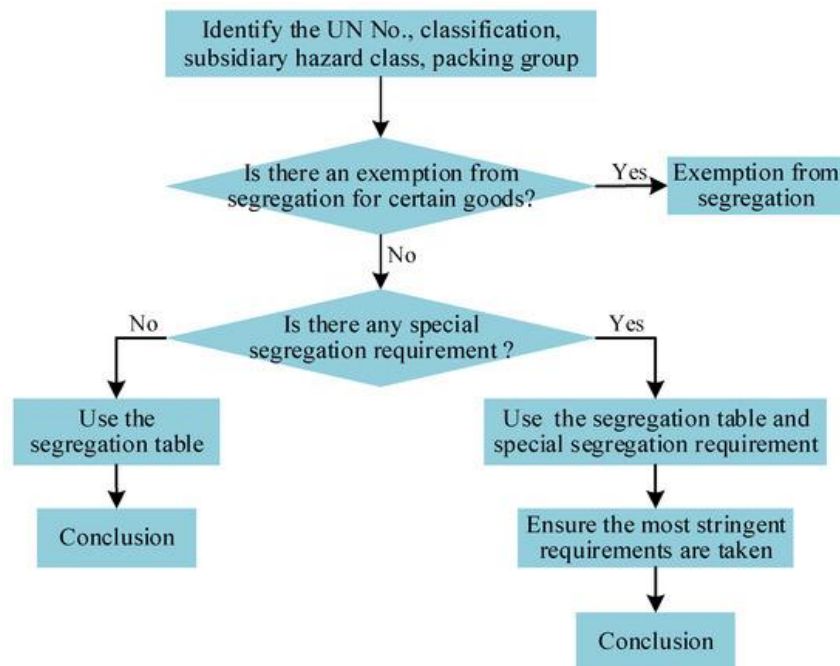


Рисунок 2. Блок-схема вимог щодо сегрегації

Постановка задачі. Пожежі на борту контейнеровозів продовжують потрапляти в заголовки новин, маючи дорогі, а іноді й трагічні наслідки. Проблема стала настільки серйозною, що перевізники та експедитори попередили вантажовідправників про можливі наслідки неправильного декларування небезпечних вантажів. Небезпечні вантажі, особливо якщо вони не ідентифіковані або не обліковані належним чином, становлять ризик для безпеки судна і, що ще важливіше, для людей на борту. Однак галузь вживає заходів для управління ризиками та співпрацює з метою підвищення безпеки вантажовідправників, перевізників та

екіпажів. За даними Allianz [3], у 2024 році було зафіксовано 250 випадків пожеж на судах – найвищий показник за останнє десятиліття, що на 20% більше у порівнянні з попереднім роком і є найвищим показником за останнє десятиліття. Майже третина пожеж сталася на контейнерних, вантажних або ро-ро судах. Важливо зазначити, що понад 100 із загальної кількості збитків було спричинено пожежами за останнє десятиліття. Ці інциденти часто спричиняються неправильно задекларованими небезпечними вантажами, такими як літєві батареї, вугілля та хімікати.

Згідно з даними Cargo Incident Notification System (CINS), у 2023 році серед основних причин пожеж на контейнеровозах були літєві батареї, вугілля та хімічні речовини [4]. Ці вантажі можуть бути неправильно задекларовані або неналежно упаковані, що збільшує ризик виникнення пожежі. Міжнародний кодекс перевезення небезпечних вантажів (IMDG Code) є основним інструментом для забезпечення безпеки морських перевезень небезпечних вантажів. Це свідчить про необхідність суворого дотримання вимог Кодексу на всіх етапах перевезення. З огляду на зростаючу кількість пожеж на судах, важливість правильного складання вантажного плану та оцінки пожежної небезпеки вантажів стає очевидною [2,4]. Це дозволяє не лише запобігти виникненню пожеж, але й забезпечити ефективну реакцію у разі їх виникнення, мінімізуючи ризики для екіпажу, судна та навколишнього середовища. Незважаючи на те, що загальні втрати великих суден зменшуються, галузь транспортування стикається з новими викликами: зростанням геополітичної напруги, появою «тіньового» флоту та змінами у профілі вантажів. все це створює додаткові ризики пожеж і аварій [4]. У такій ситуації ключовим стає етап складання вантажного плану з урахуванням оцінки пожежонебезпечності вантажу, – що й підкреслює актуальність теми дослідження.

CONTAINER CARRIER FIRE FIGHTING GUIDE

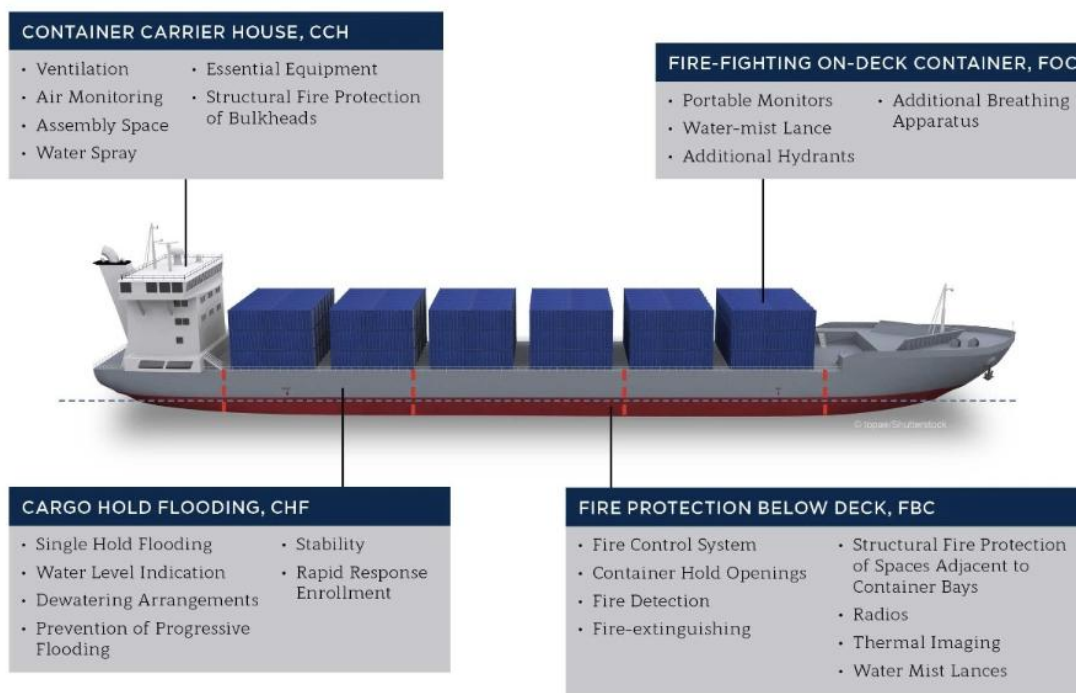


Рисунок 3. Посібник з пожежогасіння контейнерних суден

ABS (American Bureau of Shipping) також опублікувала Посібник з протипожежних систем для вантажних приміщень контейнеровозів (рис.3), перший посібник такого роду, присвячений протипожежним та безпековим системам контейнерних вантажних трюмів, де часто трапляються пожежі [3]. Розробка посібника відображає той факт, що в останні роки контейнеровози стають дедалі більшими, а обсяг і характер вантажів, які вони перевозять, значно збільшилися.

Відповідно до основної місії ABS з безпеки, посібник розглядає це питання та надає рекомендації щодо розробки більш надійних конструкцій суден, які краще підходять для вирішення цієї проблеми. Посібник призначений для використання конструкторами, будівельниками, власниками та операторами і визначає вимоги ABS, щодо пожежної безпеки в чотирьох ключових областях: пожежогасіння для контейнерів, що зберігаються на палубі; пожежогасіння для контейнерів, що зберігаються нижче; пожежна безпека рубки; та затоплення контейнерного трюму як крайній захід для пожежогасіння [5]. Ці примітки стосуються раннього виявлення пожежі, більш ефективного гасіння пожежі, кращого захисту екіпажу та міркувань безпеки, пов'язаних із затопленням вантажного трюму як засобу пожежогасіння; ці вимоги виходять за межі чинних SOLAS та відповідних галузевих нормативних актів.

Оцінка ризику. Оцінка ризиків, пов'язаних з морськими небезпечними вантажами в контейнерах, вимагає дослідження самого контейнера та навколишнього середовища, збору відповідних даних, аналізу та визначення всіх видів факторів ризику в регіоні, а також оцінки наслідків всіх видів факторів ризику, після чого можна отримати ступінь ризику кожного фактора ризику [4,5].

Легкозаймисті матеріали — це речовини, які за певних умов (зокрема під дією тепла, тертя або механічного удару) здатні до займання або навіть вибуху. Згідно з класифікацією IMDG Code, до класу 4.1 відносяться легкозаймисті тверді речовини, які легко горять або можуть сприяти горінню через тертя [1,6]. У морському транспорті такі вантажі створюють підвищений ризик: обмежений простір трюмів, висока щільність укладки вантажу та наявність джерел тепла або іскор збільшують ймовірність виникнення осередку займання. Невірне розміщення або порушення умов зберігання можуть спричинити швидке поширення пожежі з ускладненням евакуації та проведення пожежогасильних заходів. Тому транспортування легкозаймистих матеріалів вимагає суворого дотримання вимог IMDG Code [1,6] щодо пакування, маркування, сумісності вантажів та контролю на етапі складання вантажного плану. Судноплавні компанії можуть розробити відповідні конфігурації зон ризику для суден, які вони експлуатують (рис. 4).

		IMDG Code Classification																Non-Dangerous Goods
	Description	1	2.1	2.2	2.3	3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8	9		
RZ0	General cargo not subject to the IMDG Code																X ⁰	
RZ1	IMDG Code cargo which should be effectively extinguished with CO ₂ . Taking consideration of the fire and spillage schedules.			X ¹³									X ⁸	X ⁸	X ¹	X ²	X ⁰	
RZ2	As RZ1, but Class 4.3 if IMDG Code permits under deck without mechanical ventilation. IMDG Code cargo which should be effectively extinguished with CO ₂ . Taking consideration of the fire and spillage schedules.		X ¹⁰			X ¹¹	X ¹²		X ³			X ¹¹			X ¹	X ²	X ⁰	
RZ3	Slow reacting cargo. IMDG Code cargo which should be effectively extinguished with water. Taking consideration of the fire and spillage schedules for class 8 and class 9.	X ⁴		X		X ⁵	X ⁶	X ⁶					X ⁹	X ⁹	X	X ⁷	X ⁰	
RZ4	Flammables, oxidizing, and toxic cargo		X		X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X ⁰	
RZ5	Explosives	X															X ⁰	

Рисунок 4. Зона ризику на основі загальних класів IMDG

«X» позначає призначення зони ризику разом із класифікацією небезпечних вантажів IMDG

Заходи запобігання. Особливо у випадку небезпечних вантажів, тепло може викликати хімічну реакцію, яка призведе до пожежі або вибуху. Щоб запобігти таким ситуаціям,

необхідно надавати правильну інформацію про вантажі в контейнерах, а контейнери повинні бути правильно укладені на борту на основі належного розуміння типів вантажів тощо [6]. До цього відносять:

- Дотримання усіх вимог сегрегації небезпечного вантажу згідно з Кодексом IMDG;
- Забезпечення точного та повного декларування небезпечних вантажів, включно з правильним UN-номером, класом небезпеки, групою пакування та спеціальними положеннями;
- Забезпечення достатнього віддалення небезпечних вантажів від житлових і робочих зон судна та обладнання, а також забезпечення доступу до засобів пожежогасіння;
- Розділення зон розміщення вантажів за категоріями ризику (Risk Zones) й уникнення блокового укладання великої кількості небезпечних вантажів в одному місці, щоб не дозволити швидке поширення пожежі;
- Заборона або обмеження розміщення вантажів, під палубою без механічної вентиляції або в безпосередній близькості до джерел тепла;
- Забезпечення вентиляції, контролю температури, моніторингу стану контейнерів під час знаходження на судні;

Контроль якості в процесі виробництва та пакування небезпечних товарів повинен суворо відповідати вимогам системи управління якістю ISO, щоб гарантувати, що небезпечні товари не становитимуть загрози безпеці.

Висновки. Оцінка пожежонебезпечності вантажів дозволила ідентифікувати ключові фактори ризику, умови транспортування та сумісність вантажів. У результаті визначено комплекс заходів попередження, які можуть бути інтегровані на етапі складання вантажного плану і забезпечити підвищення безпеки морського перевезення. Запровадження таких заходів сприятиме зменшенню ймовірності виникнення пожежі на судні, захисту екіпажу та навколишнього середовища. У майбутньому в ІМО будуть проводитися обговорення нових вимог до заходів пожежної безпеки для контейнеровозів та автовозів, але для завершення цієї роботи знадобиться кілька років.

ЛІТЕРАТУРА

1. The International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code. URL:<https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/dangerousgoods-default.aspx>
2. IMO / Publication / "Fire protection". URL:<https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/fireprotection-default.aspx>.
3. American Bureau of Shipping "Firefighting on Containerships (FOC)". URL:<https://clouddev.eagle.org/en/Products-Services/marine/containerships/foc.html>, n.d.) <https://clouddev.eagle.org>
4. CINS / Safety Considerations for Ship Operators Related to Risk-Stowage of Dangerous Goods on Containerships Part One A Publication of CINS (the Cargo Incident Notification System) Version 1.00 November 2019. URL: <https://www.cinsnet.com/wp-content/uploads/2019/11/CINS-DG-Stowage-Considerations-Final.pdf>.
5. MDPI / Construction of Knowledge Graphs for Maritime Dangerous Goods. URL:<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2849>.
6. IMDG Code Compliance: Safe Dangerous Goods Stowage Practices. URL:<https://www.marine-public.com/blogs/hse/714305-imdg-code-compliance-safe-dangerous-goods-stowage-practices>

СЕКЦІЯ 4 ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА МОРЯКІВ

УДК 656.61:377

QUALIFICATION IMPROVEMENT OF SEAFARERS

Kharkova Hanna, PhD, Assistant Professor

National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine

The modern maritime industry constantly evolves, facing new technological, regulatory, and environmental challenges. In this context, qualification improvement of seafarers is essential to maintain high safety standards, ensure effective vessel operation, and comply with international maritime conventions such as the STCW Convention.

Continuous professional development allows maritime personnel to stay updated with innovations in navigation systems, engine operations, and cargo handling procedures. Furthermore, with the growing implementation of automation, artificial intelligence, and digital navigation tools, seafarers must acquire new competencies beyond traditional seamanship.

Training centers and maritime academies play a critical role in this process by offering specialized courses, refresher training, and simulator-based exercises. These programs are designed to reinforce existing knowledge, enhance decision-making skills, and promote situational awareness. Simulators provide a safe environment where trainees can practice emergency responses and operational scenarios without real-world risks.

Moreover, emphasis is placed on soft skills, including communication, leadership, and teamwork, which are crucial for multi-national crews and effective bridge resource management. Human factor training and psychological readiness are also gaining importance, especially for officers working under high-pressure conditions.

