

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF NEW RISK FACTORS IN THE SHIPPING INDUSTRY

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА НОВИХ ФАКТОРІВ РИЗИКУ В СУЧАСНОМУ МОРСЬКОМУ СУДНОПЛАВСТВІ

O. Sagaydak, Senior Lecturer, **O. Melnyk**, D.Sc., Associate Professor

О. Сагайдак, ст. викладач, **О. Мельник**, д.т.н., доцент,

Odesa National Maritime University, Ukraine

Одеський національний морський університет, Україна

ABSTRACT

This article reviews the modern challenges and associated risks arising in maritime shipping in the context of intensive technological development, such as the growth of ship sizes and the introduction of artificial intelligence. The main risk factors are classified into four groups: technical, technological, environmental and human. A comprehensive approach to risk management is proposed, including the use of FMEA, TOPSIS, scenario analysis and statistical methods. A risk management algorithm, tables of probability and consequence assessments are developed, as well as recommended measures to minimize their impact. Special attention is paid to the use of alternative methods such as fuzzy logic for working with uncertain risks.

Keywords: shipping, risk management, technical risks, environmental factors, human factors, scenario analysis, ship safety, maritime innovations, artificial intelligence, autonomous ships, accidents at sea, risk minimization.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями, аналіз сучасних публікацій

В умовах глобалізації та збільшення морських перевезень актуальність управління ризиками в судноплаванні стає дедалі важливішою. Сучасні морські транспортні системи стикаються з безліччю викликів, включно з технологічним прогресом, зміною клімату, суворішими регульовальними вимогами і кібербезпекою. Впродовж останніх декількох років світове судноплавання зазнало багатьох змін – збільшилися розміри та місткість суден, зросли швидкості, з'явилися автономні судна, нові види пального та нові види двигунів, почав використовуватися на суднах штучний інтелект. Нові технології, що з'явилися, несуть із собою не тільки нові можливості, але й нові ризики, що поки що недостатньо вивчені. Штурманський склад судна під час розробки плану чергового рейсу, повинен проводити оцінку ризиків та управління ними. Між тим, деякі з існуючих ризиків зазнали змін, інші – ще невідомі морській та науковій спільноті.

Аналіз нових факторів ризику є невід'ємним інструментом для підвищення безпеки мореплавання. Це особливо актуально у світлі впровадження автоматизованих систем управління, цифровізації навігації та зміни структури вантажопотоків. Оцінка цих ризиків дає змогу прогнозувати можливі загрози та знижувати наслідки аварійних ситуацій.

Мета дослідження - виявлення нових факторів ризику, що впливають на безпеку судноплавання, а також розробка підходів до їхньої оцінки та управління на основі сучасних методологій.

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

Сучасні дослідження в галузі управління ризиками в морському суднопластві демонструють різноманітність підходів і протиставлення різних методів аналізу. Наприклад, аналіз аварійних ситуацій, таких як зіткнення, посадки на мілину і пошкодження корпусів, демонструє необхідність статистичних методів та історичного аналізу [1, 23, 24]. Водночас використання нових матеріалів, як-от літій-іонні батареї, порушує питання пожежної безпеки та потребує технічних рішень [2-4].

Порівняння традиційних та альтернативних видів палива показує екологічні та економічні переваги останніх, але водночас виявляє технологічні виклики [5, 6]. Це ставить перед морською галуззю завдання переходу на більш стійкі енергетичні системи.

Впровадження автоматизації та автономних суден порушує питання відмов систем управління та навігації, вимагаючи як технічних, так і організаційних рішень [7, 10-13]. При цьому дослідження показують, що людський фактор залишається значущим джерелом ризиків, навіть незважаючи на зростання рівня автоматизації [14, 30, 34]. Кіберзагрози являють собою окремих напрям в управлінні ризиками, що вимагає розроблення комплексних систем захисту [8, 9, 40]. Навпаки, юридичні та регуляторні аспекти створюють нормативну основу для мінімізації таких ризиків [16, 18-20]. Екологічні загрози, такі як зміна клімату, змушують переглядати наявні морські маршрути та розвивати стійку інфраструктуру [17, 26, 27]. Це протиставляється економічним реаліям, що вимагають мінімізації витрат [21, 29, 37].

Методи управління ризиками, такі як математичне моделювання та системний аналіз, посідають центральне місце в сучасних дослідженнях, пропонуючи точніші інструменти для оцінювання та мінімізації ризиків [12, 28, 32, 39]. Як альтернативу пропонуються евристичні та експертні підходи для швидкого прийняття рішень в умовах невизначеності [31, 33, 35]. Питання навчання та підготовки морських фахівців стають важливими в умовах впровадження автоматизації та дистанційного керування суднами. Деякі дослідження показують необхідність адаптації програм навчання до нових умов [35, 36]. Це протиставляється традиційним підходам, які потребують значних реформ для відповідності сучасним викликам.

Сучасні дослідження демонструють, що глобальні ризики, такі як зміни клімату та міжнародні конфлікти, мають прямий вплив на безпеку морських операцій [37, 38]. Такі загрози вимагають нових підходів до управління ризиками на міжнародному рівні. Методи формальної оцінки безпеки, запропоновані в міжнародних рекомендаціях, створюють основу для системного аналізу ризиків [38]. Ці підходи доповнюються дослідженнями в галузі управління судноплаством, швартування і логістики [39].

Технічні аспекти управління суднами в умовах підвищених ризиків розглядаються в дослідженнях, пов'язаних з інтеграцією систем управління та оцінки навігаційних ризиків [40, 41]. Нові алгоритми, спрямовані на мінімізацію ризиків в умовах невизначеності, створюють основу для майбутніх розробок [42, 43]. Особливу увагу приділяють інтеграції методів кібербезпеки в судові системи, що забезпечує захист від кібератак і збоїв устаткування [44]. Дослідження в цій галузі протиставляють традиційні методи захисту новим інтегрованим системам, що забезпечують високий рівень безпеки.

Аналіз літературних джерел показує, що управління ризиками в морському суднопластві вимагає комплексного підходу, який охоплює ключові аспекти, як технічні інновації, нормативне регулювання, кібербезпека і підготовка персоналу. Традиційні методи оцінки ризиків послідовно поступаються місцем інтегрованим системам управління, які включають математичне моделювання, статистичні оцінки та експертні оцінки.

Незважаючи на значні досягнення, наявні дослідження наголошують на необхідності розроблення більш адаптивних систем управління, здатних враховувати мінливі глобальні загрози, як-от зміна клімату, збройні конфлікти, кіберзагрози та технологічні збої. Поточні дослідження недостатньо розкривають питання саме міждисциплінарного підходу, який об'єднує інженерні, юридичні, соціальні та екологічні аспекти.

