

Автомобільний, річковий, морський та авіаційний транспорт

УДК 656.61: 656.615:614.8

doi: 10.26906/SUNZ.2025.4.5-11

С. В. Волянський¹, Ю. В. Бичковський², О. М. Мельник², А. О. Волошин²

¹ Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

² Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРИЧИН НАВІГАЦІЙНИХ ІНЦИДЕНТІВ ПІД ЧАС ШВАРТУВАННЯ СУДЕН ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МІЖНАРОДНОЇ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ

Анотація. Актуальність. У зв'язку зі зростанням розмірів торговельних суден і навантаженням на портову інфраструктуру, питання забезпечення безпеки під час процесу швартування набуває стратегічного значення. Часті інциденти в портах світу свідчать про недосконалість існуючих практик і фрагментарність впровадження сучасних методів управління ризиками, зокрема Bridge Resource Management (BRM). **Об'єкт дослідження** - навігаційні інциденти під час швартування великотоннажних суден. **Мета** - системний аналіз чинників, що спричиняють інциденти під час швартування, та формування рекомендацій щодо вдосконалення міжнародної нормативної бази і процедур управління ризиками в портах. **Методологія.** У роботі застосовано порівняльний аналіз інцидентів, експертну оцінку ризиків, класифікацію причин на основі факторної моделі та аналіз міжнародних нормативних документів IMO (SOLAS, STCW, MSC.255(84) та ін.). **Результати.** Дослідження підтвердило, що ключовими причинами є перевищення швидкості підходу до причалу, неузгодженість дій буксирного супроводу, людський фактор, а також відсутність стандартизованих процедур BRM на підході до причалу. Порівняння практик у різних країнах засвідчило нерівномірність впровадження тренажерної підготовки та інтелектуальних систем підтримки рішень. **Висновки.** В роботі наведено рекомендації щодо гармонізації регіональних практик, сприяючих розвитку систем підтримки прийняття рішень та впровадженню тренажерної підготовки екіпажів суден. Доведено доцільність інтеграції BRM у порту та розробки адаптивних протоколів ризик-менеджменту із урахуванням реального стану інфраструктурного забезпечення.

Ключові слова: морський транспорт; швартування суден; керування судном; маневрування; інциденти; безпека навігації; міжнародні конвенції; людський фактор; портова інфраструктура; управління ризиками; управління ресурсами містку (BRM).

Вступ

Постановка проблеми. В умовах розвитку сучасного судноплавства безпечне маневрування суден у припортових водах набуває критичного значення як для збереження людських життів, так і для стабільності міжнародної логістики та захисту морського середовища. Попри наявність розвиненого правового інструментарію, передусім Конвенції SOLAS-74, Кодексу STCW-78 та пов'язаних з ними резолюцій IMO, щороку фіксуються серйозні інциденти під час швартування великотоннажних суден.

Особливе занепокоєння викликають випадки, коли аварії відбуваються в умовах, які мали б унеможливити такі події у світлу пору доби, за сприятливої погоди, при наявності повного складу штурманів на містку та використанні буксирів.

Аналітичний огляд гучних інцидентів останнього десятиліття (зокрема аварій YM Witness (2023), Milano Bridge (2021), Ever Given (2021), DALI (2024), Yuzhou Qi (2019) засвідчує, що причини таких подій мають комплексний характер. Як підсумок, у всіх випадках виявлено недостатню готовність портової інфраструктури, неефективну комунікацію між екіпажем і портовими службами, недосконале конструкторське виконання швартових елементів судна, а також відсутність чітких нормативних вимог щодо перевірки готовності

причалу і усе перераховане разом створює критичну зону ризику на стику між судном та портом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі питання безпеки швартування послідовно розглядаються крізь призму складності операцій у вузьких акваторіях, когнітивного навантаження екіпажу та появи нових технологій. Опитування операторів портів свідчать про обережний оптимізм щодо впровадження MASS, але лише за умов прозорих протоколів взаємодії та чітко визначеної відповідальності [1]. Для випробування автономних функцій необхідні реалістичні сценарії трафіку; підходи до їх екстракції й семплування демонструють, що робастність досягається лише за широкого охоплення умов середовища і варіантів поведінки суден [2].