The use of e-learning platforms and distance education has also expanded the accessibility of training programs. These tools allow seafarers to complete part of their education remotely, which is particularly useful for those on long contracts at sea.

In conclusion, qualification improvement is a continuous process that ensures seafarers are well-equipped to meet the demands of modern shipping. It supports safety, efficiency, and environmental protection, while also enhancing career development and job satisfaction for maritime professionals.

ЛІТЕРАТУРА

1. STCW Convention and Code. International Maritime Organization, 2017.
2. Hetherington, C., Flin, R., & Mearns, K. (2006). Safety in shipping: The human element. *Journal of Safety Research*, 37(4), 401-411.
3. Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J.P., & Langard, B. (2013). Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 26-37.
4. Barnett, M., & Pekcan, C. (2016). The role of training and simulation in improving maritime safety. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 15(2), 267–284.

POETICS OF NARRATIVE AND LANGUAGE PEDAGOGY: BRIDGING LITERARY THEORY AND APPLIED LINGUISTICS IN TEACHING MARITIME CADETS

O. Shapoval

National University “Odesa Maritime Academy”, Ukraine

Relevance. Contemporary linguistic and pedagogical research increasingly underscores the necessity of integrating **poetic and narratological insights** into language teaching. The **poetics of narrative**, as explored in literary studies, reveals how narrative structures mediate cognition, identity formation, and intercultural understanding. Applying these findings to language education enables the development of communicative competence not only as a set of linguistic skills but as a culturally and cognitively grounded practice. Within this framework, the balance between **paradigmatic** and **narrative** modes of thought becomes essential: while the paradigmatic mode focuses on categorization and logical explanation, the narrative mode “strives to put its timeless miracles into the particulars of experience, and to locate that experience in time and place” (Lee, 2019, p. 7). Engaging both dimensions deepens learners’ pragmatic competence and fosters their ability to interpret language as a vehicle of meaning, emotion, and cultural value.

Presentation of the main material. The empirical analysis of classroom practices confirms that exercises aimed at developing pragmatic competence are perceived by maritime cadets as both motivating and effective, demonstrating their pedagogical value at different stages of higher education. The **task-based approach** efficiently bridges the gap between theoretical knowledge and real-world communication by engaging learners in authentic, profession-related scenarios (De Aquino, 2011). For example, in a “*Critical Incident at Sea*” exercise, cadets read or listen to a short narrative from **The Mariners’ Alerting and Reporting Scheme (MARS)** describing a real-life potentially collision-threatening situation on board. They subsequently reconstruct the event sequence, retell the situation from various crew members’ perspectives, identify communicative failures, and suggest alternative responses. This activity activates key speech acts (reporting, clarifying, commanding), cultivates sociolinguistic awareness, and promotes reflective thinking about professional discourse.

Integrating **narrative-based methods** into language instruction aligns with the cognitive principles of how humans construct and comprehend meaning (Linde, 2001). Storytelling tasks expose learners to authentic linguistic and cultural input, reinforce discourse-level cohesion, and foster the ability to organize and convey information in contextually appropriate ways. Personalization and emotional engagement, fundamental to narrative experience, enhance retention and internalization of linguistic material.

Conclusions. The integration of **narrative poetics** and **task-based pedagogy** constitutes a promising interdisciplinary direction that unites cognitive, cultural, and pragmatic dimensions of language learning. Drawing on narratological categories, such as focalization, temporality, and perspective, supports the formation of learners’ communicative competence as a multidimensional construct encompassing linguistic, sociolinguistic, and pragmatic components. This synthesis of literary theory and applied linguistics demonstrates that narrative cognition underlies both artistic and everyday communication, providing a powerful foundation for pedagogical innovation. Consequently, the findings advocate for a narrative-oriented model of English language instruction that cultivates professional, intercultural, and creative communicative performance in higher education.

LITERATURE

1. De Aquino, C. (2011). Pragmatic competence: How can it be developed in the foreign language classroom? *BELT – Brazilian English Language Teaching Journal*, 2(2), 140–153. <https://doi.org/10.15448/2178-3640.2011.2.11376>
2. Lee, S.-H. (2019). The dialectical unfolding of paradigmatic and narrative thinking in a Chinese-as-a-foreign-language classroom. *Classroom Discourse*. <https://doi.org/10.1080/19463014.2019.1573148>
3. Linde, C. (2001). Narrative and social tacit knowledge. *Journal of Knowledge Management*, 5(2), 160–170. <https://doi.org/10.1108/13673270110393202>
4. The Nautical Institute. (n.d.). *The Mariners' Alerting and Reporting Scheme (MARS)*. URL : <https://www.nautinst.org/technical-resources/mars.html>

УДК 811.111: 52 - 048.65 (045)

ENCOURAGING JUNIOR NAUTICAL STUDENTS TO LEARN ASTRONOMY AT THE ENGLISH LESSONS

Олінчук В.В., кандидат філологічних наук, доцент, Тихоніна С.І., кандидат філологічних наук, доцент, Чеснокова М.В., кандидат філологічних наук, доцент

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Introduction. The present paper is devoted to a modern topic in the methodology of teaching professional English at maritime institutions and is aimed at drawing students' attention to the importance of astronomy for future navigators while improving their English-speaking skills. It is essential for navigators to learn astronomy because it enables them to determine their position and direction using the Sun, Moon, and stars. Although modern technologies such as GPS are widely used, they can sometimes fail, and knowledge of celestial navigation serves as a reliable backup. Moreover, astronomy helps navigators understand the Earth's movements, which influence time, seasons, and directions. By studying the sky, future navigators develop vital orientation skills and gain a deeper understanding of the scientific principles behind modern navigation systems.

Main approaches to teaching navigation aspects at the English lessons

Despite the dominance of satellite navigation systems, the study of celestial navigation remains essential—not only for practical maritime skills but also as a valuable resource in the teaching of professional English to future navigators. Integrating astronomical topics into English language lessons allows students to acquire specialized vocabulary, practice technical reading and writing, and engage in discussions that reflect real-life navigational scenarios. For example, lessons can include reading about sextants, star charts, or GNSS systems, followed by activities in which students describe procedures, explain errors, or give instructions in English. This approach simultaneously strengthens navigators' astronomical knowledge and English-speaking skills, preparing them to communicate effectively in international maritime environments where both technical competence and language proficiency are required.

This principle has been acknowledged by the International Maritime Organization (IMO), which, through its Standards of Training, Certification, and Watchkeeping (STCW) Convention, mandates that seafarers must acquire the skills to determine a ship's position using celestial bodies, as well as to identify and correct errors in magnetic compasses and gyroscopes through astronomical methods.

While teaching professional English to Junior Nautical Students it is required to train not only lexical, grammatical and pronounciational competencies but also develop the interest to Astronomy as a subject closely linked to navigation.

Here are some effective ways to apply astronomy lectures during English lessons for maritime students:

1. Integrate Vocabulary and Terminology Practice:

- Teach essential **astronomical and navigational terms** in English.
- Create matching, fill-in-the-blank, or role-play exercises using terms like *latitude*, *longitude*, *sextant*, *horizon*, *celestial meridian*.
- Example activity: *Students label a star chart or describe a navigation process using English terms.*

Suggested Terminology Booster:

- Celestial sphere – An imaginary sphere surrounding the Earth onto which all celestial bodies are projected.
- Celestial pole – The point on the celestial sphere directly above the Earth's North or South Pole.
- Celestial equator – The projection of Earth's equator onto the celestial sphere.
- Zenith – The point in the sky directly above an observer.
- Declination (Dec) – The angular distance of a celestial body north or south of the celestial equator (similar to latitude).
- Intercept – The difference between the observed and computed altitudes of a celestial body, used to plot a line of position.
- **Chronometer** – A highly accurate timekeeping device essential for determining longitude.
- **Almanac (Nautical Almanac)** – A publication containing daily positions of celestial bodies used for navigation.
- Greenwich Hour Angle (GHA) – The angular distance of a celestial body west of the Greenwich meridian.
- Universal Time (UT) – The standard time at the Greenwich meridian, used as a reference in celestial calculations.

2. Use Astronomy Topics for English Reading and Discussion

- Provide short articles or texts about celestial navigation, the role of stars in maritime history, or how GPS relates to astronomy.
- After reading, have students discuss or summarize the text in English, focusing on professional vocabulary (e.g., *altitude*, *declination*, *zenith*, *celestial sphere*).
- Example activity: *Read a text about First Marine Chronometer and explain its importance in navigation.*

Classroom Handout Short Text

Harrison and the First Marine Chronometer

During the Age of Exploration, England became a leading maritime power. Determining latitude at sea was easy using Polaris, the North Star, but finding longitude was difficult. Sailors needed a way to compare local time at sea with time at a reference point, yet no reliable seagoing clock existed.

Galileo suggested using Jupiter's moons as a "celestial clock," but it was impossible to observe them from a moving ship. Other methods, like the lunar distance method, required complex calculations.

In 1675, King Charles II established the Royal Observatory at Greenwich, and in 1714, the Longitude Act offered a £20,000 prize for a clock accurate at sea. John Harrison eventually won by creating a marine chronometer, accurate to one second per month.

Harrison's invention allowed sailors to calculate longitude precisely using Greenwich Mean Time (GMT). The Greenwich meridian became the Prime Meridian, forming the basis of global navigation and time. By the late 18th century, chronometers were carried on all major voyages, including Captain Cook's expedition in 1769. In 1830, the Greenwich time ball helped ships set their chronometers before departure.

Today, visitors to Greenwich can stand on the Prime Meridian, symbolizing the impact of Harrison's invention—the watch that mapped the world.

Discussion Questions

- Why was finding longitude more difficult than latitude?
- How did John Harrison's chronometer solve this problem?
- Why was the Greenwich Observatory important for navigation?
- How does learning this history help navigators improve their English?
- Would celestial navigation still be useful today? Why or why not?

3. Practical Simulation and Dialogue Exercises

- Combine practical navigation scenarios with English communication.
- Example activity: A student acts as a ship officer explaining to the crew how to find direction using the stars.

- This helps practice both technical accuracy and spoken fluency.

4. Use Visuals and Multimedia

- Show star maps, navigation instruments, or short astronomy videos in English.
- Then, have students describe what they see or summarize the information using key vocabulary.

5. Project-Based Learning

- Assign group projects where students research an astronomical topic (e.g., "The Role of Astronomy in Ancient Navigation") and present their findings in English.
- This integrates research, writing, and speaking skills with professional knowledge.

Practical Outcomes

1. **Enhanced Professional Vocabulary:** Students acquire and use specialized English terms (e.g., "azimuth," "celestial navigation," "sextant") confidently in maritime or aviation contexts, improving their ability to communicate in professional settings.

2. **Improved Communication Skills:** Through discussions, presentations, and role-plays about astronomy, students develop clearer oral and written English skills, enabling effective communication with international crews or instructors.

3. **Strengthened Navigation Skills:** Learning astronomy concepts like star identification or celestial coordinate systems reinforces technical knowledge, directly improving students' ability to navigate using stars in real-world scenarios.

4. **Increased Career Readiness:** Students gain a competitive edge in navigation-related careers (e.g., maritime, aviation) by mastering both English proficiency and astronomy knowledge, essential for certifications or global job markets.

5. **Better Problem-Solving Abilities:** Engaging in astronomy-based tasks (e.g., plotting courses using star charts) hones critical thinking and analytical skills, applicable to navigation challenges and English comprehension.

6. **Higher Engagement and Motivation:** Relevant, hands-on activities (e.g., star map analysis, navigation simulations) make English lessons more engaging, leading to better attendance, participation, and retention of both language and technical content.

7. **Confidence in Real-World Applications:** Practicing English in astronomy contexts (e.g., writing a navigation report or explaining a star-based route) builds confidence to apply language and technical skills in professional environments.

Example Outcome in Practice: A student can read an English-language manual on celestial navigation, accurately plot a course using Polaris during a simulation, and explain their process to a multinational crew in clear English, demonstrating both technical and language proficiency.

Conclusion

By incorporating astronomy content into English lessons, teachers can:

- Expand students' professional English vocabulary.
- Enhance their communication and presentation skills.
- Reinforce technical knowledge critical for navigation.
- Foster critical thinking through real-world astronomical problem-solving.

- Boost student engagement by connecting language skills to scientific interests.
- Create a more engaging, career-relevant English learning experience.

REFERENCE

1. Monastyrskaya, O., Tsobenko, O., Zagrebelna, N., Arbatmanova, I., Khrolenko, O., Bondarenko, E., Tykhonina, S., (2025) Professional English in Navigation: practice book. 3rd edition, revised. Odesa: Phoenix. 212 p.
2. Chriss, M. (2024) A brief text: the philosophy and history of astronomical thought. Amazon.

УДК 811.111: [004.8: 37.091.2] – 043

PEDAGOGICAL MEDIATION IN TEACHING ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES WITH THE SUPPORT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: THE ROLE OF THE TEACHER IN ADAPTIVE LEARNING

Вихор О.Ф., старший викладач

Національний Університет «Одеська Морська Академія», Україна

The integration of artificial intelligence (AI) into education has demonstrated considerable potential to enrich teaching and learning practices by providing adaptive support and functioning as a dynamic learning companion. This emergence has significantly transformed approaches to teaching foreign languages, especially within the scope of English for Specific Purposes (ESP). Yet, educators frequently have limited awareness of the diverse possibilities that AI-based technologies can bring to their teaching practice. This research focuses not so much on how students can learn with AI, but how teachers can use these technologies to organize an effective and humanized learning process.

AI integration aligns with several key pedagogical paradigms: constructivism, communicative language teaching, and blended learning. From a constructivist perspective, AI functions as a tool for scaffolding and extending learners' cognitive engagement. It supports the Zone of Proximal Development (Vygotsky, 1978) by offering adaptive prompts, explanations, and feedback that correspond to individual learners' current proficiency. Within the Communicative Language Teaching (CLT) framework, AI applications foster authentic interaction through simulation, dialogue generation, and task-based learning environments. Moreover, in the ESP context, AI helps bridge the gap between linguistic competence and professional discourse competence, allowing students to engage with real-world materials in controlled and pedagogically structured settings.

Experience in teaching ESP courses—such as Contract Law, Business English in Maritime Law and Management, English for Transport and Logistics, English in Chartering, and English for Crew Managers—shows that AI acts not as an autonomous material generator but as a pedagogical partner supporting methodological flexibility, adaptability, and reflective practice of the teacher. The educator becomes a mediator between technology and learning, structuring the educational process in a way that transforms AI-generated outcomes into meaningful, cognitively engaging learning experiences. As noted by Hockly (2023), “the teacher remains the guardian of relevance and accuracy.” This statement is particularly significant in the ESP context, where precision of terminology, pragmatic appropriateness, and situational relevance are crucial. The teacher's task is not merely to select digital tools but to curate and contextualize AI-generated materials, ensuring alignment with learning outcomes and ethical standards. Pedagogical mediation includes verification of factual and linguistic accuracy, designing reflective discussions, and fostering students' AI literacy—that is, the ability to use AI critically and responsibly as a learning companion rather than as a shortcut.