Тому виходячи з виявлених прогалин у літературі, є доцільним проведення дослідження, спрямованого на розроблення комплексних підходів управління ризиками в судноплаванні для забезпечення високого ступеня безпеки, стійкості та ефективності операцій у галузі, створюючи підґрунтя для подальших наукових і практичних досліджень.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Сучасне морське судноплавання стикається з різними факторами ризику, які впливають на безпеку судових операцій. Технічні несправності, технологічні збої, екологічні загрози та людські помилки становлять серйозні виклики для судновласників, операторів і міжнародних організацій тому ефективне управління ризиками стає важливим інструментом мінімізації збитків і запобігання аваріям.

Дане дослідження спрямоване на виявлення нових факторів ризику, що впливають на безпеку морських перевезень, та оцінку їх впливу на операції судна. Для досягнення цієї мети було використано багаторівневий підхід з інтеграцією різних методів аналізу.

Так, для оцінки впливу ключових факторів ризику використовувалися такі методи:

- експертні оцінки, такі як аналіз думок фахівців в галузі морського транспорту, технічних експертів та судновласників для визначення найбільш критичних ризиків;
- статистичний аналіз та оцінка морських інцидентів на морі за останні роки для виявлення повторюваних шаблонів і загроз;
- сценарний аналіз і методи FMEA/TOPSIS що дозволяє визначити ймовірні аварійні ситуації та проводити оцінку ризиків на основі методів багатокритеріальної оптимізації.

При використанні цих методів було розроблено алгоритм управління ризиками, який враховує можливі інциденти та пропонує відповідні стратегії запобігання.

Класифікація та опис факторів ризику. У результаті проведеного аналізу були виділені основні категорії факторів ризику, що впливають на безпеку морських операцій. Вони згруповані за чотирма основними категоріями: технічні, технологічні, екологічні та людські фактори (табл.1).

Таблиця 1 – Класифікація факторів ризику

Категорія ризику	Фактор ризику	Можливі наслідки
Технічні ризики	Відмова судових навігаційних систем	Втрата контролю над керуванням та контролем за рухом судна
	Відмова механізмів і силових установок	Аварійні ситуації на судні
	Кібератаки на судові системи	Втрата повного контролю над судном та його системами
Технологічні ризики	Автоматизація і автономні судна	Відмова систем та збої в програмному забезпеченні
	Старіння використаних технологій	Необхідність постійної модернізації
Екологічні ризики	Зміна клімату	Збільшення аварій через екстремальні погодні явища
	Забруднення морського середовища	Загроза екосистемам через забруднення з суден
Людський фактор	Помилки екіпажу	Аварії через людські помилки
	Недостатня підготовка персоналу	Неправильні дії через відсутність кваліфікації

Такий підхід також дозволяє створювати систематизовані моделі управління ризиками, які допомагають оцінювати, контролювати та мінімізувати вплив ключових факторів на безпеку морських операцій.

Технічні фактори. Розвиток сучасних технологій призвів до суттєвого зменшення впливу технічних факторів ризику на безпеку судноплавства. Механізми, що контролюються електронними засобами, можуть працювати без відмови набагато довше, а навіть якщо і виникає ризик відмови – електронні засоби можуть вчасно попередити про виникнення ризику небезпеки, що надасть змогу вирішити проблему до реалізації ризику.

Однак, з іншого боку, сучасні технології дали змогу будувати судна набагато більших розмірів, аніж ті, що коли-небудь існували. Згідно [1] статистичний аналіз за період 1990-2020 років говорить про те, що крупнотонажні судна рідше потрапляють у аварії та інциденти з технічних причин (зокрема, такі як зіткнення, посадка на мілину, порушення цілісності корпусу) – у межах максимум 1-1,5%. Деякі типи аварій з суднами такого типу у статистиці взагалі відсутні. З іншого боку, відомо про аварії пов'язані з втратою керованості над такими суднами, як Evergiven та Deli, у яких розміри суден були не останнім чинником. Саме тому технічні фактори ризику все ж таки збільшуються, завдяки збільшенню можливих втрат у випадку аварії судна-гіганта.

Крім того, новітні технології побудови суден дають змогу використовувати нові матеріали (наприклад, композити) та технічні засоби (такі як електричні батареї), властивості яких ще достеменно не вивчені, що створює нові суто технічні ризики.

Ще не зафіксовано статистики аварій внаслідок використання композитних матеріалів, хоча вже деякі автори [2] висловлюють сумніви щодо їхньої здатності витримувати високі температури внаслідок пожежі, що неодмінно приведе до руйнування певних конструкцій. Додатково вже зафіксовано декілька доповідей про інциденти безпеки, пов'язані з використанням електричних батарей, як джерела енергії руху на суднах [3, 4].

Намагання судновласників здешевшити будівельну вартість судна призводить до використання існуючих матеріалів на межі їхньої витривалості. Це стало можливим завдяки, знову ж таки використанню сучасних технологій прорахунку проектів суден. Звертаючись знову до [1], ми можемо зауважити, що згідно статистичного аналізу найбільша кількість аварій з технічних причин стається не зі старими суднами, а з суднами середнього віку (53-65%). Відповідно, це якраз і є результатами використання матеріалів на межі їхньої витривалості коли межа вже підійшла, а більш старі судна ще поки що експлуатуються.

Крім того, необхідно враховувати і те, що первинний власник навряд чи продасть судно на металобрухт одразу ж після закінчення гарантійного строку його експлуатації – вірогідніше судно буде продано на вторинному ринку і продовжить своє існування, хоча технічні ризики відмови механізмів або порушення водостійкості корпусу суттєво зростають.

Стосовно нових, альтернативних видів палива – також є певні виклики щодо їхнього використання [5, 6], у тому числі безпекові: можливість корозії, вибуху, забруднення середовища під час утилізації.

Іншою потенційною проблемою може бути загроза помилки комп'ютерної програми, що використовується на судні [7], або свідомої хакерської атаки. Згідно видання Lloyds List за три роки ризик свідомої хакерської атаки на морські транспортні судна зріс на 900% [8]. Згідно [9], більше 1000 суден постраждали внаслідок хакерської атаки на офіс класифікаційного товариства DNV у Осло. Атака безпосередньо на судна більше ніж вірогідна і може мати катастрофічні наслідки для судового обладнання та судна в цілому.

Таким чином, можемо констатувати, що поряд зі звичайними технічними ризиками (такими як, наприклад, відмова механізму), з'являються нові: ризик застосування матеріалів з не достатньо вивченими характеристиками, ризик застосування нових або маловивчених видів палива (що можуть призвести до відмови механізмів), ризик збою комп'ютерної програми, ризик хакерської атаки, ризик невірної рішення, прийнятого з допомогою штучного інтелекту, ризик відмови механізму або порушення водостійкості корпусу судна після закінчення гарантійного строку його експлуатації.