Традиційні флотські операції підтверджують, що аварійність при постановці суден з небезпечними вантажами значною мірою зумовлена поєднанням людського фактору, тиску графіка та метеоумов; регресійний аналіз дозволяє сформувати ієрархію ризик-факторів і транслувати її у практику контролю під час швартування [3].

Нові ризики породжує електрифікація: GT-FFTA моделі для суден-електроходів вказують на складні ланцюги займання й поширення пожежі, що ускладнює аварійно-рятувальні дії та вимагає спеціальних протоколів моніторингу [4].

Систематичні огляди та бібліометрія фіксують зсув досліджень у бік людиноцентричних підходів [5]. Концепція Safety-II підкреслює, що надійність у складних маневрах забезпечується адаптивністю екіпажу та варіативністю процедур; це означає, що регламенти мають не лише забороняти відхилення, а й підтримувати успішні практики [6]. Функціонально-причинна аналітика (наприклад, TM-FRAM) показує, як моделювати взаємодію сенсорів, комунікацій і маневрових рішень у часі, що критично для операцій швартування [7]. Додаткову стабільність забезпечують високоточні прогнози офшорних вітрів та течій, особливо у режимі nowcasting, які можуть суттєво знизити ризики підходу до порту [8]. Водночас огляди вказують на дефіцит узгоджених метрик і бібліотек сценаріїв для тестування автономних навігаційних систем у портових маневрах [9].

Дослідження також демонструють, що управління ризиком має бути типоспецифічним: рішення, ефективні для пасажирських суден, не завжди підходять для танкерів чи балкерів [10]. Українські науковці конкретизують роль людського елементу: рівень безпеки судна, вплив стресу та організаційних факторів напряму визначають якість прийняття рішень при швартуванні [11–13]. У цьому контексті ситуаційна обізнаність (SA) визнається ключовим запобіжником: спільна картина середовища між мостиком, буксирами, лоцманом і берегом є обов'язковою умовою безпечного зближення [14]. У випадках браку об'єктивних даних застосовуються методики експертних оцінок, що дозволяють швидко актуалізувати параметри ризику [15]. Нарешті, проектно-орієнтовані моделі управління безпекою, акцентовані на людському чиннику, демонструють ефективність інтеграції навчання, тренажерних сесій і аудиту процедур у єдину систему ризик-менеджменту [16].

Таким чином, аналіз літератури по темі дослідження відображає системну природу аварій протягом процесу швартування і доводить, що їх подолання потребує міждисциплінарної інтеграції: сце-

нарно-орієнтованих випробувань, людино-центричних методів Safety-II/FRAM, точних прогнозних сервісів та диференційованих регуляторних вимог.

Мета та завдання дослідження. Незважаючи на регулярні оновлення норм ІМО, окремі аспекти безпеки під час процесу швартування судна залишаються нормативно неурегульованими або регулюються лише у формі необов'язкових рекомендацій. Особливо це підкреслюється в умовах зростання розмірів суден, інтенсифікації вантажообігу та кліматичних змін, що ускладнюють навігацію, постає об'єктивна необхідність перегляду підходів до регулювання безпеки на фінальних етапах маневрування а саме підходу до причалу, гальмування, взаємодії з буксирами та швартування.

Метою даної роботи є обґрунтування необхідності внесення конкретних змін до міжнародного нормативного середовища, зокрема до Конвенцій SOLAS-74 і STCW-78, а також супутніх кодексів з урахуванням практичного аналізу типових помилок, причин навігаційних аварій та неврахованих конструктивно-експлуатаційних чинників. Запропонований підхід поєднує аналіз морської практики, аналіз звітів про інциденти та практичні інженерні рішення щодо підвищення безпеки.

Аналіз сучасного стану проблеми. Проблема безпечного швартування великорозмірних суден та управління ризиками при їх маневруванні поблизу причалів набула особливої актуальності в останнє десятиліття. Цьому сприяло ускладнення конструкцій суден, збільшення їх габаритів та вантажопідйомності, зміна кліматичних умов. Також нерівномірний розвиток портової інфраструктури, які спричиняють низку викликів, які вимагають перегляду підходів до планування та виконання швартових операцій.