One of AI's most powerful functions is the adaptation of authentic professional texts for students of different proficiency levels without losing essential content. This capability becomes

particularly valuable in multi-level ESP classrooms, where students may span from A1 to C1. AI can generate differentiated versions of the same material, ensuring that all students encounter content that is accessible yet meaningful. For example, in the Contract Law course, fragments of a Charter Party Agreement or clauses from a Zero Hour Contract can be adapted for B1–B2 students while maintaining essential terminology and key concepts. Similar adaptation strategies can also be applied to professional texts in logistics or maritime management. AI assists in creating comprehension questions, summaries, and thematic glossaries, while the teacher ensures accuracy and methodological focus. Such adaptation supports content-based instruction (CBI) and promotes notional-functional competence, as students learn to understand how legal or technical terminology operates within professional discourse. This approach also addresses cognitive load theory (Sweller, 1988), allowing students to focus on meaning construction rather than decoding overly complex input.

At the productive stage—oral and written simulations, negotiations, and drafting of professional documents—tools such as ElevenLabs allow for the generation of authentic audio dialogues, creating realistic communicative contexts. This facilitates the development of speaking, listening, and pragmatic competence. For teachers, such technologies provide opportunities for modeling professional interactions, differentiating tasks, and delivering immediate feedback. When combined with AI text-based platforms, these tools can create integrated multi-modal learning environments, reinforcing professional communication scenarios that mirror real-life ESP situations.

Assessment and feedback remain primarily teacher-driven, with AI serving as a supportive analytic tool. Platforms such as GPT-Chat can identify common errors, summarize gaps, and generate tables of mistakes, saving time and allowing teachers to focus on targeted interventions. Educators thus maintain control over pedagogical decisions while enhancing efficiency and learners' professional communicative competence. AI can produce descriptive reports highlighting recurrent lexical, grammatical, and discourse-level issues, which educators can use for formative assessment or for designing revision tasks. Teachers thus maintain control over pedagogical decisions while enhancing efficiency and learners' professional communicative competence.

ESP instructors can also benefit from tools such as QuillBot (for paraphrasing), Grammarly (for automated error detection), Wordtune (for simplifying complex texts), LingQ and Readlang (for vocabulary building), Synthesia (for AI-driven video scenarios), and Perplexity.ai or Elicit (for research and case study support). These tools enable teachers to tailor content, simulate professional contexts, and provide personalized feedback, while keeping the educator central to the learning process.

Artificial intelligence is transforming ESP teaching by redefining the teacher's role. The teacher becomes an intellectual mediator who directs and adapts technologies to align with learning objectives. Methodologically, AI-generated content requires the teacher to frame tasks purposefully and ethically, balancing efficiency with critical thinking. Ultimately, AI serves as a tool for pedagogical creativity and reflective practice, amplifying—not replacing—the teacher's professional expertise.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зелінська О.І. МОЖЛИВОСТІ ТА ПОТРЕБИ РОЗВИТКУ ВИКЛАДАННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ЯК МОВИ ФАХУ. Національний юридичний університет Імені Ярослава Мудрого.
2. Мартинюк, О. (2024). Інструменти штучного інтелекту у викладанні іноземних мов: переваги та недоліки в українській та закордонній практиці. <https://www.researchgate.net/publication/388416162> AI TOOLS IN FOREIGN LANGUAGE TEACHING PROS AND CONS OF UKRAINIAN AND FOREIGN PRACTICES
3. Лосинська, Т. (2024). Використання штучного інтелекту для викладання курсу з перекладу фахових текстів англійської мови. https://ceur-ws.org/Vol-3624/Paper_7.pdf
4. Hockly, N. (2023). AI in English Language Teaching. *ELT Journal*, 77(4), 367–375.
5. Godwin-Jones, R. (2023). Emerging Technologies: AI in Language Learning and Teaching. *Language Learning & Technology*, 27(2), 1–7.

6. Reynolds, B. L. (2024). Pedagogical Uses of AI in English for Specific Purposes. Journal of ESP and Applied Linguistics, 45(1), 23–36.

УДК 378.811.001

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОЦЕС ВИКЛАДАННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ: РОЗВИТОК ЦИФРОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ СТУДЕНТІВ

Бліновська Р.І., викладачка

Національний університет «Одеська морська академія»

Вступ. Сучасні виклики глобалізації та інтеграції України в європейський освітній простір роблять проблему ефективності методик викладання іноземних мов у закладах вищої освіти особливо актуальною. Володіння іноземними мовами є ключовим показником професійної конкурентоспроможності, проте традиційні методики часто не відповідають сучасним вимогам, оскільки зосереджені на теоретичному засвоєнні матеріалу, що значно обмежує можливості його практичного застосування. Інноваційні технології, зокрема штучний інтелект (далі - ШІ), відкривають нові горизонти для викладання іноземних мов. ШІ дозволяє персоналізувати освітній процес, адаптуючи його під індивідуальні потреби та темп здобувача, а також надає можливості для інтерактивного засвоєння матеріалу. Це сприяє розвитку не лише мовних, а й інноваційних цифрових компетентностей, що є невід'ємною частиною підготовки фахівців, готових до викликів сучасного ринку праці. Завдяки ШІ здобувачі можуть практикувати мову в умовах, максимально наближених до реальних, що значно підвищує їхню впевненість у спілкуванні та ефективність навчання.

Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні та розробці методичних засад використання штучного інтелекту як інструменту для формування інноваційних цифрових компетентностей здобувачів освіти у процесі викладання іноземної мови.

Сучасні інноваційні технології у викладанні іноземних мов у закладах вищої освіти розглядаються через призму компетентнісного, діяльнісного та комунікативного підходів. Ця парадигма передбачає створення ефективних моделей навчання, що ґрунтуються на системних дослідженнях та забезпечують практичну спрямованість освітнього процесу. Впровадження штучного інтелекту у освітній процес кардинально змінює підходи до викладання, дозволяючи не лише персоналізувати навчання, а й формувати інноваційні цифрові компетентності. ШІ-інструменти, такі як чат-боти для практики мовлення, інтелектуальні системи перевірки вимови, адаптивні платформи, що підлаштовуються під рівень здобувача, сприяють розвитку не лише мовних навичок, але й умінь працювати з новими технологіями. Такий підхід готує майбутніх фахівців до викликів цифрової епохи, де володіння мовою невіддільне від володіння технологіями.

Аналіз значної кількості наукових праць, присвячених питанню цифрової компетентності, свідчить про відсутність єдиної термінологічної основи. У вітчизняній та зарубіжній науковій літературі паралельно існують й часто використовуються як взаємозамінні терміни: «цифрова компетентність» (digital competence) та «цифрова грамотність» (digital literacy). Незважаючи на розбіжності у дефініціях, обидва поняття передбачають «впевнене та критичне використання доступних технологій інформаційного суспільства для повсякденного спілкування, роботи та відпочинку». Це підкреслює універсальний характер даного виду компетентності й її ключове значення для успішної адаптації особистості до вимог цифрової епохи.

Цифрова компетентність – це не просто вміння користуватися технікою, а комплекс знань, умінь і навичок, що дозволяють людині ефективно використовувати цифрові технології для досягнення своїх цілей у різних сферах життя

У сучасному освітньому просторі використання цифрових інструментів у викладанні мов стало визнаним імперативом. Це є необхідною умовою для забезпечення ефективності

освітнього процесу в різних освітніх закладах. Для системного підходу до цієї проблеми було прийнято рішення про програмне закріплення Європейської системи орієнтирів для цифрової компетентності (DigComp) як базової основи.

Зокрема, для педагогічних кадрів застосовується спеціалізована версія «DigCompEDU», яка слугує орієнтиром для оцінювання та розвитку цифрових компетенцій викладачів. Ця система класифікує цифрові навички за рівнями від A1 до C2, що відповідає загальноєвропейським рекомендаціям з мовної освіти (CEFR/GER). Така паралель дозволяє уніфікувати підходи до оцінювання цифрової та мовної компетентностей, забезпечуючи чітку основу для професійного розвитку викладачів іноземних мов та їх готовності до викликів цифрового суспільства.

Аналіз наукової літератури та власний педагогічний досвід дозволяє прийти до висновку, що навчання іноземної мови в закладах вищої освіти передбачає широке застосування сучасних методів, що включають:

- проєктну діяльність, яка сприяє формуванню навичок командної роботи та вирішення реальних завдань;
- проблемні методи, що стимулюють критичне мислення та пошук нестандартних рішень;
- активне використання інформаційно-комунікаційних технологій (далі - ІКТ);
- індивідуалізацію навчання, що адаптує освітній контент і темп до потреб кожного здобувача, забезпечуючи персоналізовану освітню траєкторію;
- розвиток міжкультурної комунікації, яка сприяє розумінню культурних особливостей та формуванню навичок толерантного спілкування в багатонаціональному середовищі.

До ІКТ-інструментів належать навчальні комп'ютерні програми, мультимедійні системи, дистанційні технології та робота з інтернет-ресурсами. Окрім того, важливе місце займає створення презентацій у PowerPoint, що допомагає візуалізувати матеріал та розвиває навички публічних виступів.

Незважаючи на значний потенціал, слід враховувати, що на сучасному етапі штучний інтелект не здатний до критичного й системного мислення, співпраці в команді та розвитку міжкультурних компетентностей. Ці навички залишаються винятковою прерогативою людини і формуються в процесі живої комунікації і соціальної взаємодії. Таким чином, ШІ є ефективним інструментом, але він не може повністю замінити педагога і інтерактивні форми навчання.

До того ж, взявши до уваги своєрідність досліджуваного конструкту, принципово важливо не лише вдосконалювати традиційні методики, а й імплементувати інноваційні підходи, спрямовані на розвиток інноваційних цифрових компетентностей здобувачів освіти.

Висновки. Застосування адаптивних платформ на основі ШІ дозволяє аналізувати когнітивні особливості й індивідуальні потреби кожного здобувача, автоматично формуючи освітній контент. Це забезпечує максимальну ефективність засвоєння матеріалу. Застосування інтелектуальних чат-ботів. Інтеграція чат-ботів із ШІ в освітній процес дає змогу моделювати реальні комунікативні ситуації, що сприяє подоланню мовного бар'єру та розвитку спонтанного мовлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Левицька Л., Хаустова М., Бліновська Р. Штучний інтелект в процесі викладання іноземної мови: формування інноваційних цифрових компетентностей здобувачів освіти. Вісник науки та освіти. Вип. 8(38). 2025 С. 1445-1454
2. Дроздова В. В., Рудницька К. В., Росквас І. А. Інноваційні технології викладання іноземних мов в умовах зростаючого впливу технологій штучного інтелекту на освітні процеси. Академічні візії. Вип. 26. 2023.
3. Жила Г. В. Цифрові технології викладання іноземних мов. Стратегічні напрямки розвитку науки: фактори впливу та взаємодії: матеріали міжнародної наукової конференції. Суми. 2020. С. 52–53.

4. Зайцева Н. В. Інноваційні технології у викладанні іноземних мов. Інновації в професійній діяльності педагога: проблеми, теорія, практика: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. м. Одеса, 17–18 жовтня 2019 р. 2019. С.30-32.

5. Козубай І. Комплексний аналіз впливу штучного інтелекту на викладання та вивчення іноземних мов. Актуальні питання гуманітарних наук. № 1 (63). 2023. С. 210–214.

УДК 656.61:331.45:005.96

HOW SAFETY CULTURE INFLUENCES THE SAFETY-RELATED BEHAVIORS OF DECK OFFICERS ABOARD SHIPS

Карпова Д.М., кандидат філологічних наук, доцент

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

1.Introduction

Maritime operations are inherently risky: deck officers contend with harsh environmental conditions, fatigue, complex technical and operational demands, and substantial potential for human error. Human factors continue to play a major role in maritime casualties. Safety culture has been recognized as a crucial factor in shaping the attitudes, decisions, and behaviors of maritime personnel. Yet, the precise mechanisms by which safety culture influences behavior among deck officers are still being refined by recent research. This article seeks to clarify those mechanisms by

- reviewing definitions and dimensions of safety culture and safety behavior;
- summarizing empirical findings;
- proposing a model of influence;
- discussing practical implications.

2. Definitions and Theoretical Background

2.1 Safety Culture

Safety culture refers broadly to the shared values, beliefs, norms, procedures, and material supports within an organization that influence how safety is perceived, prioritized, and acted upon. It encompasses both tangible and intangible elements:

- Material culture: Equipment, facilities, personal protective equipment (PPE), emergency infrastructure.
- System culture: Formal rules, procedures, safety systems/management systems, reporting and feedback mechanisms.
- Management culture: Leadership practices, communication by management, supervision, enforcement, training.
- Value fit / value alignment: The extent to which individual values align with organizational safety values; internalization of safety as a core priority rather than merely compliance.

These dimensions have been used in recent empirical work.

2.2 Safety Behavior Dimensions

Safety behavior among deck officers can be classified in multiple ways. Drawing on recent studies:

- Safety compliance behavior: adherence to rules, procedures, use of safety equipment.
- Prosocial safety behavior: helping others follow safety rules, reporting hazards, encouraging safety in peers.
- Proactive safety behavior: going beyond requirements—initiating safety improvements, raising issues, anticipating hazards.

These distinctions allow for more nuanced understanding of how culture influences different types of behavior.

3. Empirical Evidence: Model and Findings

One recent important study surveyed 229 deck officers and captains in Shanghai, employing Structural Equation Modeling (SEM) to test how different dimensions of safety culture relate to different forms of safety behavior. Overall safety culture positively influences all three types of safety behavior (compliance, prosocial, proactive). Material culture had a strong positive effect on compliance, but less or no significant effect on prosocial or proactive behaviors. System culture positively impacted compliance and prosocial behavior, but did not significantly affect proactive behavior.

Management culture and value fit had significant positive effects across all three behaviors. That is, when officers perceive that management cares about safety and when their own values align with safety values, both routine compliance and more voluntary, initiative-taking safety behaviors increase.

Other studies provide complementary insights. For example, in dry bulk shipping, seafarers' perceptions of leadership style and national / organizational culture (power distance, uncertainty avoidance, collectivism, long-term orientation) are shown to influence safety attitude and behavior. The evidence suggests that elements of safety culture are strong predictors of safety behavior, but not all cultural dimensions affect all behaviors equally. Routine compliance seems responsive to material supports and formal systems, whereas discretionary and initiative-based behaviors (prosocial, proactive) require stronger internalized value fit and visible management commitment.

Companies tend to invest in equipment, rules, and procedures. But without reinforcing values and senior leadership behaviors, those investments might produce compliance but little more. Safety training and communication should emphasize not only how to follow safety rules, but why safety matters—value alignment and ethical commitment. Leadership practices (including feedback, recognition, empowerment) can foster proactive safety behavior. Also, measuring safety behavior in detail (separating compliance / prosocial / proactive) is useful, allowing companies to see where their culture may be strong and where gaps lie.