Технологічні фактори. Наслідками чергової технологічної революції є поява абсолютно нових типів суден, що можуть експлуатуватися без безпосередньої участі людини (безекіпажні судна). Технологія керування такими суднами знаходиться на початковому рівні, їхня взаємодія зі звичайними суднами взагалі мало врегульована. Тому виникає ще два нових ризики: ризик помилки при розробці технології керування безекіпажними суднами та ризик небезпечної взаємодії такого судна зі звичайним судном.

Дослідження безекіпажних суден переважно зосереджуються на їх перевагах, пов'язаних зі зниженням впливу людського фактору на навігаційні процеси. Водночас, у наукових працях визнається ймовірність виникнення непередбачуваних ситуацій, обумовлених можливими технічними несправностями [10]. Варто також враховувати, що на сучасному етапі експлуатації безекіпажних суден керування ними все ще здійснюється людьми, які можуть відчувати втому або припускатися помилок.

Оскільки ще немає реальної статистики про інциденти з безекіпажними суднами, деякі дослідники оперують існуючою статистикою суден, керованих людьми, екстраполюючи її на майбутнє. Результати такого аналізу дають доволі ясну картину зменшення відсотку постраждалих людей, висвітлюючи ті типи та розміри суден, що будуть роботизовані у першу чергу. Хоча специфіки можливих загроз, пов'язаних саме з технологіями дистанційного керування, побачити поки що важко [11]. Деякі дослідники [12], зосереджуються на оцінці ризиків автономних суден за допомогою теорії катастроф. Результати дослідження (що включає експеримент) говорять про те, що нові ризики будуть мати місце і їх потрібно враховувати.

Таким чином, не треба розцінювати автономні судна, як абсолютно безпечні, особливо під час їхньої взаємодії з конвенційними суднами. Непорозуміння безперечно будуть мати місце, на що вже звертають увагу дослідники автономних морських систем [13].

На сучасних конвенційних суднах активно впроваджуються новітні технології, які можуть бути недостатньо вивченими або слабо адаптованими до експлуатації операторами-людьми, що інтегровані в загальну систему управління судном [14]. Потенційні ризики, пов'язані з використанням технологій, які ще не пройшли повного циклу випробувань, слід розглядати як важливий фактор, що впливає на безпеку та ефективність судноплавних операцій.

Значна частка використання штучного інтелекту (ШІ) у системах управління суднами стрімко зростає. Однак, впровадження цих технологій супроводжується певними викликами, зокрема необхідністю забезпечення якісного навчання ШІ та вибору моделі, найбільш ефективною та безпечною для конкретних умов експлуатації. У недалекому майбутньому може виникнути новий ризик — «фактор ШІ», ознаки якого вже відображаються у світових морських медіа [15].

До технологічних ризиків також слід віднести застарілість міжнародних регуляторних інструментів, таких як Конвенція СОЛАС, МПЗЗС та інші нормативно-правові акти, згадані в [16]. Окремі їхні положення вже не відповідають сучасним викликам, а регулювання автономних суден залишається частково невизначеним. Це створює ризик неправильного трактування норм або прийняття помилкових рішень в умовах невизначеності, що може суттєво вплинути на безпеку судноплавства.

Екологічні фактори. Індустрія морських перевезень і досі надчутлива до погодних умов. Глобальні кліматичні зміни, що спостерігаються останні десятиріччя, безумовно впливають на судноплавство в цілому і на кожне судно зокрема. Глобальне потепління збільшує кількість катастрофічних природних явищ, таких як тропічні циклони та шторми. З іншого боку, глобальне потепління вже призвело до танення полярного льоду та появи вільної від нього води у північних регіонах. Але це призводить не тільки до збільшення судноплавства у цих регіонах, а й до збільшення ризиків забруднення арктичного морського середовища, яке є надчутливим до таких викликів [17]. Таким чином, можна визнати збільшення небезпек від тропічних штормів та небезпек, пов'язаних з льодовим плаванням.

Кліматичні зміни не є тільки одним глобальним чинником, що впливає на світове судноплавство: останніми роками на нього суттєво впливає геополітична ситуація – поява нестабільних регіонів у Чорному та Червоному морях. Атаки цивільних суден з боку регулярних військових формувань росії [18] та Йємену [19] зробило воєнні ризики знову актуальними. Масштабні військово-морські тренування Китаю в районі Тайваню також несуть певні ризики, хоча і менші.

Тим часом, кількість атак піратів загалом в усьому світі має тенденцію до зменшення, хоча піратство продовжує залишатися на порядку денному. Тому відкидати або зменшувати увагу до ризиків захоплення суден та їхніх екіпажів, або їхнього пограбування, було б невірним, тим більше що можливі негативні наслідки залишаються високими [20].

До зовнішніх факторів можна віднести і пов'язані зі світовою нестабільністю та новими технологіями фінансові ризики. Зокрема світова політика декарбонізації, необхідність позбавлятися старих малоефективних суден та виклики, що походять від запровадження технологій блокчейну та штучного інтелекту, несуть певні фінансові ризики. Також, так званий «сірий флот», що використовується підсанкційними країнами задля обходу санкцій, може бути суттєвим ризиком для світового судноплавства, бо за деякими джерелами сягає вже 18% від загальносвітового [21].

І ще треба звернути увагу на ризик чергової світової пандемії, який досі існує. Цей ризик не є нульовим, а це означає можливість повторення усіх заходів безпеки, що зовсім зупинили круїзний флот та нанесли велику шкоду торгівельному [22].

Людський фактор. З появою нових технологій, нових типів суден та збільшенням їхніх розмірів і швидкостей, суттєво змінився і вплив людського фактору. Зросла ціна людської помилки – хоча вірогідність помилки зменшилася (завдяки додатковому контролю з боку комп'ютерних систем), але можливі втрати у разі реалізації небезпеки зросли у десятки разів. Типовий приклад такої аварії – катастрофа круїзного судна «Costa Concordia» [23], контейнеровоза «Evergiven» [24]. Ланцюжок людських помилок, що цілком підтвердив теорію швейцарського сиру, призвів до гігантських втрат.

Нові технології потребують додаткового навчання членів екіпажу – це використання нових видів палива, систем очищення баластної води і вихлопних газів, нових технологій керування судном та нових пропульсивних систем [25, 26, 27, 28]. Притому відсутність достатнього досвіду використання згаданих технологій несе збільшення вірогідності людської помилки. Однак треба зауважити, що є і інша точка зору, згідно якої необхідність проходження багатьох нових тренувальних та навчальних програм може бути скомпенсоване появою нових технологій навчання, таких як дистанційне навчання, віртуальні навчальні системи, та інше, хоча багато що залежить від провайдера тренувань, замовника, та географічного регіону [29].

Треба зауважити, що людський фактор впливає навіть на новий тип суден – безекіпажні судна. У будь-якому разі, на сучасному етапі розвитку роботизованих технологій такими суднами повинен керувати оператор, підготовка якого також має певні складнощі і певно має починатися з морської освіти палубного офіцера [30]. Але, навіть добре підготовлений оператор може припуститися помилки, тим більше, що робота таких операторів ще достатньо не вивчена [31, 32, 33]. Більше того, наразі немає і сталих методик підготовки таких операторів – різні автори пропонують різні варіанти [34, 35].