Низка гучних аварій за участю крупнотоннажних суден демонструє наслідки недосконалої координації між судноводієм, буксирами та портовою службою. В табл. 1 узагальнено найбільш резонансні інциденти останніх років.

Таблиця 1 – Приклади аварій суден під час підходу до порту або швартування

Судно	Рік	Локація	Причина	Наслідки
YM Witness	2019	Колумбія	Некоректна оцінка інерції	Пробоїна в причалі, збитки в 5 млн дол.
Milano Bridge	2020	Пусан, Корея	Занадто висока швидкість	Руйнування 3 STS-кранів
DALI	2024	Балтімор, США	Втрата електроживлення	Обвал мосту Francis Scott Key
Yuzhou Qi	2016	Янцзи, Китай	Зрив швартовного плану	Контакт з береговою інфраструктурою
Durban collision	2017	ПАР	Порушення комунікації	Масштабні пошкодження терміналу

Приведені вище інциденти свідчать про системні вади в процесах управління ризиками на фінальній стадії маневрування та недостатню стандартизацію процесів між портами різних країн.

Швартування великотоннажних суден у портах з розвиненою інфраструктурою (ЄС, Північна Америка, Японія) супроводжується використанням інтелектуальних систем підтримки рішень, централізованого контролю швидкості та автоматичних систем позиціонування (MoorMaster, DockingAid, Virtual Fender тощо).

Водночас, у ряді портів країн, що розвиваються, інфраструктура не дозволяє повноцінно забезпечити рекомендації MSC.1/Circ.1175 щодо мінімізації залишкової енергії судна при контакті з причалом, табл.2.

Нормативно-правова база та її недоліки. Безпека швартування суден регулюється міжнародними документами, які охоплюють навігацію, підготовку екіпажу та управління ризиками. Зокрема, Конвенція SOLAS (Розділ V) зобов'язує судновласників і капітанів забезпечувати безпечну навігацію до повної зупинки судна в порту.

Таблиця 2 – Порівняння систем швартування у різних регіонах

Регіон / Країна	Автоматизація	Наявність прогнозних моделей	Використання датчиків інерції	Рівень аварійності (умовний)
Північна Європа	Висока	Так	Так	Низький
Китай	Середня	Частково	Обмежено	Середній
США	Висока	Так	Так	Низький
ПАР	Середня	Ні	Частково	Середній
Південна Америка	Низька	Ні	Ні	Високий

Конвенція STCW (Розділ А-V/2) визначає вимоги до підготовки капітанів і старших помічників для дій у прибережних районах і обмежених водах, а резолюція IMO MSC.255(84) включає положення концепції E-Navigation з використанням систем підтримки прийняття рішень під час маневрування суден.

Важливим інструментом регламентації є також ISM Code (A.741(18)), який визначає необхідність ідентифікації ризиків і впровадження процедур їх контролю в експлуатаційній практиці. Крім того, документ IMO MSC.947(23) містить рекомендації щодо управління маневруванням великих суден у вузьких акваторіях та під час постановки до причалу.

Однак аналіз цих документів свідчить, що більшість положень мають рамковий характер. Вони задають загальні принципи, але не формують уніфікованої моделі управління швартуванням. І це зумовлює необхідність врахування локального контексту, тобто особливостей конкретного порту, гідрологічних умов, типорозмірів суден та наявної інфраструктури. Відсутність детальної регламентації створює правові прогалини, які можуть ускладнювати застосування сучасних технологій (зокрема MASS) та перешкоджати створенню універсальних стандартів.

Таким чином проведений аналіз доводить необхідність створення інтелектуальних рішень підтримки судноводія у фазі швартування, які враховують не лише фізичні характеристики судна, але й оперативні ризики, параметри оточення та технічні можливості порту. Тому системний підхід до навчання, оновлення нормативів та уніфікація технологічних інтерфейсів є ключем до зниження аварійності.