4. Conclusion

Safety culture exerts a substantial influence on deck officers' safety-related behaviors aboard ships. While compliance with rules and use of equipment can be enhanced by material and system culture, more voluntary safety behaviors—helping others, reporting hazards, taking initiative—depend more critically on leadership culture and alignment of values. For shipping companies, this means cultivating safety culture at multiple levels: providing adequate resources, ensuring effective systems, fostering leadership commitment, and embedding safety values. Future research should explore longitudinal designs, objective measures of behavior (beyond self-report), and examine contextual moderators (e.g. ship type, cultural background).

JITEPATYPA

1. Hetherington, C., Flin, R. & Mearns, K. 2006. Safety in shipping: The human element. *Journal of Safety Research*, 37, 401–411.
2. Salas, E., Wilson, K.A., Burke, C.S., & Wightman, D.C. 2006. Does crew resource management training work? An update, an extension, and some critical needs. *Human Factors* 48 (2), 392–412.
3. Schröder-Hinrichs, J.-U., Hollnagel, E., Baldauf, M., Hofmann, S. & Kataria, A. 2013. Maritime human factors and IMO policy, *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research*, 40:3, 243-260.
4. Wiyono, S. Teguh; Kuncowati; Daryanto. (2025). The Impact of Maritime Officers' Empathy and Ethics on Crew Occupational Safety in the Shipping Industry. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 6(2), 214-220.

ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР. ПРИЧИНИ ЛЮДСЬКИХ ПОМИЛОК, ЇХ РІШЕННЯ ТА МОЖЛИВІ ВПРОВАДЖЕННЯ У МАЙБУТНЬОМУ

Колесник М.С., курсант 5 курсу, керівник Козаченко Ю. М., старший викладач

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

Вступ: Морепоплавання — це одна з найскладніших і найнебезпечніших сфер транспорту. Незважаючи на високий рівень автоматизації суден, розвиток навігаційних систем і міжнародних стандартів безпеки, більшість морських аварій усе ще спричинені не технічними збоями, а людським фактором.

За даними дослідження The Human Factor and Maritime Safety (ScienceDirect, 2023), близько 70–80 % усіх морських інцидентів прямо або опосередковано пов'язані з помилками людини. І це свідчить про те, що навіть найсучасніше обладнання не може компенсувати людську недбалість, втому або неправильні рішення в критичний момент.

1. Людський фактор у морепоплаванні: сутність і класифікація

Людська помилка - це будь-яка дія або бездіяльність члена екіпажу, що призводить або може призвести до аварій, травм, забруднення довкілля чи пошкодження обладнання.

Згідно з дослідженням Reducing Maritime Accidents by Tackling Human Error (SpringerOpen, 2024), основними чинниками, які призводять до аварій, є:

1. Перевтома та нестача часу:
 - a. Довгі вахти, нічна робота, зміна часових поясів;
 - b. Порушення циркадних ритмів призводить до сонливості, повільної реакції, помилки у розрахунках и так далі.
2. Недостатня підготовка або слабке навчання:
 - a. Невміння користуватися сучасним обладнанням;
3. Надмірна автоматизація:
 - a. Люди занадто покладаються на автоматику й витрачають навички ручного управління;
 - b. У разі збою систем екіпаж не завжди здатен швидко відреагувати.
4. Стрес і тиск часу:
 - a. Робота у складних умовах (шторм, аварійні ситуації, тощо);
 - b. Людина приймає рішення імпульсивно, не дотримуючись встановлених процедур.
5. Неефективна комунікація:
 - a. Неправильна передача наказів, мовні бар'єри між членами екіпажу;
 - b. Відсутність підтвердження та повторення команд.
6. Низька ситуаційна обізнаність:
 - a. Офіцер не розуміє, що відбувається навколо судна через втрату орієнтації або неправильне сприйняття інформації.
7. Технічні фактори:
 - a. Незручний інтерфейс обладнання;
8. Організаційні питання:
 - a. Компанія ігнорує сигнали про небезпеку, не заохочує повідомлення про інциденти;

2. Роль культури безпеки

Дослідження Investigating the Role of the Human Element in Maritime Accidents (2022) підкреслює значення культури безпеки на суднах. Там, де екіпаж відчуває себе частиною єдиної системи — з прозорими правилами, взаємною підтримкою та чіткою ієрархією — кількість помилок значно менша.

Автори пропонують запроваджувати програми психологічної підтримки моряків, тренінги з лідерства та розвитку «soft skills», адже технічна компетенція без емоційної стійкості часто виявляється недостатньою.

Насамперед, це цікава тема для подальшого розвитку, так як морська професія вважається однією з найстресовіших у світі. Моряки працюють у середовищах:

- замкненого простору
- високої відповідальності та ризику
- постійної зміни часових поясів, клімату, режиму сну
- тривалого відриву від родини

Навіть найдосвідченіший офіцер може допустити помилку, якщо перебуває у стані психоемоційного виснаження.

Тому міжнародні організації (IMO, ILO, ICS, ITF) - розглядають напрями, щодо допомоги психічного стану моряків, а саме:

- Консультації психолога (обговорення тривоги, конфліктів, сімейних проблем, тощо).
- Групові сесії (обговорення труднощів, суперечок між екіпажем, формування довіри в команді)

3. Психологічний моніторинг (короткі опитування або тести) **Майбутнє морської безпеки**

Згідно з оглядом Smooth Seas Ahead: Enhancing Maritime Operations through Human Factors (2024), майбутнє морської галузі — за поєднанням технологій і науки про людський фактор.

Нові підходи включають:

- впровадження Human Reliability Analysis (HRA) — аналізу надійності дій людини;
- віртуальні тренажери для відпрацювання поведінки в аварійних ситуаціях;
- моніторинг стану екіпажу через сенсори втоми, пульсу та концентрації уваги;

Human Reliability Analysis - це системний підхід до вивчення того, як люди взаємодіють із технікою, процедурами та навколишнім середовищем, і наскільки ця взаємодія може бути надійною в умовах стресу, часу чи складних ситуацій. Основними цілями є: визначати можливі помилки людини, які можуть вплинути на безпеку або ефективність; оцінити ймовірність помилок з урахуванням умов (стрес, втома, час, складність завдання); виявити критичні точки, де людські дії найбільше впливають на ризики; розробка заходів для зниження ризику (автоматизація, навчання, зміна умов роботи, тощо.)

Віртуальні тренажери - це спеціальні цифрові симуляційні системи, що створюють реалістичне середовище аварійної ситуації, у якому екіпаж або персонал може відпрацьовувати дії без ризику для життя та обладнання.

Основною метою є розвиток правильної поведінки в умовах стресу, дефіциту часу та небезпеки, а також удосконалення навичок реагування екіпажу при надзвичайних ситуаціях.

Моніторинг стану екіпажу — це система безперервного спостереження за фізіологічними та когнітивними параметрами моряків за допомогою сенсорів, інтегрованих у носимі пристрої (браслети, годинники, датчики у формі або касках).

Параметри, які можуть регулюватись:

1. Пульс та частота серцевих скорочень (Heart Rate):
 - a. свідчить про рівень фізичного навантаження, стресу або тривожності;
 - b. відхилення від норми може сигналізувати про перевтому або серцеві проблеми.
2. Рівень втоми та сонливості:
 - a. визначається через аналіз рухів очей, положення голови, мікроперіоди неуважності (micro-sleep);
 - b. використовуються камери або сенсори, що фіксують моргання, нахили голови, частоту реакції.
3. Варіабельність серцевого ритму (HRV):
 - a. показує баланс між напруженням і відновленням організму;
 - b. низьке HRV = високий рівень стресу або виснаження.
4. Концентрація уваги та когнітивна активність:
 - a. оцінюється за допомогою нейросенсорів (наприклад, EEG-стрічки у касці або навушниках);
 - b. система виявляє, коли оператор відволікається чи не реагує на зміну ситуації.

5. Температура тіла, рівень кисню в крові, тиск:
 - а. особливо важливо при роботі у трюмах, машинних відділеннях або під час нічних вахт.
Як це працює на судні:
1. Кожен член екіпажу має персональний пристрій (браслет або нашивку з датчиком).
2. Дані передаються у бортову систему моніторингу здоров'я, яка аналізує їх у реальному часі.
3. Якщо система фіксує відхилення — наприклад, підвищений пульс, тривалий брак руху або зниження концентрації — подається попередження черговому офіцеру або капітану.
4. У разі необхідності особа може бути тимчасово відсторонена від вахти, замінена або направлена на відпочинок.

Висновок

Людський фактор — це не слабкість, а центральний елемент системи морської безпеки.

Технології, автоматизація, цифрові карти — усе це має допомагати, але остаточне рішення завжди приймає людина. Щоб зменшити кількість аварій, морська галузь повинна:

- Підвищувати рівень підготовки екіпажу.
- Розвивати культуру безпеки та довіри на судах.
- Враховувати психологічний стан моряків як частину системи управління ризиками.
- Інтегрувати науку про людський фактор у проектування суден і морських процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. The Role of the Human Factor in Marine Accidents — категорії людських факторів й їх вплив.
<https://www.mdpi.com/2077-1312/9/3/261>
2. The human factor and maritime safety — дослідження, яке говорить, що до ~70 % морських аварій пов'язані з людським фактором.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146519303515>
3. Reducing maritime accidents in ships by tackling human error — підхід з організаційної точки зору до зменшення помилок.
<https://jshippingandtrade.springeropen.com/articles/10.1186/s41072-021-00098-y>
4. Investigating the Role of the Human Element in Maritime Accidents — огляд ролі людського елемента в аваріях.
<https://iris.unica.it/retrieve/e2f56ed9-e400-3eaf-e053-3a05fe0a5d97/Paolo%20Fadda%20et%20al%20Transportation%20Research%20Procedia.pdf>
5. Smooth seas ahead: enhancing maritime operations through human factors — стаття, яка показує методи, як дисципліна human factors може покращити безпечність судноплавства.
<https://rina.org.uk/publications/the-naval-architect/smooth-seas-ahead-enhancing-maritime-operations-through-human-factors/>

УДК 81'243 : 378.147 (045) = 111

COMMUNICATION IN PROFESSIONAL ENVIRONMENT

Костроміна О.В., кандидат філологічних наук, доцент

Національний університет "Одеська морська академія", Україна

The topic of formation of seafarers' foreign-language communicative competence has always been relevant. Modern changes in the organization of the educational process due to crisis events such as the pandemic and hostilities have prompted search for new ways to increase the efficiency of teaching English to future seafarers at higher education institutions. The purpose of the study was to determine the components of readiness to communicate in the professional environment. Methodological tools for diagnosing the formation of various components of students' readiness for communication in the foreign language were developed. Surveys were carried out to collect primary

information as well as tests to assess the state of development of foreign language competence and to find out weaknesses and strengths in the communicative activity of students. The result of the research was the development of criteria for assessing the formation of readiness of future seafarers for foreign language communication in the professional environment. We have identified the following components in a theoretical and empirical way: motivational, cognitive, emotional, volitional, linguistic, and social. Empirical studies have shown that the active motivation of students is not sufficiently developed, while the motivation to learn the language is at a high level; thus, the development of readiness to act will become relevant for teachers. After identifying the components of communication that need to be formed, we came to the conclusion that teachers should be ready to form them, be ready for changes in approaches to teaching, have motivation and certain abilities to change and introduce innovations. Thus, we consider the process of forming readiness for communication in the relationship between them.

In our modern age, search and rescue (SAR) operations are critically reliant on immediate, consistent, and reliable communications. There are several communications options that the mariner, rescue boat and aircraft crews, as well as Rescue Coordination Centres (RCCs), can use for this. The essential Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS) list is as follows:

- VHF DSC (Area A1)
- VHF Radio
- MF DSC (Area A2)
- MF Radio
- NAVTEX (A2)
- HF DSC (A3)
- HF Radio
- Satcoms – INMARSAT and IRIDIUM voice, text and data (A4)

There are also non-maritime systems such as mobile (cell) telephone voice and text, as well as commercial communications satellite systems that are able to send distress and emergency messages by voice and/or text. These are known as Satellite Emergency Notification Devices (SEND) such as SPOT, InReach, YellowBrick, and similar companies and services. These devices are not ‘endorsed’ for use as maritime emergency communications devices, but they are used by those in distress in the maritime environment.

As a result, SAR responders must know how these systems work and how any position and vessel identity information can be obtained from them. Knowing how the maritime communications systems work and providing information is an important skill and knowledge requirement for SAR people. After all, our job is SAR communications *and* coordination of the response. We need communication to coordinate correctly. In many ways, it does not matter what device or system a person in danger is using so long as they can get their call for help through to the nearest vessel(s) and/or the correct authorities and, in a maritime SAR case, the right (Maritime) Rescue Co-ordination Centre (M)RCC.

SAR Communications is not all about range

People can often see GMDSS communication options as range related, e.g., how far the radio system can ‘reach’. At a basic level, this is true, but there is also the secondary purpose of reaching your intended audience and ensuring all options have been used to get a message out.

For example, NAVTEX is a good tool for ensuring all NAVTEX-equipped craft (not just International Maritime Organization (IMO)-regulated vessels) receive an Initial Distress or Urgency Alert (IDUA). Most vessels and many smaller craft have a NAVTEX receiver on board. This device stores all messages received and alarms with an audible and visual signal to ensure that the persons on the bridge (or the boat) know something important has been received. Therefore, NAVTEX is an excellent tool for ‘texting’ the maritime community about an incident particularly search area coordinates and overdue craft information requests.

The same goes for Medium Frequency (MF) Radio and DSC. The distance or range does not matter. Even if you only need to communicate 5 or 10 miles offshore, MF Radio is a radio communication medium and can be used to get the message out, such as a Mayday Relay broadcast.

MF radio may be particularly useful if there is high terrain in your search and rescue region (SRR) – the signal may reach vessels that may be up rivers or in long sea inlets and behind the terrain. The same goes for High Frequency (HF) radio and DSC. I once heard of a SAR coordination team having problems communicating with a lifeboat out of range of the Very-High Frequency (VHF) coverage they had, not realising they could have used MF radio to resolve their problem.

Many ships have satcom, and even a growing number of smaller leisure and fishing crafts have small satellite terminals and even handheld devices on board that can receive alerts and Enhanced Group Call (EGC) messages.

If you are responsible for SAR communication, take time to consider how to get your important SAR information to the biggest possible audience and use all the relevant systems you have available. Use your communications options to ensure you maximise your communication impact not just what is range relevant.

Using ships at sea as communications relay stations

Another possible problem, for example, is when an RCC is trying to locate a missing boat on a voyage. The route takes the vessel outside shore-based VHF coverage and the boat does not have MF or satcom. How do we try to call the vessel as part of an Alert or Urgency phase, when communications searches are being conducted?