Ще один аспект, пов'язаний з людським фактором – нестача моряків у всьому світовому флоті, особливо це стосується офіцерів. З цим пов'язана об'єктивне зниження рівня кваліфікації кадрів, що приходять у галузь [36, 37].

Підсумовуючи сучасний вплив людського фактору, можна сказати, що наразі існують декілька нових ризиків, пов'язаних з людським фактором: ризик помилки внаслідок застосування нових, незнайомих технологій, ризик помилки внаслідок недостатньої підготовки, ризик помилки оператора безекіпажного судна, та збільшення ризиків за рахунок збільшення ціни самих суден, та пов'язаного з цим рівня можливих збитків.

Оцінка нових факторів ризику. Для системного оцінювання факторів ризику в морському судноплавстві використовуються комбіновані підходи, що забезпечують всебічний

аналіз потенційних загроз. Основними методами оцінки стали багатокритеріальні методи FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), а також сценарний аналіз і статистичні методи. Ці підходи дають змогу не тільки виявляти ключові фактори ризику, а й розробляти стратегії їх мінімізації.

Метод FMEA (Аналіз видів і наслідків відмов) використовується для ідентифікації потенційних відмов у суднових системах та оцінки їхнього впливу на безпеку. Цей підхід передбачає аналіз імовірності виникнення відмови, оцінку її наслідків для судна та екіпажу, а також складність виявлення проблеми на ранніх стадіях. Завдяки цьому методу можна запобігти критичним ситуаціям та підвищити загальну безпеку морських операцій.

Метод TOPSIS (Метод упорядкування за подібністю до ідеального рішення) використовується для визначення пріоритетності ризиків. Він базується на порівнянні ключових факторів із ідеальним рішенням, яке характеризується мінімальним рівнем ризику. Додатково визначається відстань до «антиідеального» рішення, що відображає максимальний рівень ризику. Підсумкова оцінка інтегральних показників ризику дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення для мінімізації небезпеки.

Сценарний аналіз дозволяє моделювати різні аварійні ситуації, включаючи відмови навігаційних систем, зіткнення суден, кібератаки та екологічні катастрофи. Цей метод базується на реальних морських інцидентах, що дозволяє створювати детальні сценарії розвитку подій, прогнозувати можливі наслідки для судна та довкілля, а також розробляти стратегії зниження ризиків.

Статистичний аналіз морських інцидентів за останні роки допомагає виявити закономірності та визначити залежність між частотою аварій та певними факторами ризику. Завдяки такому підходу можна не лише передбачити можливі аварії, але й вжити превентивних заходів для мінімізації їхніх наслідків. Такий метод є основою для прийняття рішень у сфері управління морською безпекою (табл.2).

Таблиця 2 – Методи оцінки ризиків у морському судноплаванні

Метод оцінки	Мета застосування	Критерії оцінки	Результат аналізу
FMEA (Аналіз видів і наслідків відмов)	Ідентифікація можливих відмов систем судна	Ймовірність, наслідки, складність виявлення	Виявлення критичних факторів ризику
TOPSIS (Метод упорядкування за подібністю до ідеального рішення)	Визначення пріоритетності ризиків	Порівняння з ідеальним рішенням	Ранжування факторів ризику
Сценарний аналіз	Моделювання аварійних ситуацій	Реальні інциденти, сценарії	Оцінка потенційних наслідків
Статистичний аналіз	Виявлення закономірностей аварій	Частота інцидентів, причини	Визначення ключових причин аварій

Ця таблиця відображає основні методи оцінки ризиків, що використовуються для системного аналізу потенційних загроз у морському судноплаванні. Кожен метод забезпечує комплексний підхід до виявлення, оцінки та ранжування факторів ризику, що дозволяє створити ефективні стратегії управління.

Таблиця 3 – Основні фактори ризику та нові виклики у сучасному суднопластві

Категорія факторів	Опис ризиків
Технічні фактори	<ul style="list-style-type: none"> - аварії через збільшення розмірів і швидкостей суден; - відмови через використання недостатньо вивчених матеріалів; - непередбачувані наслідки використання альтернативних видів палива; - відмови механізмів автономних суден; - помилки надскладних комп'ютерних систем; - кібератаки на судові системи; - відмови обладнання після закінчення терміну експлуатації.
Технологічні фактори	<ul style="list-style-type: none"> - помилки при розробці технологій керування безекіпажними суднами; - взаємодія автономних і традиційних суден; - використання недостатньо випробуваних технологій; - невизначеність регуляторних вимог у сфері автоматизації; - неправильна інтерпретація міжнародних регулятивних норм.
Екологічні та зовнішні фактори	<ul style="list-style-type: none"> - зустріч із тропічними циклонами та штормами; - забруднення полярних вод через зростання суднопластва; - воєнні конфлікти в регіонах чорного та червоного морів; - можливість виникнення нових конфліктів через геополітичну нестабільність; - атаки піратів, незважаючи на зниження їх активності в деяких регіонах; - фінансові втрати через глобальну нестабільність та конфлікти; - можливі пандемії з глобальними наслідками для суднопластва.
Людські фактори	<ul style="list-style-type: none"> - зростання ризику людських помилок через збільшення складності операцій; - збільшення ймовірності дії теорії «швейцарського сиру»; - помилки через застосування нових, незнайомих технологій; - низький рівень підготовки членів екіпажу для роботи з сучасними системами; - помилки операторів безекіпажних суден через відсутність практичного досвіду.
Фактор ШІ	<ul style="list-style-type: none"> - аварії через помилки штучного інтелекту (ШІ); - вплив недостатнього навчання моделей ШІ; - використання невідповідних функціональних моделей ШІ.

Треба додати, що перелічені ризики роблять ситуацію набагато складнішою, якщо одночасно з'являються декілька з них. У цьому випадку може спрацювати теорія «швейцарського сиру», коли виставлені запобіжники можуть виявитися недостатніми. Саме так сталося під час катастрофи круїзного лайнеру “Costa Concordia”: у цьому випадку спрацювали декілька ризиків, хоча усі вони відносяться до людського фактору [23].

Комбінація ризиків різних типів може призводити до катастрофічних наслідків, що яскраво ілюструється аварією контейнеровоза "Ever Given". У цьому випадку одночасно проявилися кілька несприятливих факторів: зовнішні (сильний вітер), технічні (відмова стерна) та людські (непорозуміння між лоцманами) [24]. Цей інцидент підкреслює

необхідність комплексного підходу до управління ризиками, який враховує потенційні взаємодії між різними типами загроз для забезпечення безпеки морських перевезень.