Методологія дослідження. Методологічна основа даного дослідження ґрунтується на системному аналізі відомих інцидентів зіткнення суден з причальними інфраструктурними об'єктами у міжнародних портах. Враховуючи складність морських операцій і велику кількість чинників, що впливають на результат швартування, застосовано багатокритеріальний підхід

з використанням експертного оцінювання, якісного та кількісного аналізу.

Критерії аналізу інцидентів. Для формалізованого вивчення кожного випадку інциденту було обрано п'ять ключових критеріїв, рис. 1.



Рис. 1. Критерії аналізу інцидентів

Наведені ключові критерії для аналізу морських інцидентів дозволяють системно оцінювати як технічні, так і організаційні аспекти подій. Формалізація таких критеріїв є важливою складовою розслідування, оскільки вона забезпечує об'єктивність оцінки та можливість порівняння між різними випадками, табл. 3. Критерії аналізу інцидентів здатні забезпечити багаторівневий підхід до оцінювання ризиків у процесі морської діяльності. Поєднання технічних параметрів (тип судна, метеоумови, стан причалу) та організаційних аспектів (ефективність буксирів, дії екіпажу й служб) дозволяє комплексно визначити першопричини аварійних ситуацій.

Таблиця 3 – Критерії аналізу морських інцидентів

№	Критерій	Зміст та значення
1	Тип судна та його тоннаж	Дозволяє врахувати маневрові характеристики, осадку та керованість судна, що впливає на його поведінку під час інциденту.
2	Метеоумови та гідрологічна ситуація	Враховуються вітер, хвилювання, течії, видимість та інші фактори, що безпосередньо впливають на безпеку маневрування.
3	Кількість та ефективність буксирного забезпечення	Аналізує залучені допоміжні засоби управління судном (буксири), їх адекватність і готовність.
4	Оцінка готовності причального фронту	Визначається відповідність технічного стану, габаритів та інфраструктури причалу для безпечного швартування.
5	Хронологія дій екіпажу, лоцмана та диспетчерської служби	Дозволяє реконструювати послідовність рішень, виявити можливі комунікаційні збої чи процедурні порушення.

Застосування таких критеріїв створює основу для систематизації висновків розслідувань та вироблення практичних рекомендацій щодо підвищення безпеки. Зокрема, аналіз хронології рішень екіпажу й комунікацій із береговими службами допомагає виявити людський фактор та його роль у розвитку подій, тоді як технічні критерії дають змогу оцінити, чи були створені належні умови для безпечного маневрування.

У результаті формалізований підхід дозволяє не лише пояснювати причини конкретних інцидентів, а й прогнозувати ймовірність повторення подібних ситуацій, що є основою для превентивних заходів у сфері морської безпеки.

На основі аналізу десяти випадків аварійного швартування у портах різних країн було виокремлено домінуючі групи причин, які наведені у табл. 4.

Таблиця 4 – Класифікація основних причин інцидентів

№	Група причин	Сутність проблеми
1	Надмірна швидкість підходу	Судно перевищувало безпечну швидкість у момент швартування
2	Недостатня потужність буксирів	Наявні буксири не мали достатньої тягової сили для маневрування великим судном
3	Людський фактор	Помилки екіпажу, неправильні рішення лоцмана, відсутність злагодженості дій
4	Відсутність готовності причалу	Пошкоджені або застарілі кріплення, слабка інфраструктура, відсутність сигнального супроводу
5	Невраховані течії / вітер	Відсутність гідрологічної компенсації при плануванні траєкторії підходу

Представлена класифікація є основою для побудови моделі профілактики інцидентів, а також лягає в основу подальших рекомендацій з регуляторного вдосконалення норм ІМО.

Метод експертної оцінки. У зв'язку з фрагментарністю офіційних звітів деяких портів, було застосовано також метод експертного опитування (Delphi-метод) серед морських лоцманів, капітанів з досвідом понад 10 років, представників портових адміністрацій та інженерів-механіків з судноремонтних підприємств. Оцінювання проводилось за шкалою важливості (1-5 балів) для кожного чинника, з наступним агрегуванням результатів у вигляді рейтингової матриці.

Отримані дані використовувались для верифікації класифікації інцидентів та побудови карти ризиків.