One solution is to use vessels at sea, near the likely route of the missing craft, to act as relay stations for the SAR coordinators and responders. We can use AIS services (such as satellite AIS and LRIT options) to locate and identify ships in the relevant area to contact and ask them (by satcom or MF or HF radio) to make VHF radio calls to the missing craft. Their radio horizon will be about 15 to 30 miles, depending on the height of their radio aerials, so they will have good coverage. We could also ask them to rebroadcast, for example, a Mayday Relay broadcast, should this benefit a SAR communications plan.

Sharing of information

SAR coordinators are information managers. Information received from emergency calls may have to be expanded on by asking further questions about an incident, research information if some is missing, and collate, analyze, and process all of the information before taking action.

Sometimes SAR coordinators do not share all the information they have with the responding units and organisations.

It is vital that RCCs brief the responders in detail to ensure everyone has the same situational awareness. Another benefit of this is to bring awareness of the possible challenges the RCC has because of a lack of information.

Presumably, we may sometimes have to withhold sensitive or security-related information for the sake of an individual's or public safety. However, if it can be shared, it should be done over secure means for example mobile phone, satellite phone or text message.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шейко А.О. Чинники психологічної стійкості осіб юнацького віку. URL:[http://C:/Users/Admin/ Downloads/ Nvmdups_2013_2_11_64%20\(2\).pdf](http://C:/Users/Admin/Downloads/Nvmdups_2013_2_11_64%20(2).pdf).
2. AMSA issues guidelines on fatigue. Safety4sea. 5.03.2020. URL: <https://safety4sea.com/amsaissues->

УДК 811.111

THE TEACHING OF ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES

Мелентєва О.М., к.ф.н., доцент

Національний Університет «Одеська Морська Академія» (Україна)

The growth of business and increased occupational mobility is resulting in a need for English as a common medium of communication. Access to much scientific and technical literature is difficult for those with no knowledge of English.

The demands and requirements have resulted in the expansion of one particular aspect of English Language Teaching (ELT) - namely the teaching of English for specific purposes (ESP).

Some learners may be attending a University course in an institution where English is the medium of instruction and find they have difficulty in understanding lectures or participating in seminars. Others, working in commerce, may realise that a specialised course in English would help them in reading reports or conducting business transactions

Giving a learner with a specific purpose in learning English, it would seem logical in the learner-centered approach to base a course on that purpose and on the needs of the learner in his situation. Once a learner's needs have been defined, this information can be used as a guideline for the content of a course suited to his particular interests and needs.

The second development which greatly influenced ESP programs was a move towards a view of language as not only a set of grammatical structures but also a set of functions. This view is essentially behavioral, that is, we use language to communicate with people and to cause things to be done, to describe and explain events, to qualify and hypothesise. In addition, since many learners in ESP situations already possessed a grammatical knowledge of the language, this "communicative" approach provided them with an opportunity to use this knowledge more productively than had been possible before.

In short ESP has its basis in an investigation of the purposes of the learner and the set of communicative needs arising from those purposes.

These needs will then act as a guide to the design of course materials. The kind of English to be taught and the topics and themes through which it will be taught will be based on the interests and requirements of the learner. The skills to be taught may be restricted. For example, a needs analysis may reveal a priority for listening, and materials may be highly specific to suit specialist groups.

There are two main divisions which help to distinguish ESP situations: English for Occupational Purposes (EOP) and English for Academic Purposes (EAP).

1. EOP is taught in a situation in which learners need to use English as a part of their work or profession. They need English, in the first case, to talk and respond to different staff, and, in the second, to read technical manuals.

There will be differences in such courses depending on whether the learners are learning English before, during or after time they are being trained in their job or profession.

2. EAP is taught generally within educational institutions to students needing English in their studies. The language taught may be based in particular disciplines at higher levels of education when the student is specialising (in-study) or intends to specialise (pre-study) in particular subject.

These types of ESP, with their subdivisions, cater both for the category of student (e.g. pre-experience, pre-study) who needs English in order to gain access to knowledge and for the student who needs to express in English the knowledge which he already has.

School - subject ESP can be divided into those situations where English is a separate subject on the curriculum but with a related content to other subjects (independent ESP) and those where English is the medium for learning other subjects (integrated ESP).

3. English for science and technology (EST) presupposes the stock of vocabulary items, grammatical forms and functions which are common to the study of science and technology. There are two points to be made here. Firstly, EST is simply an important branch of ESP, dealing with scientific content. There are many important content areas in ESP which are not concerned with science - the law and commerce, for example. The second point is that the term EST is too general to be of great use in the design of ESP materials. The notion of EST has often led in the past to the teaching materials with a scientific bias but which did not serve the needs of the learners.

A scientist may need to operate in English in a number of different situations. Each of those situations will demand a different language skill and a different range of communicative abilities.

It is important not to regard ESP as an area of development separate from the rest of the English Language Teaching. It is part of the recent move within the ELT sphere towards a more communicative basis for teaching and learning. Approaches appropriate to ESP may well be applicable to communicative teaching in other ELT contexts.

ЛІТЕРАТУРА

1. Abbs B; Freebairn I. Studying Strategies. Longman, 1982.
2. Mackay R & Mountford. English for Specific Purposes. Longman, 1978.

УДК 811.111'276.6:656.61-044.922 (043.2)

КУЛЬТУРОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ ЯК НЕОБХІДНИЙ КОМПОНЕНТ АНГЛОМОВНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ СУДНОВОДІВ ДО РОБОТИ В БАГАТОНАЦІОНАЛЬНОМУ ЕКІПАЖІ

Мілошунас В.В., старший викладач кафедри морської англійської мови

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Дана робота присвячена культурологічному аспекту як необхідному компоненту англomовної підготовки майбутніх судноводіїв до роботи в багатонаціональному екіпажі. Майбутні судноводії повинні володіти низкою особистісних і професійних якостей, серед яких ключовими є ініціативність, комунікативність, оперативність, прагнення до розвитку й самоосвіти, а також знання основ культури, міжкультурної комунікації та специфіки професійної діяльності. Ефективна взаємодія з екіпажем, особливо у стресових або надзвичайних ситуаціях, є невід'ємною частиною обов'язків судноводія, адже будь-яке непорозуміння чи помилка можуть мати критичні наслідки. У багатонаціональному екіпажі всі ці навички неможливі без володіння англійською мовою, яка є основним засобом професійної комунікації. Водночас одне лише знання мови є недостатнім без розуміння культурних особливостей її носіїв і представників інших національностей.

Комунікація є фундаментом злагодженої роботи екіпажу, зокрема в умовах його національної, мовної та релігійної різноманітності. У таких обставинах здатність правильно інтерпретувати поведінкові моделі інших, уникати культурних бар'єрів та неупереджено сприймати комунікативні відмінності є надзвичайно важливою. Саме тому міжкультурна комунікація, яка передбачає обмін інформацією між представниками різних культур із урахуванням їхніх цінностей, норм, поведінкових кодів і мовних засобів, виступає центральним аспектом підготовки майбутніх судноводіїв [3].

У глобалізованому морському середовищі англійська мова, згідно з міжнародними нормативними актами, виконує роль офіційної мови міжкультурного професійного спілкування. Вимоги до рівня її володіння сформульовані у документах, затверджених Міжнародною морською організацією (ІМО), зокрема в Міжнародній конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (STCW), де наголошено, що члени екіпажу повинні вміти спілкуватися англійською під час виконання службових обов'язків і в повсякденному житті на борту судна.

Для закладів вищої морської освіти це означає необхідність формування не лише мовної, а й міжкультурної компетентності майбутніх фахівців [4]. Світовий ринок морської праці динамічно розвивається, екіпажі суден дедалі частіше складаються з представників різних націй, культур і мовних груп. У таких умовах особливого значення та актуальності набуває здатність до ефективного спілкування, заснованого не лише на знанні мови, а й на глибокому розумінні особливостей міжособистісної і міжкультурної взаємодії [1].

У практичному вимірі англомовна підготовка курсантів охоплює опанування професійної лексики, фразеології, а також умінь вести радіопереговори, користуватися навігаційними картами, передавати інструкції, взаємодіяти з екіпажем у штатних і аварійних ситуаціях. Усе це вимагає не лише технічної точності, а й емоційного інтелекту, культурної чутливості, толерантності, уміння слухати та розуміти співрозмовника в усіх нюансах комунікації [2].

Складність роботи в багатонаціональному екіпажі полягає в тому, що навіть за наявності спільної мови — англійської — нерідко виникають труднощі, зумовлені різними культурними кодами [5]. Те саме слово, жест або мовна інтонація можуть мати різне значення залежно від культурного контексту. Іноді ця різниця є настільки тонкою, що її неможливо досягнути лише через підручники чи відеоматеріали — потрібен практичний досвід спілкування з представниками інших культур.

Часто проблеми виникають не лише через мовний бар'єр, а й через відмінності у ставленні до відповідальності, звітності, ієрархії чи розуміння помилок. У деяких культурах повідомлення про технічну несправність може сприйматися як ознака невдачі або загроза особистому авторитету. Це створює ризики приховування важливої інформації, що, зі свого боку, ставить під загрозу безпеку плавання.

З метою подолання таких бар'єрів у морській практиці впроваджено концепцію «справедливої культури», яка передбачає підтримку відкритого обміну інформацією без страху покарання у випадках, коли працівник діяв відповідно до свого досвіду, інструкцій і добрих намірів. Такий підхід сприяє формуванню довіри між членами екіпажу та підвищенню ефективності взаємодії.

Сучасні морські компанії надають великого значення формуванню корпоративної культури, яка базується на принципах поваги, рівноправності, відповідальності й безпеки. Ефективне міжкультурне спілкування в таких умовах — це не лише інструмент професійної взаємодії, а й чинник збереження фізичного та психологічного здоров'я екіпажу [6].

У результаті, якісна англомовна підготовка, інтегрована з культурологічними компонентами, забезпечує майбутнім судноводцям не лише мовну спроможність, а й соціокультурну компетентність, що є ключовою умовою успішної професійної діяльності в багатонаціональному екіпажі. Таким чином, культурологічний аспект не просто доповнює мовну підготовку, а є її системоутворювальним компонентом, без якого неможливо забезпечити ефективну, безпечну й гуманну морську практику.

Отже, інтеграція культурологічного компонента в англомовну підготовку майбутніх судноводців є об'єктивною необхідністю, зумовленою специфікою сучасного глобалізованого морського середовища. Здобуття міжкультурної компетентності у поєднанні з високим рівнем володіння професійною англійською мовою виступає визначальним чинником ефективної професійної діяльності в багатонаціональних екіпажах. Це, зі свого боку, потребує перегляду традиційних підходів до мовної освіти у вищих морських навчальних закладах із урахуванням необхідності формування комунікативної, соціокультурної та емоційно-етичної готовності до міжособистісної й міжкультурної взаємодії в умовах міжнародного судноплавства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Нечаєнко, Т. В. (2018). Теоретичні засади дослідження мовної комунікації: культурологічний аспект. *Культура і сучасність*, 2, 48-52.
2. Осадча, О. В. (2016). Міжкультурна комунікація як складова змісту навчання іноземної мови. *Англїстика та американїстика*, 13, 89-94.
3. Руденко, Л. А. (2012). Теоретичні основи формування комунікативної культури майбутніх фахівців. *Молодь і ринок*, 3, 52-55.
4. Сарновська, Н. І. (2019). Культурологічний аспект викладання іноземної мови студентам закладів вищої освіти. *Культура і мистецтво у сучасному світі*, 20, 189-199. <https://doi.org/10.31866/2410-1915.20.2019.172434>

5. Тимченко-Міхайді, Н. С. & Пугач, В. Б. (2018). Культурологічний аспект підготовки фахівців у процесі вивчення іноземних мов. *Вісник університету імені Альфреда Нобеля. Серія «Педагогіка і Психологія»*, 1 (15), 202-207. <http://dx.doi.org/10.32342/2522-4115-2018-0-15-202-207>
6. Циганок, І. Б. (2024). Міжкультурна комунікація майбутніх фахівців у освітньо-науковій, професійній і діловій сферах. *Вісник науки та освіти*, 8 (26), 499-509. [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2024-8\(26\)-499-509](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2024-8(26)-499-509)

УДК 656.61:159.9:378.14

BEHAVIOURAL COMPETENCY ASSESSMENT AND VERIFICATION FOR SEAFARERS

Очеретна О.Ю., кандидат педагогічних наук, доцент

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Introduction. The shipping industry continues to face challenges in safely moving environmentally sensitive cargo around the world. Since 1970 the industry has made great strides in reducing the number of incidents, presenting a remarkable safety and environmental record.

Unfortunately, many incidents still occur despite rules and regulations. Analysis of the contributing factors in all shipping sectors shows that the major factor is the human element.

Conducting operations safely and without incidents relies on human competency, which comprises both technical skills (hard skills) and non-technical skills (soft skills).

The industry's main focus until now has been on developing and assessing technical skills, with the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW Convention) being the main international convention addressing the competencies of seafarers. Any officer who holds a certificate of competency issued by a proper authority that meets STCW Convention requirements is qualified to serve in that rank. Since 2010, the STCW Convention also refers to soft skill competencies such as leadership and managerial skills, decision making, teamwork and communication.

The tanker industry recognises that more focus should be placed on soft skills. Personnel behaviour and attitude are key elements of a positive safety culture that promote a safe work environment and helps reduce incidents. In this article let's consider the best practice guide for assessing officers' soft skills by monitoring their behaviours.

The aim is to:

- Highlight the importance of the soft skills dimensions of competency in performing operations safely and incident-free.
- Describe the variety of soft skills and their associated behaviours.
- Identify behaviours to be adopted and those to be avoided.
- Explain the value of having a variety of soft skills and behaviours in a team, which when harmonised can improve performance and assist in promotion and recruitment processes.

The importance of behavioural competency in the maritime sector

Seafarers work in one of the most risk-aware environments. They are trained to a very high technical standard and are therefore able to contemplate risks and prevent them from becoming potential incidents. However, a focus on soft skills would enhance overall safety and further reduce incident rates.

When reading any incident investigation report, causes are very often related to behaviour and performance, such as:

main cause of the casualty of ... in January 2012 is attributed to “the Master’s unconventional behaviour”.

The main cause for the collision of ... in Feb 2015 was inadequate coordination and

communication between all parties involved.

AA's master assumed that BB would keep clear and he didn't take it upon himself or task the third officer to closely monitor the tanker.

The remainder of the watch team on the bridge failed to provide situational awareness and input to the officer in charge on deck.

The communication from the pilot on ... to ... was less than optimal.

Skills, abilities and motivation play a key role in performance at both the individual and organisational level. Soft skills and the ability to realise an organisation's strategy and vision are what set excellent performers apart.

High-performing organisations increasingly recognise that it is not just what people do but how they do their jobs that makes the difference in achieving objectives. It is crucial to have systems and practices in place that are geared towards defining, assessing, maintaining and developing the soft skills that contribute to a culture of high performance, which can be observed through people's actions and behaviours.

Competency frameworks offer a structured approach to managing, appraising and improving performance by reinforcing values and encouraging a common culture. A competency framework signals to personnel what the expected performance areas and levels are and which behaviours are valued and recognised.