Щодо останнього фактору можна зауважити, що додавання ризиків людських помилок до будь-якого з інших факторів перетворює людський фактор на фактор ескалації і призводить до більш серйозних наслідків. Ризики, пов'язані з використанням штучного інтелекту, вже потрібно виділяти в окремий фактор ризику – як не достатньо вивчений та досить важливий, вплив якого тільки зростає.

Постає актуальне питання щодо оцінки нових ризиків у морській галузі. Для вже відомих ризиків, які зростають під впливом сучасних умов (наприклад, ризик кібератак або зустрічі з тропічними циклонами), застосовуються методи статистичного аналізу та екстраполяції на основі історичних даних. Однак, нові ризики, пов'язані з автономними суднами, штучним інтелектом та інноваційними технологіями (див. табл. 1), залишаються недостатньо вивченими через відсутність відповідного досвіду в галузі. У таких випадках одним із ключових підходів є метод експертних оцінок, попри те, що експерти можуть схильні переоцінювати небезпеки через незнайомість з новими ризиками. Альтернативним підходом може стати використання комп'ютерного моделювання та симуляцій, які дозволяють отримати статистично значущі результати в умовах, близьких до реальних. Цей комбінований підхід наразі є найбільш перспективним для дослідження ризиків у сфері морського транспорту.

Згідно експертних оцінок та результатів аналізу наукових публікацій з управління ризиками в морському судноплаванні, на рис.1 представлено процентний розподіл ризиків, який визначено на основі середньої ваги кожної категорії, отриманої з моделей FMEA, статистичних даних та оцінок, проаналізованих у попередніх дослідженнях з безпеки судноплавства.

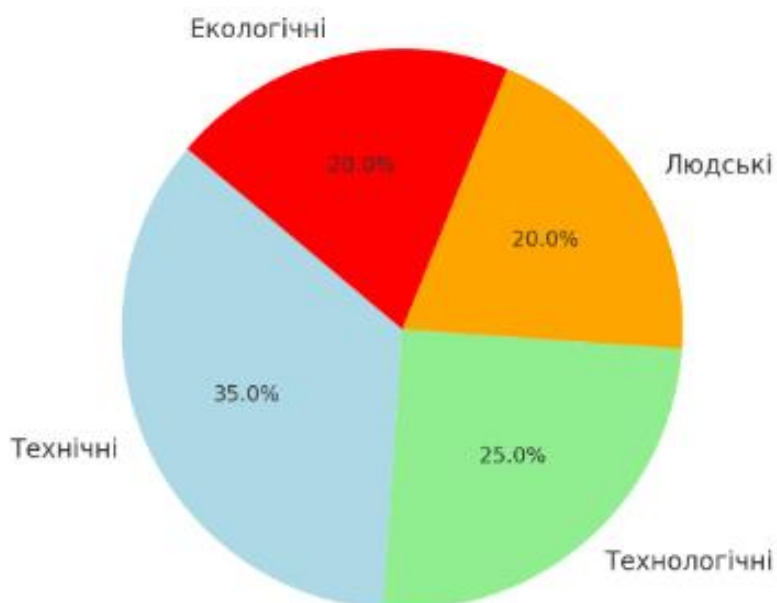


Рис.1. Розподіл ризиків за категоріями

З огляду на відсутність достатніх статистичних даних для кількісної оцінки нових ризиків у морській галузі, доцільно використовувати якісні методи аналізу. Переведення якісних даних у кількісні значення за допомогою теорії нечітких множин можливе, проте його практична цінність наразі є обмеженою. У початковій оцінці доцільно вважати всі нові ризики "дуже вірогідними", а можливі збитки — "дуже великими", з огляду на принцип морської безпеки — передбачати найгірший сценарій.

Щодо управління новими ризиками, ефективними заходами можуть бути впровадження запобіжних механізмів для мінімізації наслідків аварійних подій. Наприклад, система автоматичного керування судном повинна мати функцію екстреного переходу на ручне керування при фіксації небезпечних параметрів (див. табл. 4). Важливо також застосовувати механізми розподілу ризиків, серед яких страхування суден та відповідальності операторів, що дозволить зменшити фінансові втрати у разі виникнення аварійних ситуацій.

Таблиця 4 – Нові ризики та рекомендовані заходи щодо управління ними

Новий ризик	Можливі наслідки	Рекомендовані заходи управління ризиками
Збільшення розмірів і швидкостей суден	Втрата судна, забруднення довкілля	Інтеграція систем моніторингу руху суден, багаторівнева вахта, збільшення кількості рятувальних засобів
Використання матеріалів з обмеженим досвідом їх використання на практиці	Важка аварія або втрата судна	Постійний контроль за новими матеріалами, створення реєстрів їх сертифікації та випробувань
Використання альтернативних видів палива з невивченими властивостями	Аварія, забруднення, пошкодження обладнання	Розробка аварійних процедур, перевірка властивостей палива, відповідні сертифікаційні тести
Відмова механізмів автономних суден	Втрата судна, аварія	Дублювання ключових систем і механізмів, резервне обладнання, віддалений контроль
Закінчення терміну експлуатації корпусу судна	Пошкодження або втрата судна, забруднення	Страхування на основі залишкового ресурсу, періодична оцінка технічного стану судна
Помилки при розробці технологій керування безекіпажними суднами	Аварія, порушення безпеки судна	Інтеграція систем дублювання управління, забезпечення аварійного дистанційного керування
Небезпечна взаємодія автономного і звичайного судна	Зіткнення, забруднення	Створення спеціальних коридорів для автономних суден, адаптація морських правил руху
Використання недостатньо випробуваних технологій	Непередбачувані відмови, аварії	Проведення комплексних тестів перед комерційною експлуатацією, дотримання стандартів безпеки
Невизначеність регуляторних інструментів	Юридичні спори, обмеження експлуатації	Удосконалення міжнародних конвенцій та регламентів, розробка національних стандартів
Помилки операторів безекіпажних суден	Неправильні рішення, аварії	Регулярні тренування операторів, автоматичний перехід керування в разі критичних ситуацій
Помилки систем штучного інтелекту (ШІ)	Некоректні рішення, втрата керування	Створення резервних систем керування, багатоетапне тестування алгоритмів ШІ
Недостатнє навчання ШІ	Неправильні дії системи, аварії	Стандартизоване навчання моделей ШІ, тестування в симуляційних середовищах

З урахуванням наведеного, можна запропонувати наступний алгоритм управління ризиками у сучасних умовах (рис. 2);

Під час аналізу ризиків у морських перевезеннях важливо враховувати не тільки ймовірність виникнення ризикової ситуації та потенційні збитки, а й уразливість систем, яка може вплинути на точність визначення цих параметрів. Міжнародна морська організація (ІМО) визнає можливість неправильної оцінки ризиків через складність передбачення рідкісних подій і багатофакторний характер морських операцій [38]. З огляду на це, до традиційної схеми управління ризиками додається додатковий етап - вибір відповідного методу управління ризиками.