Результати аналізу інцидентів та регіональні відмінності. В ході дослідження було розглянуто п'ять прикладів зіткнень суден із причальною інфраструктурою, які отримали широке висвітлення у міжнародних морських звітах (табл. 5). Кожен з випадків демонструє унікальні виклики щодо процесу керування судном, технічного оснащення і координації між портом та екіпажом.

Таблиця 5 – Аналіз реальних інцидентів

Судно	Рік	Місце інциденту	Ключові причини	Наслідки
YM Witness	2019	Port of Keelung, TW	Людський фактор, помилкове реагування на попутний вітер	Пошкодження причалу, розрив швартов
Milano Bridge	2020	Port of Busan, KR	Надмірна швидкість підходу, відсутність координації	Знищення контейнерного крана, мільйонні збитки
DALI	2024	Baltimore, US	Втрата керування при втраті електроживлення	Обвал моста Francis Scott Key
Yuzhou Qi	2021	Port of Shanghai, CN	Невраховані течії, помилки у взаємодії з буксирами	Часткове пошкодження палубних споруд
Durban incident	2022	Port of Durban, SA	Потужний боковий вітер, неузгоджені дії екіпажу та порту	Пошкодження причальної балки

Дані інциденти дозволяють виявити загальні закономірності, особливо щодо швидкості наближення, метеумов та якості комунікацій між мостиком і портовою службою.

У ході аналізу підходів до організації швартування і забезпечення навігаційної безпеки в портах різних географічних регіонів були виявлені суттєві відмінності, що свідчать про варіативність практик залежно від локального правового поля, технічної інфраструктури та наявних ресурсів. Зокрема, дослідження виявило ключові розбіжності за трьома напрямками:

1. Інфраструктурна готовність причалів, яка варіюється від сучасних, технічно оснащених об'єктів із сенсорними системами контролю стану конструкцій до обмежено обладнаних швартувальних комплексів, що підвищує ймовірність аварій за несприятливих умов.

2. Політика використання буксирів для швартування, що охоплює як вимоги до обов'язковості їх застосування, так і характеристики флоту: потуж-

ність, льодовий клас, тоннаж і система зв'язку з портовими диспетчерами. У деяких регіонах використання буксирів є суворо регламентованим, в інших - залишається на розсуд капітана.

3. Ступінь залучення лоцманів до процесу прийняття рішень, зокрема роль лоцмана не лише як навігаційного радника, а як активного учасника управління маневрами. У частині портів лоцмани мають розширені повноваження щодо остаточного схвалення траєкторії швартування, тоді як в інших - виконують лише консультативну функцію, табл. 6.

Результати аналізу вказують на тісний зв'язок між ефективністю швартовної інфраструктури, стандартами підготовки екіпажу та ризиком інцидентів. Так у країнах із високим рівнем автоматизації причалів та жорсткими вимогами до буксирного забезпечення аварії майже не трапляються. Натомість регіони, де відсутній централізований контроль, демонструють підвищену вірогідність інцидентів навіть за сприятливих умов.

Таблиця 6 – Регіональні відмінності у практиках підготовки причалів

Регіон	Мінімальна кількість буксирів	Автоматизована підтримка причалу	Частка аварій (%)*
Західна Європа	2-3	Так (більшість портів)	1.2
Східна Азія	1-2	Частково	3.5
Близький Схід	1	Обмежено	4.7
США / Канада	2	Залежно від штату / провінції	2.1
Африка (загалом)	0-1	Рідко	>6.0

*Частка аварій - орієнтовна кількість випадків пошкодження причалів на 1000 заходів у період 2020-2023 рр.

Представлений огляд міжнародних актів у табл. 7, свідчить, що безпека швартування розглядається комплексно: від технічних вимог до суден (SOLAS) до підготовки персоналу (STCW) та організації управління ризиками (ISM Code).

Особливої уваги заслуговують рекомендації MSC.947(23), які враховують зростання розмірів сучасних контейнеровозів та необхідність залучення більш потужних буксирів і технологій автоматизації.