Defining competencies

Competencies can be difficult to define and assess, so the competency framework set out in the following section provides a common language and understanding of the types of behaviours (behavioural indicators expected in order to ensure successful performance in different types and levels of tasks).

Whether or not someone displays a particular competency will depend on their ability (do they know how to act in that way?) and their motivation (do they desire to act in that way?), as well as the opportunity (when or in what situations they can demonstrate that behaviour).

Competency frameworks provide clarity and focus through a common language and understanding of behaviours required.

Competency domains, elements and behavioural indicators. In the following behavioural competencies vital for safe and efficient vessel operations are defined. The behaviours have been organised in a hierarchical structure:

1. Competency domains: broad categories of behaviour.
2. Elements: narrower categories of behaviour that form part of the higher-level domains. For example, participation is an element in the competency domain team working.
3. Behavioural indicators: the positive and negative observable behaviours associated with each element.

The competency framework consists of six competency domains:

- Team working
- Communication and influencing
- Situation awareness
- Decision making
- Results focus
- Leadership and managerial skills

Follow up of identified training needs

The purpose of any assessment is to identify specific areas of improvement in order to optimize the person's performance. These improvement areas can be technical skills, soft skills or both.

Once a specific area of improvement has been identified, the best way to address the need, as well as its priority, has to be decided based on each company's training and development culture.

In most cases, the area of improvement is translated into a tangible training need, the need is prioritised and a timeframe is established.

As with technical skills, the ongoing monitoring and strengthening of soft skills plays an integral part in ensuring continual improvement for the individual as well as developing a safety culture on board. Hence, it is recommended to include a soft skills assessment section within the standard seafarer performance evaluation.

Regardless of the soft skills assessment outcome, any officer who holds a certificate of competency that meets the requirements of the STCW Convention is qualified to serve in that rank. If the assessment process identifies areas for soft skills improvement, appropriate next steps should be planned for the officer involved, as described above and in line with company policy.

Where competency gaps are identified in entire teams or in multiple individuals, company-wide training programmes focusing on specific competency domains may be appropriate, such as leadership development or communication and influencing.

CONCLUSIONS. It is clearly shown in the article that the overall aim is to develop and improve officers' technical and soft skills for the benefit of each individual and the onboard team. The soft skills assessment should be seen as an opportunity to improve everyone's behaviour. The associated assessment is the part of a continuous improvement process rather than another exam that officers need to pass. In this way, it differs from technical competency systems such as those in the STCW Convention.

Companies would benefit from involving their assessors in implementing this system, which may include marine and technical superintendents, as well as training assessors on behavioural competencies and assessment follow-up. This in return will bring onshore personnel and seafarers closer and will help to improve a safety culture. Through the full implementation of this system, companies will increase operational efficiency and reduce the number of incidents. This system represents something new and aims to achieve a step change in safety management at sea. Therefore, the role of the assessor is important and specialised training is recommended.

LITERATURE

1. International Maritime Organization (IMO). (2011). STCW Convention and Code, 2010 Manila Amendments. London: IMO.
2. IMO. (2006). The Human Element: A Practical Guide to Reducing Error and Improving Safety. London: IMO.
3. International Chamber of Shipping (ICS). (2020). Human Element guidelines. London: ICS
4. International Labour Organization (ILO). (2006). Maritime Labour Convention (MLC), 2006. Geneva: ILO.
5. Tailor, J., and Cox, G. (2005). Human Factors in the Maritime Domain. London: Routledge.
6. Boyatzis, R.E. (2008). Competencies in the 21st century. Journal of Management Development, 27(1), 5-12

УДК 811.111'42

ІНТЕГРАЦІЯ МОРСЬКОЇ АНГЛІЙСЬКОЇ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МОРЯКІВ

Савватєєва В.Д., викладач кафедри «Морська англійська мова»

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

У статті розглядається актуальність інтеграції морської англійської мови з цифровими технологіями у процесі професійної підготовки майбутніх судноводіїв. Виклики сучасного морського транспорту зумовлюють потребу у фахівцях, здатних ефективно користуватися інформаційними ресурсами та програмним забезпеченням, застосовуючи професійно орієнтовану англійську мову.

Особливу увагу приділено використанню цифрових платформ та симуляторів, які дозволяють відпрацьовувати навички спілкування англійською мовою в умовах, максимально наближених до реальних (радіообмін, взаємодія з VTS, проведення швартових чи аварійних операцій). Важливим компонентом є застосування відеоконференцій, інтерактивних карт та мультимедійних матеріалів, що сприяють розвитку як мовленнєвої, так і професійної компетентності курсантів.

Використання цифрових інструментів забезпечує:

- інтерактивність та швидкий зворотний зв'язок;
- можливість дистанційної участі у тренінгах та міжнародних проєктах;
- доступ до автентичних матеріалів (навігаційних документів, інструкцій, повідомлень

Notice to Mariners);

- підвищення мотивації курсантів через залучення сучасних навчальних ресурсів.

Висновки. Інтеграція морської англійської та цифрових технологій створює нові можливості для професійної підготовки моряків. Такий підхід дозволяє поєднати розвиток комунікативної компетентності з практичним використанням сучасних інформаційних засобів, формуючи у курсантів готовність до роботи в умовах глобалізованої морської індустрії.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Maritime Organization. Standard Marine Communication Phrases (SMCP). – IMO, 2001.
2. SOLAS Consolidated Edition 2020. – International Maritime Organization.
3. Гутаревич Н.В. Викладання професійної англійської мови у вищих морських навчальних закладах. – Одеса: Астропринт, 2018.
4. Marlow, P. Maritime English. – London: Routledge, 2019.
5. Тіхонова І. Інноваційні методи навчання англійської мови для моряків у цифрову епоху // Наукові праці. – 2021. – №3.

УДК 656.61.08

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХІВ УКРАЇНИ ТА ПРОФЕСІНІ МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ СУДНОВОДІВ

Володимир Сікірін, завідувач кафедри судноводіння., к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Внутрішні водні шляхи (ВВШ) України, до яких належать річки Дніпро, Дунай, Південний Буг та інші водні артерії, мають значний потенціал для розвитку в сучасних умовах реструктуризації транспортної інфраструктури країни. Військова агресія та блокада морських портів у Чорному морі змусили Україну шукати нові логістичні рішення, і саме річковий транспорт став одним із ключових напрямів переорієнтації експортних потоків.

У таких умовах зростає роль майбутніх судноводіїв, здатних професійно та технічно забезпечувати безпечне й ефективне судноплавство на внутрішніх водах. Попит на фахівців річкової навігації стрімко збільшується, а вимоги до їх компетентності та розуміння сучасних тенденцій розвитку ВВШ стають дедалі вищими. Тому розвиток внутрішнього водного транспорту має важливе освітнє й професійне значення.

Таблиця 1. Протяжність судноплавних внутрішніх водних шляхів України

Рік	Протяжність (км)	Джерело
2015	2 241	UNECE (2015) e3s-conferences.org
2020	2 126	Eurostat (євродані) ec.europa.eu+1
2024*	1 888	Попередня оцінка UNESCO / статистика w3.unece.org+1

* Оцінка за 2024 рік — попередня.

Примітка: У таблиці наведено загальну довжину судноплавних ВВШ, включно з річками і каналами.

Таблиця 2. Оцінка тоннажу перевезень водним транспортом України

Рік	Обсяг перевезень (млн т)	Примітка
2018	~60	Оцінка за дослідженням 2023 р. baltijapublishing.lv
2023	(~70)	Оцінка зростання після 2022 р. (орієнтовно)
2025**	~0,7	За 9 міс 2025 року водний транспорт – 0,7 млн т open4business.com.ua

** Данні за 2025 рік є попередніми і стосуються лише періоду 9 місяців.

Поточний стан ВВШ України

До 2022 р. розвиток внутрішніх водних шляхів в Україні перебував у стані застою: флот застарілий, шлюзова інфраструктура потребувала модернізації, нормативна база була недостатньо адаптована до європейських стандартів. Закон України «Про внутрішній водний транспорт» від 11.12.2020 р. став першим кроком на шляху до реформування галузі. [1].

На Дніпрі проходить близько 90 % вантажообігу ВВШ країни, але це лише 0,5 % від загального вантажопотоку України — показник явно занижений. Але вже зараз міжнародні аналітики говорять про активний процес реформування державно-приватного партнерства у секторі ВВШ. [4]

Зміни після початку війни та нові можливості

Блокада морських портів чорноморського узбережжя створила критичний перелом: експорт зерна та інших вантажів частково перемістився на Дунай та річкові маршрути України. Згідно з Danube Commission, вантажообіг в українських портах на Дунаї в Q1–Q2 2022 р. збільшився на 234 % порівняно з аналогічним періодом 2021 р. [6] Це породило величезний попит на професійні кадри: річкові капітани, штурмани, механіки. Середній вік екіпажів річкового флоту становить понад 50 років, тому кадровий дефіцит є суттєвим.

Професійні можливості для судноводіїв

Для молодих моряків та здобувачів освіти морських ВНЗ відкриваються такі можливості:

- Річкові капітани та штурмани на маршрутах Дніпро-Дунай.
- Експедитори, оператори флоту, спеціалісти із річкових інформаційних систем (RIS).
- Перехід від морської навігації до внутрішньоводних технологій: інша осадка, інше маневрування, робота зі шлюзами та вузькими каналами. Це дає перевагу: менша конкуренція, нові кар'єрні горизонти, можливість працювати в системі, що розвивається.

Вимоги до підготовки судноводіїв

Згідно з європейськими стандартами (STCW Inland, CESNI, ES-TRIN) та нормативами Дунайська комісія, сучасний судноводій ВВШ має володіти такими компетентностями:

- Навігація річковими шляхами, робота зі шлюзами, знання специфіки внутрішньо-водного транспортного режиму.

- Знання цифрових систем: RIS (River Information Services), ENC Inland, AIS Class A/B.
- Підготовка для нестандартних ситуацій: бойовий ризик, страхування, відновлення логістики в кризових умовах. Саме навчальні заклади мають вже сьогодні інтегрувати ці елементи до програм підготовки.

Освітній розвиток і шляхи реалізації

Рекомендовано створити спеціальні навчальні модулі в морських закладах освіти, зорієнтовані на внутрішні водні шляхи. Наприклад: курс «Судноводіння на ВВШ України», модуль «RIS та цифрова навігація», практичні заняття на судах класу «річкова баржа». Співпраця з закладами освіти Румунії, Сербії, Німеччини дозволить запозичити досвід інтеграції в європейські транспортні системи (TEN-T).

Здобувачі освіти, які пройдуть таку підготовку — матимуть конкурентну перевагу на ринку праці.

Висновки

Аналіз стану та перспектив розвитку внутрішніх водних шляхів України показує, що цей вид транспорту має стратегічне значення для відновлення й модернізації логістичної інфраструктури держави. Значні обсяги потенційних вантажопотоків, географічне положення, наявність судноплавних річок та підтримка з боку міжнародних партнерів створюють передумови для активного відродження річкового флоту та інфраструктури.

Для майбутніх судноводіїв це відкриває нові професійні можливості у сфері річкової навігації, експлуатації флоту, логістики та управління судноплавними операціями. Водночас важливою умовою успішної інтеграції в цей новий сегмент є модернізація навчальних програм із включенням тем з річкової навігації, навігаційного обладнання внутрішніх вод, шлюзування, управління судами на обмежених акваторіях та екологічної безпеки.

Таким чином, розвиток внутрішніх водних шляхів України є не лише державним пріоритетом, а й можливістю для формування нового покоління фахівців, що володіють сучасними знаннями та здатні забезпечити стале функціонування галузі в умовах інтеграції до європейського та світового транспортного простору.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про внутрішній водний транспорт» від 11.12.2020. ([Міністерство транспорту України](#))
2. Tsynalievskia I., «Development of Inland Water Transport as one of EU priorities». 2024. ([ei-journal.com](#))
3. Kuznichenko S., «Economic and legal aspects of the development of inland navigation in Ukraine». 2023. ([baltijapublishing.lv](#))
4. Interfax-Ukraine, «The Future of Inland Waterways in Ukraine», 25.05.2020. ([Interfax-Ukraine](#))
5. Eurostat, “Inland waterway transport statistics by product category”. 2024. ([European Commission](#))
6. “Inland navigation market” – report on transport performance on European IWT and Ukraine’s position. ([CCNR - Observation Du Marché](#))

УДК 811.111

ВИКЛАД І НАМІР У ЗВІТІ ПРО АВАРІЮ НА СУДНІ

Труханова Н.Л., кандидат філологічних наук, доцент

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Програма дисципліни «Ділова англійська мова» курсу магістрів-судноводіїв включає велику тему – «Розслідування причин аварії» (“Accident Investigation”), практичний аспект якої реалізується у вивченні та аналізі звітів про надзвичайні події та аварії на морі. Аналіз таких звітів передбачає, що курсанти зможуть 1) зробити короткий опис обставин надзвичайної події або аварії, 2) виявити як безпосередні (очевидні), так і основні причини (першопричини) зазначених подій, а також 3) запропонувати виправні дії або рекомендації, які мають на меті передбачити або не допустити повторення надзвичайної ситуації чи аварії.

Вивчення і аналіз таких звітів пов'язані з тим, що незважаючи на значний технічний прогрес у морській індустрії та серйозні заходи ММО, спрямовані на зниження аварій на морі, аварії та надзвичайні події продовжують відбуватися внаслідок одних і тих самих причин. Тому матеріал звітів, написаних фахівцями в галузі розслідування причин аварій, або моряками, які були свідками описаної події чи аварії, має великий навчальний зміст, оскільки може бути використаний для підготовки моряків до надзвичайних ситуацій, а, вірніше, для підготовки моряків до запобігання таким ситуаціям.

Постановка задачі. В даній роботі звіт про аварію на морі є предметом дослідження в психолінгвістичному аспекті і розглядається як різновид професійного морського дискурсу, на який ми дивимось як на «дискурс фахівців певної галузі життєдіяльності суспільства, спрямованого на виконання теоретичних або практичних завдань різного ступеня складності» [1, с. 21], що має з іншими вивченими різновидами професійного дискурсу не тільки схожі риси, а й специфічні особливості. Мета роботи полягає в тому, щоб показати, які характеристики професійного морського дискурсу є специфічними для звіту про аварію на морі та як вони можуть бути використані у навчальному процесі, орієнтованому на навчання діловій англійській мові курсантів-судноводіїв магістерського курсу.

Як приклад звіту про аварію на морі виступає звіт МАІВ (Marine Accident Investigation Branch). Ця організація на правах окремої філії входить до складу Міністерства Транспорту Об'єднаного Королівства та займається розслідуванням аварій на судах під прапором Великої Британії та на всіх судах, що заходять до територіальних вод Великої Британії. Звіти пишуться фахівцями з розслідування морських аварій англійською мовою і розміщуються на двох сторінках міжнародного формату PDF/A-2A, що включають також малюнки. Англійська мова, якою написані звіти, є абсолютно автентичною.