Методи управління можуть варіюватися від класичних, таких як зниження ймовірності аварійних подій, зменшення збитків або розподіл ризиків серед зацікавлених сторін, до більш інноваційних підходів. Зокрема, можливе дублювання ключових суднових систем: наприклад, додавання резервних двигунів внутрішнього згоряння до суден, оснащених новими технологіями, такими як вітрильні системи або автономні модулі. Крім того, у разі відмови систем автономного управління передбачається залучення екіпажу для ручного управління судном.

Такі багаторівневі стратегії дають змогу знизити вплив можливих помилок у визначенні ризиків, забезпечити точніший аналіз і підвищити загальний рівень безпеки судноплавства. Інтеграція резервних систем і людського фактора в управління ризиками підвищує стійкість суден до несподіваних обставин, сприяючи стабільності та надійності морських перевезень.

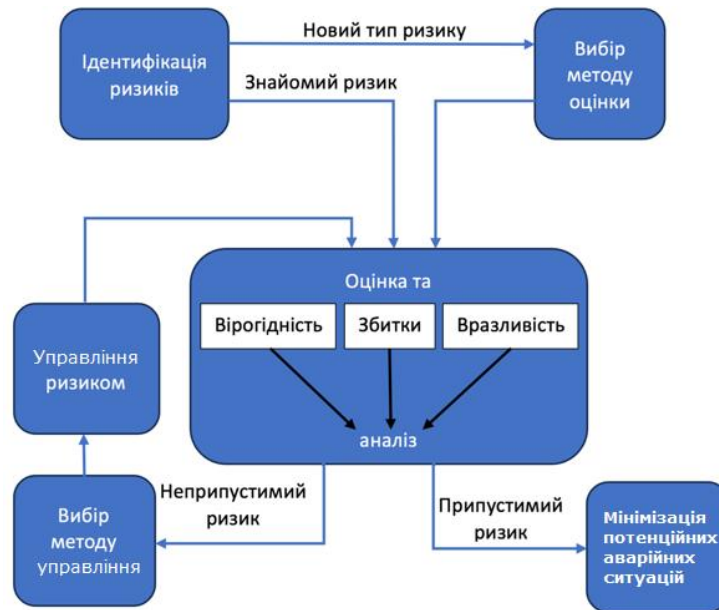


Рис. 2. Алгоритм управління ризиками при наявності нових ризиків.

Як відомо рівень ризику визначається як комбінація ймовірності виникнення ризикової події та серйозності її наслідків. Для оцінки ризиків застосовується така формула:

$$\text{Рівень ризику} = \text{Ймовірність} \times \text{Наслідки},$$

де: ймовірність – визначає, як часто може виникнути конкретна подія (від низької до високої), наслідки – показують, наскільки серйозними будуть результати (від незначних до катастрофічних).

Наприклад метод FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) використовується для визначення можливих відмов систем судна, аналізу їхніх наслідків та оцінки складності їх виявлення. Основними параметрами аналізу є: Вірогідність виникнення відмови, потенційні наслідки для судна, екіпажу та навколишнього середовища та можливості виявлення проблеми на ранньому етапі. Метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) застосовується для ранжування ризиків за рівнем критичності. Порівнюються можливі сценарії з ідеальним та анти-ідеальним варіантами, щоб визначити найбільш пріоритетні ризики для подальшого управління. Для ілюстрації процесу оцінки ризиків пропонується таблиця, яка включає найпоширеніші ризики, їхню ймовірність, наслідки та рівень ризику (Табл. 5):

Таблиця 5 – Оцінки факторів ризику

Фактор ризику	Ймовірність	Наслідки	Рівень ризику
Відмова суднової РЛС	Висока	Критичні	8/10
Помилка штурмана	Середня	Високі	7/10

Витік нафтопродуктів	Низька	Катастрофічні	9/10
Збій в системах навігації судна	Висока	Критичні	8/10
Кібератака на судно	Середня	Високі	7/10

Такий підхід дозволяє здійснювати комплексну оцінку ризиків, визначати найбільш критичні з них та розробляти стратегії їх мінімізації.

Оцінка критичних ризиків на Рис.3 у вигляді стовпчикового графіку відображає рівні ризику для ключових факторів, таких як відмова радара, кібератаки, витік нафти або нафтопродуктів та збій системи навігації.

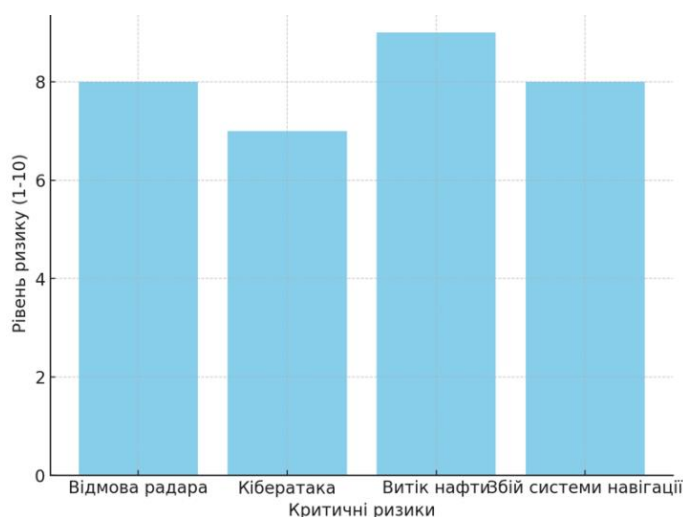


Рис. 3. Оцінка критичних ризиків

На Рис.4 представлено порівняльний аналіз ключових факторів ризику у морському судноплаванні за двома критеріями: ймовірність виникнення та серйозність наслідків. Зокрема «Ймовірність виникнення» відображає частоту, з якою може статися конкретний ризик (від 0 до 1). Наприклад, відмова радара має високу ймовірність (0.9), тоді як витік нафтопродуктів оцінено нижче (0.4), а «Серйозність наслідків» показує, наскільки критичними є наслідки виникнення ризику (від 0 до 1). Витік нафтопродуктів має найвищий рівень наслідків (0.9) через серйозність впливу на довкілля та безпеку, що демонструє необхідність пріоритетного управління ризиками з високим рівнем наслідків, навіть якщо їхня ймовірність є відносно низькою. Такий підхід дозволяє ефективно розподіляти ресурси для зниження найбільш критичних загроз.