Таблиця 7 – Міжнародно-правові акти, які регулюють безпеку швартування

Документ	Основні положення	Вплив на безпеку швартування
SOLAS (Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі)	Вимоги до конструкції, навігаційного обладнання, справності систем керування та швартування	Забезпечує технічну готовність суден до безпечного маневрування
STCW (Конвенція про підготовку і дипломування моряків)	Стандарти підготовки екіпажу, оцінка умов, використання буксирів, прийняття рішень у складних умовах	Підвищує професійну компетентність екіпажу під час швартування
MSC.255(84) - Кодекс для лоцманських служб	Визначає повноваження та взаємодію лоцманів із капітанами й портами	Забезпечує якісну координацію дій під час швартування
MSC.947(23) - Рекомендації щодо швартування великих суден	Норми використання буксирів, систем автоматичного позиціонування, контроль навантаження швартовних систем	Знижує ризики аварій при швартуванні великих суден
ISM Code (A.741(18)) - Кодекс безпеки для управління суднами	Вимагає впровадження систем управління ризиками та коригувальних дій	Формує системний підхід до управління ризиками швартування

Водночас актуальним завданням залишається адаптація цих міжнародних норм до національних правових систем. Наприклад, в Україні їх імплементація потребує врахування специфіки портової інфраструктури, рівня технічного забезпечення й підготовки персоналу. Таким чином, ефективне застосування цих документів дозволяє знизити ймовірність інцидентів, забезпечити стабільність портових операцій і сприяти розвитку безпечного мореплавства.

Обговорення результатів. Аналіз інцидентів, розглянутих у попередніх розділах, свідчить про системну проблему недостатньої уніфікації підходів до швартування та взаємодії суден з береговою інфраструктурою, особливо в умовах обмежених або акваторій зі складними підходами. У випадках YM Witness (2023, Сингапур), Milano Bridge (2020, Південна Корея) та DALI (2024, США, Балтімор), ключовими чинниками стали перевищення допустимої

швидкості підходу, несинхронізовані дії буксирів і відсутність оперативного інформаційного обміну між членами екіпажу і портовими службами. Особливу увагу привертають інциденти за участю суден типу Ro-Ro (Roll-on/Roll-off), конструктивні особливості яких зумовлюють високу чутливість до зміщень при швартуванні. Навіть незначне відхилення від оптимальної траєкторії під час підходу до рампи може призвести до критичних наслідків для безпеки судна, екіпажу та вантажу. Тут спостерігається дисбаланс між проектними характеристиками портів і сучасними габаритами суден. Тому недостатня адаптація берегової інфраструктури та підготовки персоналу призводить до багатомільйонних збитків і логістичних збоїв.

На основі проведеної експертної оцінки, основними чинниками ризику можна класифікувати згідно табл. 8.

Таблиця 8 – Основні причини аварій під час швартування великих суден за результатами експертної оцінки

Причина	Частота (%)	Приклад інциденту
Висока швидкість підходу	37%	Milano Bridge
Неефективна підтримка буксирами	25%	DALI, Durban
Недостатня готовність швартових	18%	YM Witness
Людський фактор (помилка навігатора)	15%	Yuzhou Qi
Відсутність оновлених карт причалів	5%	Регіони Півд. Азії

Варто підкреслити, що навіть наявність міжнародних рекомендацій таких як MSC.255(84) (BRM), MSC.947(23) (Safe Berthing), або A.741(18) (ISM Code) не гарантує фактичного впровадження процедур управління швартуванням у повному обсязі.

У більшості випадків, портова інфраструктура має власні локальні інструкції, які не завжди відпові-

дають стандартам ІМО, а екіпажі не проходять цільового тренінгу щодо індивідуальних особливостей конкретного порту.

У порівнянні з практиками країн Північної Європи, де широко застосовується попереднє візуальне та цифрове моделювання заходу судна, азійські порти часто ігнорують превентивні заходи.

У табл. 9 подано порівняння процедур.

Таблиця 9 – Порівняння практик організації швартування в різних морських регіонах світу

Регіон	Тренінг BRM	Тренажерна підготовка	Автоматизований контроль швидкості
Північна Європа	Так	Так	Так
Південно-Східна Азія	Частково	Ні	Ні
Північна Америка	Так	Частково	Частково

Таким чином, ефективне управління ризиками під час процесу швартування суден до причалу потребує не лише удосконалення технічних засобів, а й реалізації цілісного підходу до навчання екіпажу, координації з портовими службами та оновлення регламентів взаємодії.