Розглядаються дві специфічні характеристики звіту про морську аварію як різновиду морського професійного дискурсу – *виклад* та *намір*.

Звіт про морську аварію у виконанні МАІВ має типологічну структуру і складається з двох частин. Перша частина виконує переважно *наративну* функцію. Це власне розповідь, історія, що фіксує в короткому *викладі* черговість фактів аварії або надзвичайної події, що відбулися в період виконання судном будь-яких експлуатаційних операцій.

Виклад (наратив) – як письмова чи усна розповідь, опис або передача якихось фактів – властивий свідомості та пам'яті людини і дає можливість суб'єкту відтворити події, що логічно осмислюються. «Реальність створює наративні процедури. У такому контексті наратив розглядається як основна форма дискурсивної реальності, обов'язково пов'язана із соціокультурними спільнотами, для яких вона є умовою самоідентифікації та самовизначення» [2, с. 71]. У нашому випадку зібраний командою експертів матеріал кладеться в основу написання невеликої статті, звіту, репорту, що відтворює подійний ряд, причинно-наслідкові зв'язки якого призвели до аварії, що спричинила загибель людей, або пошкодження власності учасників морського підприємства, а саме судна та/або вантажу.

У звіті “A Rope Has Two Ends” [3, с. 10-11], як і в інших звітах МАІВ, є дві частини. Перша частина зазвичай називається “narrative” (виклад) і складається з трьох абзаців, кожен з яких реалізує одну мікротему.

Перша мікротема – «під час швартування круїзного судна на берег було подано два кормових поздовжніх, з яких перший швартувальники провели між двома стійками і почали закріплювати його на причальному кнехті». Для викладу подійного ряду першої мікротеми використовуються наступні мовленнєві блоки з як повсякденним, так і спеціалізованим

тезаурусом: "... ship ran two sternlines ashore ", "... line handlers hauled the ... mooring line ashore", "leading it between two vertical posts", "placing its eye on a bollard".

Друга мікротема – «швартувальники проводили інший трос, коли на судні почали натягувати перший трос, чого не помітив один зі швартувальників; він відступив назад і опинився в зоні натягу першого троса». Друга мікротема – довші і більш подієва: "started to tension the ... mooring line", "stepped backwards over the first mooring line", "spotted the hazard", "moved away from the rope", "had their back to the vertical post, and the ship", "did not see the danger".

Третя мікротема – «перший трос зісковзнув з вертикальної стійки і вдарив швартувальника, піднявши його у повітря і завдаючи йому важкого каліцтва». Фрази з нормативною та спеціалізованою лексикою реалізують наративну функцію мікротеми наступним чином: "slipped up the vertical post", "held briefly at the top before releasing", "striking and lifting the line-handler into the air", "causing a serious injury".

Всі три мікротеми підпорядковані розвитку однієї макротеми виклада – «під час швартування круїзного судна один з берегових швартувальників отримав тяжку травму, випадково опинившись у зоні натягу швартовного троса».

Логічний ланцюжок викладу подій у звіті про аварію на судні має на меті ще одне завдання – реалізацію *наміру* як універсальної властивості суб'єкта професійного морського дискурсу.

У зв'язку з реалізацією у прагматичному аспекті будь-якого професійного дискурсу *вмотивованості* як його загальної характеристики, а також з урахуванням ділового стилю звіту про морську аварію, у висловленні автора звіту – як наслідок доцільності поведінки у діловій / професійній сфері – виникає суворі інтенція – *намір* – переконати читача прислухатися до висновків звіту. *Намір*, як і *виклад*, є властивістю свідомості і пам'яті людини, без якої неможливо здійснювати жодну професійну дію. Мотиваційний дискурс «за стилістичним навантаженням передбачає ... розповідь реальної особи (невигадані історії), яка не лише приверне увагу, а й спонукатиме слухачів ... до дії. [4, С. 231]. Інтенція автора звіту добре зрозуміла – виявити причини тяжкої травми людини під час виконання професійних обов'язків і пояснити, що треба робити, щоб уникнути повторення такої катастрофічної ситуації.

Звіт про аварію на морі має другу частину – «Здобуті уроки» ("Lessons Learned"). Ця частина особливо пов'язана з *наміром* (інтенцією) морського професійного дискурсу. У цій частині звіту йдеться про причини тяжкої травми, отриманої швартувальником, а також надаються рекомендації щодо виправлення причин аварії.

У першій мікротемі другої частини звіту ми бачимо попередження щодо загального ризику цього виду аварії: "Everyone involved in the dynamic environment of mooring operations should recognize the hazards posed by heavy lines that are moving and coming under tension". Автор визначає безпосередню причину (direct cause) нещасного випадку – неприпустимість перебувати в «зоні відпустки канату» під час швартових операцій: "Be alert to the ever-present danger of snap-back on mooring decks and ashore and take appropriate steps to avoid being in a snap-back zone when mooring lines are under tension".

Наступна мікротема – визначення основної причини (root cause) аварії – неправильна оцінка ризику: «відсутність контролювання руху швартових канатів, яке дає можливість вжити відповідних заходів у разі зачіпання каната або якщо когось помітять у небезпечному місці». Для реалізації інтенції використовується емпатична конструкція "It is vital that...": "It is vital that the movement of the mooring lines is monitored...". Підкреслюється, що нещасного випадку можна було уникнути у разі слідкування за рухом швартових тросів: "... there were 5 seconds between the line snagging and releasing, during which the accident could have been averted by stopping the winch".

У третій мікротемі *намір* автора звіту – підкреслити ще одну очевидну причину аварії: «трос зачепився, тому що проводився між двома вертикальними стійками». Далі – надання рекомендації щодо уникнення подібної аварії у майбутньому: необхідно мати план проведення

швартових тросів на берег, який враховує, як вони будуть рухатися під натягом, щоб зменшити ризик їх зачіпання. Для реалізації інтенції знову використовується вищенаведена емфатична конструкція: «... it is essential to have a plan for running the slack mooring lines ashore that considers how they will move under tension».

Висновки. У роботі виділяються специфічні характеристики прагматичного аспекту морського професійного дискурсу на прикладі звіту про аварію на судні – виклад та намір. Обидві характеристики визначають методологічний підхід до навчання ділової англійської мови для досягнення цілей дескриптивного викладу обставин надзвичайної події або аварії на морі з наміром визначення безпосередніх причин, основних причин та видачі рекомендацій щодо запобігання зазначеним причинам з метою не допустити їх повторення. Вироблення умінь курсантів зробити подібний аналіз англійською мовою є стратегічно важливим для побудови системи оцінки надзвичайної чи аварійної ситуації на судні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борисов О.О. Професійний дискурс: комунікативно-когнітивний вимір. *Когнітивно-прагматичні дослідження професійних дискурсів: матеріали VII Всеукраїнської наук. конф.* (Харків, 21 березня 2020 р.). Харків: ХНУ ім. В.Н.Каразіна, 2020. С. 20-23.
2. Дьяковська Галина. Наратив як складова дискурсивної реальності. *Схід*. 2017. № 5 (151). С. 70-73.
3. A rope has two ends. *MAIB Safety Digest: Lessons from marine accident reports*. – 2025. – No 1. – Р. 10-11.
4. Чепурна З. В. Мотиваційний дискурс промов. *Закарпатські філологічні студії*. – 2022. – Вип. 26(1). – С. 231-235.

УДК 811.111:37.091.26(045)

ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ ЗНАЬ КУРСАНТІВ ПІД ЧАС ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ МОРСЬКОЇ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ

Хроленко О. А., старший викладач кафедри морської англійської мови,
Русавська О.О., кандидат філологічних наук, доцент кафедри морської англійської мови,
Бондаренко Є.В., кандидат педагогічних наук, доцент кафедри морської англійської мови

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Дана робота присвячена проблемі розроблення та впровадження ефективних методів контролю знань у межах дистанційного навчання морської англійської мови. Наявність сучасних технічних засобів та великої кількості оцифрованих матеріалів дає змогу успішно вирішувати питання підготовки та трансляції знань. Проте питання належного й адекватного контролю знань, що набуті курсантами, залишається відкритим, оскільки форми та методи контролю, які наразі застосовуються, є недосконалими як із формального, так і зі змістовного погляду.

Слід зазначити, що контроль знань курсантів є одним із найважливіших елементів навчального процесу. Завдяки контролю між викладачем і курсантами встановлюється зворотний зв'язок, що дає змогу визначити динаміку засвоєння навчального матеріалу, а також рівень володіння предметними знаннями, уміннями та навичками [2].

Загальна мета контролю знань полягає в керуванні навчально-пізнавальною діяльністю курсантів. У цьому процесі можна виокремити такі завдання: керування педагогічним процесом у межах повторення, закріплення та узагальнення знань; керування педагогічним процесом на основі оцінювання якості та обсягу набутих курсантами знань; а також керування процесом формування та розвитку навичок самостійного й взаємного контролю курсантів [1].

Контроль знань курсантів, зокрема в межах дистанційного навчання морської англійської мови, виконує низку функцій. Діагностична функція передбачає виявлення рівня володіння морською англійською мовою. У цьому випадку об'єктом контролю є засоби іншомовного мовлення, що використовуються у процесі навчання. Контроль застосовується для того, щоб керувати оволодінням морською англійською мовою за допомогою певних навчальних матеріалів. Коригувальна функція полягає в тому, що у разі потреби форми та методи навчального процесу можуть бути змінені. Стимулювальна функція має на меті формування та підсилення мотивації курсантів до оволодіння морською англійською мовою. При цьому контроль покликаний підтримувати мотивацію, адже позитивні оцінки є додатковим стимулом до подальшого навчання. Зрештою, оціночна функція дає змогу оцінити результати діяльності як курсанта, так і викладача, визначаючи саме ефективність навчального процесу [3].

Слід зауважити, що якісний контроль знань має відповідати певним характеристикам, а саме: плановірності та систематичності (проведення контролюючих заходів відповідно до плану навчального процесу), об'єктивності (адекватне оцінювання знань, умінь та навичок курсантів), всебічності (оцінювання знань на основі розділів навчальної програми), індивідуальності (урахування психофізіологічних особливостей курсантів) та педагогічного такту (здійснення контролю знань у спокійній і доброзичливій атмосфері) [4].

Загалом можна виокремити два принципові підходи до контролю знань. Перший підхід передбачає облік активності студентів, які відвідують дистанційні заняття з морської англійської мови. Реалізація цього підходу полягає в тому, що викладач фіксує присутність або відсутність курсанта, а також наявність чи відсутність його відповідей. Проте очевидним є й недолік цього підходу: насправді викладач не знає, чи курсант дійсно засвоїв необхідні знання та наскільки глибокими й якісними вони є. Отже, на перший план виходить формальне оцінювання, яке не завжди відображає реальний стан речей.

Другий підхід передбачає оцінювання компетентності курсантів, тобто їхніх реальних знань, а також умінь і навичок їх застосування. Цей підхід застосовується у дистанційному навчанні частіше, ніж попередній, і на те є всі підстави. Кількість відвідуваних занять не є достовірним показником рівня компетентності, особливо коли йдеться про курсантів, які здобувають другу чи третю освіту. З іншого боку, курсант, який відвідав усі запропоновані заняття з морської англійської мови, може мати слабкі знання з предмета.

Водночас необхідно враховувати, що якщо контроль знань ґрунтується на звичайному тестуванні (без обмеження часу і поза увагою викладача), то курсанти замість самостійного проходження тестів можуть виконувати їх колективно або з використанням навчальних матеріалів. У цьому разі контролю піддаються не предметні знання, а вміння курсантів користуватися онлайн-словниками та пошуковими системами. Відтак є підстави вважати, що форми контролю, які використовуються у межах дистанційного навчання морської англійської мови, не завжди і не повною мірою відображають реальні знання, уміння та навички курсантів.

У цьому розумінні, безперечно, з'являється необхідність використання адаптивних тестів як основного засобу контролю знань. Адаптивне тестування передбачає трансформацію послідовності, змісту та рівня складності завдань у межах самого тесту з урахуванням відповідей курсантів. Основна ідея адаптивного тестування полягає у пристосуванні складності завдань до рівня відповідей курсанта. Це здійснюється шляхом статистичного опрацювання відповідей, що, по-перше, дає змогу зменшити час, витрачений курсантом на виконання тесту, а, по-друге, забезпечує об'єктивність підсумкового результату [5].

Застосування такої системи контролю є особливо ефективним під час дистанційного навчання морської англійської мови за умови дотримання основних засад проведення тестування. По-перше, доступ до системи тестів слід надавати курсантам лише за індивідуальними ідентифікаторами, а самі тестові завдання мають бути захищені від несанкціонованого доступу. По-друге, під час проведення тестування доцільно використовувати відеокамери – це підтвердить, що тест проходить конкретний курсант. По-третє, варто запроваджувати чітке обмеження часу: курсант має мати достатньо часу лише для

ознайомлення із завданням та вибору правильної відповіді, але не для пошуку інформації на сторонніх ресурсах.

Загалом система контролю знань є необхідним та невід'ємним компонентом дистанційного навчання морської англійської мови. Форми та засоби реалізації контролю не завжди відповідають основній меті – перевірці ступеня засвоєння конкретного матеріалу, що зумовлено недосконалістю самої системи контролю знань. Враховуючи зазначене, можна стверджувати, що оптимальною формою контролю знань є адаптивне тестування. З одного боку, його застосування дає змогу уникнути впливу на підсумкову оцінку суб'єктивних чинників, з іншого – використання адаптивних тестів максимально враховує індивідуально-психологічні особливості курсантів. Впровадження адаптивних тестів у систему контролю знань курсантів під час дистанційного навчання морської англійської мови дозволить максимально точно та об'єктивно визначити рівень їхніх знань, умінь та навичок.

Отже, контроль знань курсантів під час дистанційного навчання морської англійської мови потребує сучасних підходів та адаптації методів оцінювання, щоб відповідати умовам дистанційної освіти. У цьому контексті контроль знань є складним, але водночас важливим аспектом, який потребує впровадження новітніх технологій навчання. Викладачі мають адаптувати свої методи оцінювання і навчальні стратегії відповідно до вимог онлайн-середовища, забезпечуючи при цьому високу якість навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гунчак В. М., Ощипок І. М., Драч М. П., Томаневич Л. М. Дидактичні принципи контролю знань студентів. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. 2010. Вип. 2 (44). С. 172-177.
2. Кузнецова І. Контроль знань як необхідна складова навчального процесу. *Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах*. 2013. Вип. 4. С. 15-19.
3. Ромащенко І. Контроль знань, умінь та навичок студентів у вищому навчальному закладі як засіб управління процесом навчання. *Молодь і ринок*. 2012. Вип. 2 (85). С. 90-93.
4. Томіліна А. Основні проблеми контролю й оцінювання якості знань студентів. *Педагогіка вищої та середньої школи*. 2010. Вип. 30. С. 267-273.
5. Шидловська В., Мирончук Н. М. Контроль за навчально-пізнавальною діяльністю студентів та форми його здійснення. *Модернізація вищої освіти в Україні та за кордоном*. 2014. С. 165-168.