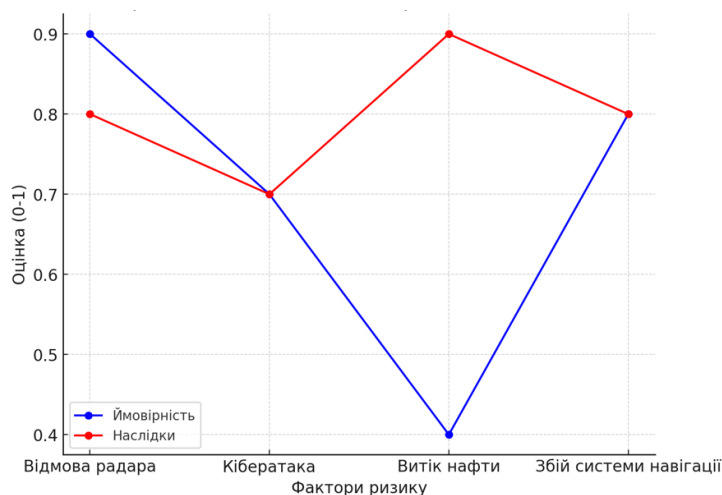


Рис. 4. Порівняльний аналіз ймовірності та наслідків

Також треба зауважити, що під час розгляду нових ризиків досить важко оцінити вагу кожного з них, але в цьому разі на допомогу прийде правило Фішберна:

$$w_i = \frac{2(n-i+1)}{n(n+1)}; \quad (1)$$

де n – кількість ідентифікованих ризиків.

Але, як зазначалося, ми наразі стикаємось з досі невідомими ризиками, статистика реалізації яких у багатьох випадках просто ще відсутня. Саме тому якісний підхід до оцінки та аналізу таких ризиків виглядає більш виправданим і корисним. Для того ж, щоб отримати числові значення ризиків, можна запропонувати використання лінгвістичних змінних та обчислення на основі нечітких множин. Для того, щоб використати переваги обох методів, деякі дослідники пропонують інтегрований підхід: як приклад – розрахунок ризиків швартування автономного судна. В даному випадку використовується нечіткий аналіз видів та наслідків відмов (FMEA) у взаємодії з методом упорядкування переваг за рівнем подібності з ідеальним рішенням (TOPSIS)[39].

Для більш складного підходу до оцінки нових ризиків можна запропонувати застосування методу нечіткої логіки з використанням лінгвістичних змінних. Такий підхід дозволяє враховувати невизначеність і суб'єктивність експертних оцінок. Основними параметрами такої оцінки виступають ймовірність виникнення (низька, середня, висока), серйозність наслідків (незначна, серйозна, катастрофічна) та складність виявлення (легка, середня, важка). Для кожного параметра будуються функції належності (трикутні чи гауссові), а оцінка ризиків здійснюється за допомогою системи правил "Якщо-то" (наприклад, "Якщо ймовірність висока і наслідки катастрофічні, то ризик дуже високий"). Завершальним етапом є дефазифікація, що дозволяє перетворити нечіткі оцінки у конкретні числові значення для ранжування ризиків.

В цьому випадку оцінки нових ризиків можуть виглядати так:

$$R = \sum_{i=1}^n w_i \cdot f(x_i), \quad (2)$$

де: R - загальний ризик, w_i - вагові коефіцієнти ризиків, $f(x_i)$ - функція належності ризику i , n - кількість ризиків.

Такий підхід дозволяє комбінувати кількісні та якісні оцінки, що робить аналіз більш точним і адаптивним до невизначеності.

Таким чином, оцінка ризиків у сучасному морському судноплаванні вимагає системного підходу, що включає кількісні та якісні методи. Використання таких підходів, як FMEA, TOPSIS, сценарний аналіз, статистичні методи та нечітка логіка дозволяє ефективно ідентифікувати, класифікувати та оцінювати нові ризики. Результати дослідження підтверджують висновки попередніх робіт щодо важливості впровадження системного управління ризиками. Зокрема, зроблено акцент на технологічних інноваціях, таких як автоматизація та використання штучного інтелекту, які хоча й підвищують ефективність судноплавства, але створюють нові ризики. У порівнянні з попередніми дослідженнями, було деталізовано вплив нечіткої логіки для оцінки складних факторів.

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

У статті проведено аналіз сучасних викликів у морському судноплаванні, включаючи технічні, технологічні, екологічні, людські фактори та ризики, пов'язані з використанням штучного інтелекту. На основі цього аналізу здійснено систематизацію ризиків за чотирма основними категоріями, що дозволило визначити ключові загрози для безпеки судноплавства та запропонувати нові підходи до їх класифікації й оцінки.

Запропоновано інтегрований підхід до управління ризиками, який включає застосування методів FMEA, TOPSIS, сценарного та статистичного аналізів. Розроблено та

узагальнено структуру оцінки ймовірностей та наслідків ризиків, а також запропоновано алгоритм управління ризиками, що враховує сучасні умови та специфіку галузі. Підкреслено важливість інтеграції новітніх інструментів, таких як нечітка логіка, для роботи з невизначеними та недостатньо вивченими ризиками, що створює основу для підвищення стійкості та безпеки морських операцій.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Pilatis, A. N., Pagonis, D.-N., Serris, M., Peppas, S., & Kaltsas, G. (2024). A statistical analysis of ship accidents (1990–2020) focusing on collision, grounding, hull failure, and resulting hull damage. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(1), 122. <https://doi.org/10.3390/jmse12010122>
- [2] Ceurstemont, S. (2021, April 13). New materials to make ships more sustainable and less noisy for marine life. *Horizon: The EU Research & Innovation Magazine*.
- [3] The Editorial Team. (2024, April 30). Lessons learned: Lithium-Ion battery explosion on a vessel. *Safety4Sea*.
- [4] Marine Safety Consultants. (2024, November 11). Dangers of lithium-ion batteries on vessels. Retrieved from https://marinesafetyconsultants.com/dangers-of-lithium-ion-batteries-on-vessels/#Incidents_of_LithiumIon_Battery_Fires_on_Vessels
- [5] Foretich, A., Zaimis, G. G., Hawkins, T. R., & Newes, E. (2021). Challenges and opportunities for alternative fuels in the maritime sector. *Maritime Transport Research*, 2, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.100033>
- [6] Harris, S. (2024, November 11). The future of maritime fuels. *Marsh McLennan*. Retrieved from <https://www.marsh.com/en/industries/marine/insights/future-maritime-fuels.html>
- [7] Demirel, E. (2019). Possible dangers of automation failures on board and measures to avoid the negative effects of these failures. *Scientific Bulletin of Naval Academy*, 22(2), 22–35. <https://doi.org/10.21279/1454-864X-19-I2-003>
- [8] Bush, D. (2024, November 11). Ethical hacker says ships are wide open to cyber-attack. *Lloyd's List*. Retrieved from <https://www.lloydslist.com/LL1136933/Ethical-hacker-says-ships-are-wide-open-to-cyber-attack>
- [9] Greig, J. (2024, November 11). Ransomware attack on maritime software impacts 1,000 ships. *The Record Media*. Retrieved from <https://therecord.media/ransomware-attack-on-maritime-software-impacts-1000-ships>
- [10] Taguchi, K. (2022). Analysis on collision accidents and maritime autonomous surface ships [Master's thesis, World Maritime University].
- [11] de Vos, J., Hekkenberg, R., & Valdez Banda, O. (2021). The impact of autonomous ships on safety at sea – A statistical analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 210, 107558. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107558>
- [12] Zhang, W., Zhang, Y., & Zhang, C. (2024). Research on risk assessment of maritime autonomous surface ships based on catastrophe theory. *Reliability Engineering & System Safety*, 244, 109946. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.109946>
- [13] Porathe, T., Hoem, Å., Rødseth, Ø., Fjørtoft, K., & Johnsen, S. (2018). At least as safe as manned shipping? Autonomous shipping, safety and “human error”. In *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference* (pp. 1234–1241). <https://doi.org/10.1201/9781351174664-52>