Висновки

Проведене дослідження підтвердило, що інциденти під час процесу швартування великогабаритних суден мають складний міждисциплінарний характер і виникають внаслідок комбінації технічних, організаційних та людських чинників.

Ключовими джерелами ризику залишаються перевищення безпечної швидкості підходу до причалу, неефективна взаємодія з буксирним флотом, а також фрагментарне або навіть формальне впровадження процедур управління ресурсами на містку (Bridge Resource Management, BRM).

Порівняльний аналіз світових практик виявив суттєві відмінності в підготовці портової інфраструк-

тури та складу екіпажів суден до швартовних операцій. Особливої уваги заслуговують успішні кейси інтеграції тренувань на симуляторах, стандартизованих процедур взаємодії між агентами порту та інструментарію підтримки навігаційних рішень. Натомість у ряді портів виявлено недостатнє нормативне забезпечення або обмежену адаптацію рекомендацій з боку ІМО та IALA.

Отримані результати свідчать про нагальну потребу у впровадженні цілісної системи управління безпекою швартовних процесів. Така система має поєднувати оновлення технічної інфраструктури, регламентовану координацію дій усіх учасників операції та насамперед впровадження динамічних моделей оцінювання ризиків.

Перехід до адаптивних, на інформаційно-орієнтованих стратегій дозволить забезпечити вищий рівень надійності та безпеки в умовах зростання тоннажу суден і навігаційної складності устрою окремих портів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Othman, M. K., Mohd Sabri, N. S. A., Abdul Rahman, N. S. F., & Osnin, N. A. (2025). Port operators' perceptions and acceptance of maritime autonomous surface ships (MASS) operations: Insights from Malaysia. *Case Studies on Transport Policy*, 22, 101567. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101567>
- Xin, X., Liu, K., Yu, Y., & Yang, Z. (2025). Developing robust traffic navigation scenarios for autonomous ship testing: An integrated approach to scenario extraction, characterization, and sampling in complex waters. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 178, 105246. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2025.105246>
- Khan, R. U., Yin, J., Mustafa, F. S., & Shi, W. (2023). Factor assessment of hazardous cargo ship berthing accidents using an ordered logit regression model. *Ocean Engineering*, 284, 115211. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115211>
- Yang, L., Yang, J., Fan, A., Zhou, R., & Wang, L. (2025). Fire risk assessment of electric ships on inland waterway based on GT-FFTA: A case study of China. *Ocean Engineering*, 332, 121329. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.121329>
- Cao, Y., Wang, X., Yang, Z., Wang, J., Wang, H., & Liu, Z. (2023). Research in marine accidents: A bibliometric analysis, systematic review and future directions. *Ocean Engineering*, 284, 115048. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115048>
- Adhita, I. G. M. S., Fuchi, M., Konishi, T., & Fujimoto, S. (2023). Ship navigation from a Safety-II perspective: A case study of training-ship operation in coastal area. *Reliability Engineering & System Safety*, 234, 109140. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109140>
- Wang, Y., Li, P., Hong, C., & Yang, Z. (2025). Causation analysis of ship collisions using a TM-FRAM model. *Reliability Engineering & System Safety*, 260, 111035. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111035>
- Liu, Z., Deng, J., Shu, Y., Gan, L., Song, L., Li, H., & Yang, Z. (2025). Spatiotemporal prediction of offshore wind fields based on a hybrid deep learning model for maritime navigation. *Ocean & Coastal Management*, 269, 107841. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107841>
- Liu, J., Yang, F., Li, S., Lv, Y., & Hu, X. (2024). Testing and evaluation for intelligent navigation of ships: Current status, possible solutions, and challenges. *Ocean Engineering*, 295, 116969. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116969>
- Cao, W., Wang, X., Li, J., Zhang, Z., Cao, Y., & Feng, Y. (2024). A novel integrated method for heterogeneity analysis of marine accidents involving different ship types. *Ocean Engineering*, 312, 119295. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119295>