УДК 656.61.08

НАВІГАЦІЙНА БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА В ЗОНІ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Кульбацький А.А. к.т.н., старший викладач ННІН, **Просвірін Ю.В.** викладач ННІН,
Дубовик В.О. старший викладач ННІАЕ, **Іванов І.І.** курсант 1602 ННІН НУОМА

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Анотація. У статті розглядаються способи проводки суден в районі гідротехнічних споруди. Проблема є досить актуальною, оскільки не зважаючи на сучасний рівень розвитку водного транспорту, способів контролю місцезнаходження, відбуваються навали великогабаритних суден і складів на гідротехнічні споруди. Це викликає необхідність вживати заходи щодо забезпечення надійності судноплавства в районах.

У роботі була представлена процедура та етапи виявлення небезпек шляхом визначення точності місцеположення судна при проходженні гідротехнічних споруд.

У статті запропонована імплементація сучасних морських технологій, таких, як віртуальні засоби навігації та інформаційні технології реальності, які покращують моніторинг

за навколишньою навігаційною обстановкою, що сприяє зменшенню ризику виникнення аварійної ситуації.

Ключові слова: міст; судно; склад суден; аварія; безпека проводки суден.

Розглянути способи проводки суден. Результатами дослідження є розробка рекомендацій для зниження вірогідності можливої небезпеки та зменшення ризиків навалів суден.

Постановка задачі. Щорічно відбуваються навали великогабаритних суден і складів на гідротехнічні споруди, трапляються аварії, які спричиняють пошкодження та руйнування мостів і суден, а також людські жертви. Ця проблема є досить актуальною, коли у зв'язку з ростом габаритів суден та інтенсивності руху зростали наслідки такого пошкодження для флоту, гідротехнічних споруд, навколишнього середовища [1-6].

Мета дослідження – підвищення відповідної оцінки рівня безпеки при проведенні судна в районі гідротехнічних споруд, а також розробка рекомендацій для зменшення наслідків аварії.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для кількісної оцінки рівня безпеки при проведенні судна в стислих умовах зазвичай застосовується концепція контролю місцеположення судна при застосуванні метода проводки. Небезпека виникає при виході судна з безпечних водних меж.

Аналіз експлуатації і проводки великогабаритних суден і складів показує, що їх економічна ефективність знаходиться в тісному зв'язку з особливостями габаритів водних шляхів, серед яких слід виділити наявність обмежених умов плавання, обумовлених морфологією району і гідротехнічними спорудами, впливом гідрологічних і метеорологічних явищ, високою інтенсивністю руху і щільністю потоку. З точки зору забезпечення безпеки плавання суден і складів в акваторіях судно-пропускних гідротехнічних споруд є одними з найбільш складних ділянок водних шляхів. Напруженість роботи судноводія і складність управління судном на цих ділянках обумовлена необхідністю виконання значної кількості різних маневрів в умовах обмеженого шляху, при впливі перерахованих вище факторів.

Практика експлуатації суднопропускних гідротехнічних споруд показує, що в багатьох країнах світу відбувається досить велика кількість аварій в цих районах суднопропускних споруд і мостів, які викликані зростанням інтенсивності і швидкостей руху суден. Аварія, крім безпосереднього матеріального збитку, пов'язаного з пошкодженням або руйнуванням гідротехнічних споруд, тягне за собою величезні втрати, викликані обмеженнями для руху інших видів транспорту, загрозою забруднення навколишнього середовища, то питання запобігання аварій набувають все більшого значення. [1-6].

З метою підтримання безпечного судноплавства застосовують традиційні засоби, які включають засоби навігаційного обладнання (ЗНО) та судові й берегові технічні засоби судноводіння, а також стандартні робочі процедури та правила, розроблені для водних шляхів з урахуванням місцевих умов державними установами з безпеки плавання. Також для підвищення безпеки проводки суден включають сучасні системи управління рухом суден (СУДС) з використанням берегових радіолокаційних систем спостереження (БРЛС); спеціальне електронне обладнання, яке встановлене на прольотах мостів для покращення радіолокаційного зображення, та сучасні системи навігаційного позиціонування на основі судових приймачів супутників глобальної системи позиціонування (GPS), які використовують методи для підвищення точності місцезнаходження.

Контроль місцеположення при застосуванні «лоцманського метода» проводки судна виконується наступними засобами.

Виявлення бічного зміщення шляхом спостереження за світловими плавучими ЗНО неозброєним оком, зображено на рис. 1, що кут α , утворений двома лініями від місця судноводія до лінії позиції двох буїв та центральної лінії русла. Аналіз кута $\alpha_{\max}$ дозволяє оптимізувати розташування плавучих ЗНО [7].

$$\Delta Bm(\alpha) = D_{\min F} \tan(\alpha_{\max}) \quad (1)$$

$$\alpha_{\max} = 0.00176 \theta^2 + 0.008\theta + 2.221372 \quad (2)$$

$$\Theta = 2\arctan(B_{\text{buoy}}/2 D_{\min F}) \quad (3)$$

B_{buoy} – дистанція між буями

$D_{min\ F}$ – дистанція уздовж осі каналу між судном і лінією перед буями.

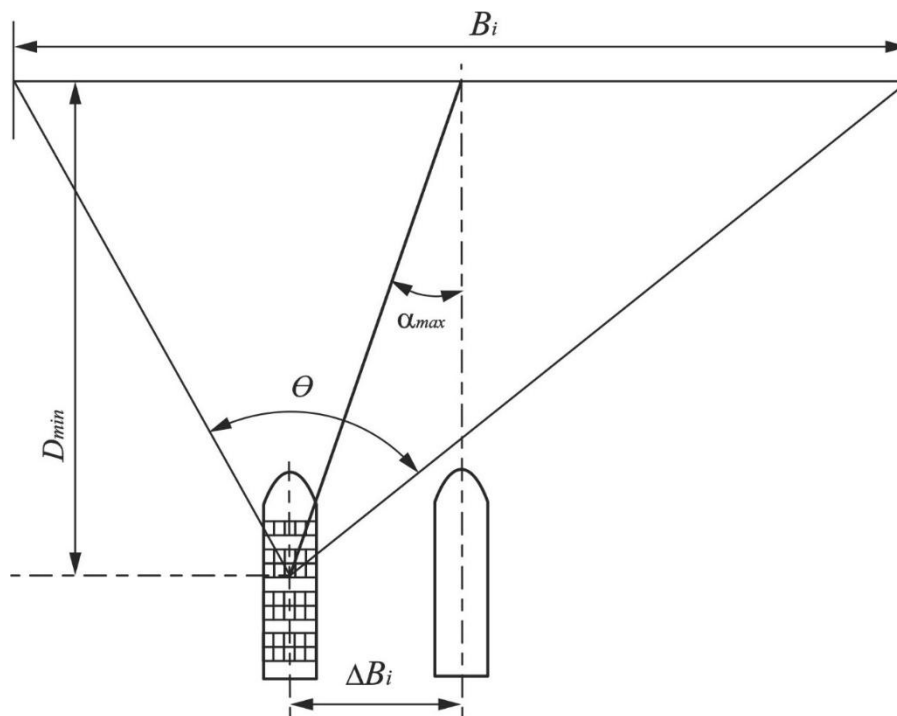


Рисунок 1 – Схема лімітуючих ділянок з плавучими ЗНО

Виявлення бічного зміщення шляхом спостереження плавучих ЗНО з радіолокаційними відбивачами за допомогою суднової РЛС, може бути розрахована наступним чином:

$$\Delta B_m(\text{рлс}) = B_{\text{buoy}} \sin \gamma / \sin \theta, \quad (4)$$

γ - похибка РЛС, ($\gamma = 1^\circ - 2^\circ$).

$$\Delta B_m(\text{рлс}) = 0.0349 B_{\text{buoy}} / \sin \theta, \quad \sin(\gamma; 2) = 0.0349 \quad (5)$$

$$\Delta B_m(\text{рлс}) = 0.0175 B_{\text{buoy}} / \sin \theta, \quad \sin(\gamma; 1) = 0.0175 \quad (6)$$

При маневруванні судна з використанням GPS судноводій може оцінити місцеположення судна по зображенню на електронній карті (ЕНК) враховуючи інформацію GPS враховуючи похибки сприйняття.

Що стосується виявлення дрейфу за допомогою GPS, передбачається, що зазначена вище помилка сприйняття становить половину ширини судна. Допустима похибка для помилки інформації GPS становить 30 метрів для стандартного GPS і відсутня для D-GPS.

Ширина полоси маневрування, необхідна для виявлення бічного зміщення при застосуванні GPS і D-GPS, може бути розрахована за наступними рівняннями, відповідно:

$$\Delta B_m(\text{GPS}) = 0.5 B_C + 30 \quad (\text{m}) \quad (7)$$

$$\Delta B_m(\text{D-GPS}) = 0.5 B_C \quad (\text{m}) \quad (8)$$

При маневруванні з використанням віртуальних ЗНО судноводій може розпізнати місцеположення судна по зображенню навігаційної інформації на електронній карті (ЕНК) застосовую інструментальні або лоцманські методи. Для виявлення відстані до лінії віртуальних ЗНО здійснюється шляхом сприйняття руху судна на дисплеї неозброєним оком, а також пропонується в роботі способом.

Значення D_{min} дистанції зближення з небезпеками в прогнозуємо крапці D на лінії перед небезпекою (плавучим ЗНО) розраховуємо як довжину чевіану AD (Рис. 2).

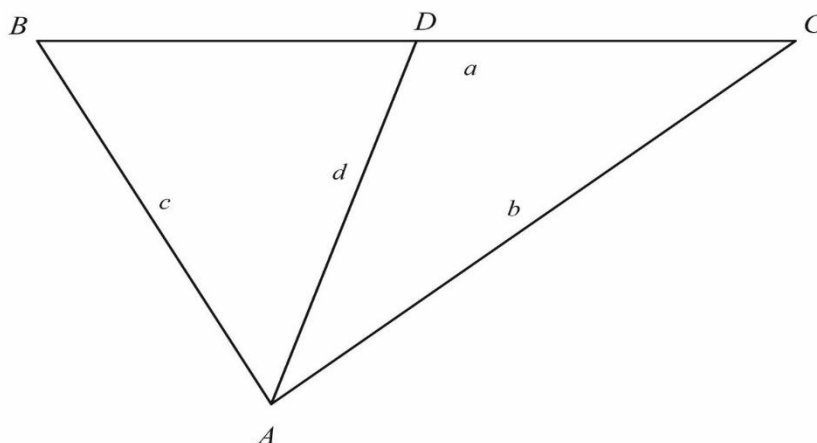


Рисунок 2 – Спосіб застосування віртуальних ЗНО

Формула, що зв'язує довжину чевіану AD , проведеної до основи трикутника BC (точніше, її квадрат), з довжинами відрізків BD ; DC , на які вона ділить підставу, і бічними сторонами AB ; AC :

Бічними сторони AB ; AC відповідно $D_{лб}$; $D_{пб}$ відстані до віртуальних ЗНО, дистанцією між ними $B_{вбуоу}$.

$$\begin{aligned} AD^2 &= AB^2 \times (DC/BC) + AC^2 \times (DB/BC) - DB \times DC, \\ AD &= (AB^2 \times (DC/BC) + AC^2 \times (DB/BC) - DB \times DC)^{(1/2)}, \\ D &= (D_{лб}^2 \times (DC/BC) + D_{пб}^2 \times (DB/BC) - DB \times DC)^{(1/2)}, \end{aligned} \quad (9)$$

При $DB = DC$, (5.1.1) приймає вид:

$$\begin{aligned} AD^2 &= 0,5AB^2 + 0,5AC^2 - DB^2, \\ AD^2 &= 0,5 D_{лб}^2 + 0,5 D_{пб}^2 - DB^2, \end{aligned} \quad (10)$$

Приведений вираз дозволяє покращити результат розрахунка до 7 відсотків від дистанції.

Оцінювання навігаційної обстановки зазвичай зводиться до аналізу поточного стану судна щодо рекомендованого шляху та небезпек у даний момент часу. Якщо судно знаходиться на рекомендованому шляху або його відхилення від деякої точки рекомендованого шляху менше допустимого значення, а мінімальна відстань до найближчої небезпеки більше допустимого, то обстановка вважається сприятливою. Рівнем «відсутність тривоги» будемо називати випадок, коли виникнення небезпеки малоімовірно при будь-якому типі руху на ділянці водного шляху.

Результати проведених порівнянь кількісної оцінки способів проводки суден в стислих умовах та причин аварійності, сучасних інформаційних систем показали, що підхід к застосуванню в комплексі сучасних можливостей РІС й автономних систем контролю місцеположення судна буде сприяти безпечній проводці судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Knott M.A. Vessel collision design codes and experience in the United States // Proceedings of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis, Copenhagen (Denmark), 10-13 May 1998. -Rotterdam (Brookfield): A.A. Balkema, 1998. - P. 75-84.)
2. Frandsen A.G. Accidents involving bridges. IABSE Colloquium. Copenhagen, 1983. -In book: Ship Collision with Bridges and Offshore Structures: IABSE report. Vol. 41. - Zurich, 1983. - P. 11-26.

3. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-avariynosti-za-2019.pdf>
4. EMSA. Annual overview of marine casualties and incidents 2015-2019. <http://www.emsa.europa.eu>
5. МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ НАКАЗ від 29.05.2006 N516 Зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 9.08.2006р. за N959/12833 Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами *Із змінами, внесеними згідно з Наказами Міністерства інфраструктури.*
6. Кульбацький А.А. к.т.н., старший викладач ННІН, Просвірнін Ю.В. викладач ННІН, Дубовик В.О. старший викладач ННІАЕ, Іванов І.І. курсант 1401 ННІН (НУ ОМА). АНАЛІЗ АВАРІЙНОСТІ СУДЕН ПІД МОСТАМИ //Науково-технічна конференція «Судноводіння, морські перевезення та технології (Морський та річковий транспорт)», 16.11.2023-17.11.2023. - Одеса: НУОМА 2023.-С.24-25.
7. IALA Guideline No. 1078 On The Use of Aids to Navigation in the Design of Fairways Edition 1 June 2011 – 42с.

Наукове видання

**СУДНОВОДІННЯ,
МОРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

NST-2025

19-20 листопада 2025 року

Редагування Сікірін В.Є.
Пашенко О.Л.

Верстка Сікірін В.Є.
Казак О.Р.

Підписано до друку 29.01.2026

Формат 60х84/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 17,73

Тираж 50 пр. Замовлення № И24-02-02

НУОМА, центр «Видавінформ»
65052, м. Одеса, Дідріхсона, 8, корп. 7
Свідоцтво ДК № 1292 від 20.03.2003
e-mail: publish@onma.edu.ua
Телефони: +38 (048) 793-24-50
 +38 (048) 793-24-51