- [14] Ziarati, R., & Ziarati, M. (2007). Review of accidents with special references to vessels with automated systems – A way forward. *Proceedings of the International Conference on Maritime Safety* (pp. 45–52).
- [15] Wingrove, M. (2018, November 12). AI and automation could result in more ship accidents. *Riviera*. Retrieved from <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/ai-and-automation-could-result-in-more-ship-accidents-22750>
- [16] Anderson, R. (Ed.). (2020). *Autonomous ships and the law*. Taylor & Francis.
- [17] Sarwar, M. G. M. (2006). Impacts of climate change on maritime industries [Master's thesis, World Maritime University].
- [18] International Maritime Organization. (2024). The impact of the Russian armed invasion of Ukraine on international shipping. *IMO Assembly Resolution A.1183(33)*.
- [19] International Maritime Organization. (2024, September 11). Communication from the IMO Secretary-General to Member States' Representatives.
- [20] International Maritime Organization. (2023, April 19). Reports on acts of piracy and armed robbery against ships. *Annual Report – 2022*, MSC.4/Circ.267.
- [21] Mills, S., & Wardle, M. (2024). Developments in maritime finance & maritime financial centres. *Z/Yen Group, Busan Financial Centre*.
- [22] Chua, J., Foo, R., Tan, K., & Yuen, K. F. (2022). Maritime resilience during the COVID-19 pandemic: Impacts and solutions. *Continuity & Resilience Review*. <https://doi.org/10.1108/CRR-09-2021-0031>
- [23] Ministry of Infrastructures and Transports of Italy. (2012). Cruise ship COSTA CONCORDIA marine casualty on January 13, 2012: Report on the safety technical investigation.
- [24] Panama Maritime Authority. (2021). Marine safety investigation report: Grounding of MV Ever Given at Suez Canal Egypt on March 23, 2021.
- [25] Jallal, C. (2024, July 25). How decarbonisation and AI will impact crew training. *Riviera*. Retrieved from <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/how-decarbonisation-and-ai-will-impact-crew-training-76982>
- [26] World Maritime University. (2024). Update by the UN Global Compact on the 'Baseline training framework for seafarers in decarbonization' project under the Maritime Just Transition Taskforce. Presentation to IMO MEPC81. Retrieved from <https://www.wmu.se/news/mepc81-seafarers-decarbonized-future>
- [27] American Bureau of Shipping. (2017, August 10). Best practices for operation of ballast water management systems, identified during ABS 2nd BWMS Workshop, Houston.
- [28] Batra, A., Hepperle, N., & Herdt, W. (2022). Integrated model-based system engineering of the naval propulsion plant and its control system. *Proceedings of the Institute of Marine Engineering, Science & Technology*.
- [29] International Chamber of Shipping. (2024). ICS maritime barometer report 2023-2024.
- [30] Kennard, A., Zhang, P., & Rajagopal, S. (2022). Technology and training: How will deck officers transition to operating autonomous and remote-controlled vessels? *Marine Policy*, 146, 105326. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105326>
- [31] Ramos, M., Utne, I. B., Vinnem, J. E., & Mosleh, A. (2018). Accounting for human failure in autonomous ship operations. In *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference* (pp. 1234–1241). <https://doi.org/10.1201/9781351174664-45>

- [32] Cheng, T., Veitch, E. A., Utne, I. B., Ramos, M. A., Mosleh, A., Alsos, O. A., & Wu, B. (2024). Analysis of human errors in human-autonomy collaboration in autonomous ships operations through shore control experimental data. *Reliability Engineering & System Safety*, 246, 110080. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110080>
- [33] Wahlström, M., Hakulinen, J., Karvonen, H., & Lindborg, I. (2015). Human factors challenges in unmanned ship operations – Insights from other domains. *Procedia Manufacturing*, 3, 1038–1045. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.167>
- [34] Baldauf, M., & Rostek, D. (2024). Identify training requirements for remote control operators of maritime autonomous ships. In *Proceedings of the 18th International Technology, Education and Development Conference* (pp. 7646–7653). <https://doi.org/10.21125/inted.2024.2036>
- [35] Campos, C., Castells-Sanabra, M., & Mujal-Colilles, A. (2022). The next step on the maritime education and training in the era of autonomous shipping: A literature review. In *Proceedings of the 9th International Conference on Maritime Transport* (pp. 27–28).
- [36] International Chamber of Shipping. (2021). Seafarer workforce report.
- [37] Ioannou, D. (2023, September 21). Viewpoint: A new risk landscape emerges for global maritime industry. *Insurance Journal*. Retrieved from <https://www.insurancejournal.com/news/national/2023/09/21/741107.htm>
- [38] International Maritime Organization. (2002, April 5). Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. MSC/Circ.1023/MEPC/Circ.392.
- [39] Bao, J., Yu, Z., Li, Y., & Wang, X. (2022). A novel approach to risk analysis of automooring operations on autonomous vessels. *Maritime Transport Research*, 3, 100050. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2022.100050>
- [40] Melnyk, O., Onyshchenko, S., Pavlova, N., Kravchenko, O., & Borovyk, S. (2022). Integrated ship cybersecurity management as a part of maritime safety and security system. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 22(3), 135–140. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.3.18>
- [41] Melnyk, O., Kuznichenko, S., & Onishchenko, O. (2024). Impact of AIS manipulation on shipping safety and strategic countermeasures. *Lex Portus*, 4, 1043–1058. https://lexportus.net.ua/vipusk-4-2024/melnyk_1043.pdf
- [42] Melnyk, O., & Onyshchenko, S. (2022). Navigational safety assessment based on Markov-model approach. *Scientific Journal of Maritime Research*, 36(2), 328–337. <https://doi.org/10.31217/p.36.2.16>
- [43] Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., & Shumylo, O. (2023). Application of fuzzy controllers in automatic ship motion control systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(4), 3661–3669. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3661-3669>
- [44] Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., & Vasalatii, N. (2023). Simulation-based method for predicting changes in the ship's seaworthy condition under impact of various factors. In A. Zaporozhets, O. Melnyk, & O. Onishchenko (Eds.), *Maritime Systems, Transport and Logistics I: Safety and Efficiency of Operation* (pp. 653–664). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_37