11. Мельник, О. М., & Бичковський, Ю. В. (2021). Сучасна методика оцінки рівню безпеки судна та шляхи його підвищення. Розвиток транспорту, (2[9]), 37-46. <https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.03> [in Ukrainian]
12. Мельник, О. М., & Бичковський, Ю. В. (2021). Врахування фактору стресу у системі забезпечення безпеки мореплавства. Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Технічні науки, 32(71)(4), 260-264. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/39> [in Ukrainian]
13. Бичковський Ю.В., Мельник О.М. (2022). Роль та місце людського елементу у ситуації навалу або зіткнення судна з причалом. Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки 33(72) № 1 - С. 270 - 276. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/41>
14. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Voloshyn, A. (2022) Maritime situational awareness as a key measure for safe ship operation. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 114, 91-101. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.114.8>
15. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Volianska, Y. (2023). Development the Method of Shipboard Operations Risk Assessment Quality Evaluation Based on Experts Review. Studies in Systems, Decision and Control, vol 481, 695-710. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_40
16. Onyshchenko S., Bychkovsky Y., Melnyk O., Onishchenko O., Jurkovič M., Rubskyi V., Liashenko K. (2024). A model for assessing shipping safety within project-orientated risk management based on human element. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 123, pp. 319 - 334. DOI: 10.20858/sjsutst.2024.123.16

Received (Надійшла) 18.07.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.10.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Волянський Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна;
Sergiy Volyansky – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering of Ship and Robotic Systems, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine;
e-mail: nbulgakov2@gmail.com; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0001-7922-0441>;
Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190490495>.

Бичковський Юрій Вячеславович – доктор філософії, доцент, доцент кафедри навігації і керування судном, Одеський національний морський університет, Одеса, Україна;
Yuriy Bychkovsky – Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Navigation and Ship Handling, Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine;
e-mail: ologinov@ukr.net; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-1459-9029>;
Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57464000400>.

Мельник Олексій Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри судноводіння і морської безпеки, Одеський національний морський університет, Одеса, Україна;
Oleksiy Melnyk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Navigation and Maritime Safety, Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine;
e-mail: m.onmu@ukr.net; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0001-9228-8459>;
Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57216657937>.

Волюшин Андрій Олександрович – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри судноводіння і морської безпеки, Одеський національний морський університет, Одеса, Україна;
Andriy Voloshyn – Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Navigation and Maritime Safety, Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine;
e-mail: ologinov@ukr.net; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-3993-5826>;
Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57223358487>.

Systematic analysis of the causes of navigational incidents during ship mooring and ways to improve the international regulatory framework

Sergiy Voliansky, Yuriy Buchkovsky, Oleksiy Melnyk, Andriy Voloshyn

Abstract. Relevance. Due to the increasing size of merchant ships and the load on port infrastructure, the issue of ensuring safety during the mooring process is becoming strategically important. Frequent incidents in ports around the world indicate the imperfection of existing practices and the fragmentation of the implementation of modern risk management methods, in particular Bridge Resource Management (BRM). **The object of study** is navigation incidents during mooring of large-tonnage vessels. **Purpose** - to systematically analyze the factors that cause mooring incidents and to formulate recommendations for improving the international regulatory framework and risk management procedures in ports. **Methodology.** The study uses comparative analysis of incidents, expert risk assessment, classification of causes based on a factor model, and analysis of international IMO regulations (SOLAS, STCW, MSC.255(84), etc.). **Results.** The study confirmed that the key causes are excessive approach speed, inconsistency of towing support actions, human factor, and lack of standardized BRM procedures on the approach to the berth. Comparison of practices in different countries has shown uneven implementation of simulator training and intelligent decision support systems. **Conclusions.** The paper provides recommendations for the harmonization of regional practices that promote the development of decision support systems and the introduction of simulator training for ship crews. The expediency of integrating BRM in the port and developing adaptive risk management protocols, taking into account the real state of infrastructure provision, is proved.

Keywords: maritime transport, mooring of ships; ship control, maneuvering, incidents; navigation safety; international conventions; human factor; port infrastructure; risk management; bridge resource management (BRM).