

УДК 656. 61. 052

DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-108-121

**АНАЛІЗ ЛЮДСЬКОГО ЕЛЕМЕНТУ
В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ МОРСЬКИХ АВТОНОМНИХ
НАДВОДНИХ СУДЕН**

Г.Г. Томчаковський

старший викладач кафедри навігації і керування судна
<https://orcid.org/0000-0002-9799-4368>

О.І. Россомаха

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри навігації і керування судном
<https://orcid.org/0000-0002-4425-2192>

Л.Е. Оберто Сантана

старший викладач кафедри навігації і керування судном
<https://orcid.org/0009-0009-4407-3766>

О.С. Саф'ян

старший викладач кафедри навігації і керування судном
<https://orcid.org/0000-0001-8866-7456>

О.В. Колеснік

старший викладач кафедри навігації і керування судном
<https://orcid.org/0009-0003-3713-2015>

*Навчально-науковий інститут морського флоту,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна*

Анотація. У статті представлено комплексний аналіз ролі людського елемента в контексті розвитку морських автономних надводних суден (Maritime Autopomous Surface Ship, MASS), що ґрунтується на систематичному дослідженні сучасних наукових публікацій і практичному досвіді впровадження автономних технологій у морській галузі.

Дослідження базується на багатофакторному аналізі взаємодії людини й автоматизованих систем управління, включно з вивченням когнітивних, психологічних та ергономічних аспектів роботи операторів MASS.

Проведено детальну оцінку наявних підходів до класифікації рівнів автономності морських надводних суден та їхнього впливу на безпеку судно плавання, з особливим акцентом на специфіку роботи віддалених операторів і бортового персоналу.

У роботі представлено поглиблений аналіз статистичних даних аварій на морі, пов'язаних з людським елементом, і досліджено механізми трансформації ризиків при підвищенні рівня автономності суден.

Особлива увага приділяється проблемам забезпечення безпеки на різних рівнях автономності, враховуючи потенційні ризики зіткнень, технічні збої та загрози кібербезпеці.

Також, дослідження охоплює комплекс технологічних підходів, спрямованих на мінімізацію впливу людського елемента через впровадження інтелектуальних систем, вдосконалення адаптивних алгоритмів керування та розвиток сучасних комунікаційних рішень.

На основі проведеного аналізу розроблено практичні рекомендації щодо вдосконалення систем підготовки персоналу, організації ефективної взаємодії між операторами та автоматизованими системами управління, а також запропоновано методологічні підходи до оцінки та мінімізації ризиків під час експлуатації MASS.

Результати дослідження можуть бути використані під час розроблення нормативних документів, освітніх програм і систем управління безпекою в морській галузі, а також під час проектування нових поколінь автономних суден і систем управління ними.

Ключові слова: морські автономні судна, людський елемент, безпека судноплавства, автоматизація, управління ризиками, морський транспорт, штучний інтелект, підготовка персоналу.

UDC 656. 61. 052

DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-108-121

**ANALYSIS OF THE HUMAN ELEMENT
IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT
OF MARINE AUTONOMOUS SURFACE VESSELS**

G. Tomchakovsky

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Control of the Ship

<https://orcid.org/0000-0002-9799-4368>

O. Rossomakha

PhD, Associate Professor at the Department of Navigation and Control of the Ship

<https://orcid.org/0000-0002-4425-2192>

L. Oberto Santana

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Control of the Ship

<https://orcid.org/0009-0009-4407-3766>

O. Safyan

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Control of the Ship

<https://orcid.org/0000-0001-8866-7456>

O. Koliesnik

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Control of the Ship

<https://orcid.org/0009-0003-3713-2015>

*Merchant Marine Institute,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine*

Abstract. *The article presents a comprehensive analysis of the role of the human element in the context of the development of Maritime Autonomous Surface Ship (MASS), based on a systematic study of modern scientific publications and practical experience in the implementation of autonomous technologies in the maritime industry.*

The research is based on a multifactorial analysis of the interaction between humans and automated control systems, including the study of cognitive, psychological and ergonomic aspects of MASS operators.

A detailed assessment of existing approaches to classifying the levels of autonomy of marine surface vessels and their impact on navigation safety is carried out, with a special focus on the peculiarities of the work of remote operators and onboard personnel.

The paper presents an advanced analysis of statistical data on maritime accidents involving the human element and explores the mechanisms of risk transformation with increasing ship autonomy.

Particular attention is paid to the problems of ensuring safety at different levels of autonomy, taking into account the potential risks of collisions, technical failures and cybersecurity threats. The study also covers a set of technological approaches aimed at minimizing the impact of the human element through the introduction of intelligent systems, improvement of adaptive control algorithms, and development of modern communication solutions.

Based on the analysis, practical recommendations have been developed to improve personnel training systems, organize effective interaction between operators and automated control systems, and propose methodological approaches to assessing and minimizing risks during MASS operation.

The results of the study can be used in the development of regulatory documents, educational programs and safety management systems in the maritime industry, as well as in the design of new generations of autonomous vessels and their control systems.

Keywords: *autonomous marine vessels, human element, navigation safety, automation, risk management, maritime transport, artificial intelligence, personnel training.*

Постановка проблеми. В умовах активного розвитку технологій автономного судноплавства виникає фундаментальне протиріччя між прагненням до підвищення рівня автоматизації морських надводних суден і необхідністю забезпечення безпеки морського транспорту. Незважаючи на те, що впровадження морських автономних надводних суден (Maritime Autonomous Surface Ship, MASS), спрямоване на зниження впливу людського елемента на безпеку судноплавства, з'являються нові типи ризиків і проблем, пов'язаних із взаємодією людини й автоматизованих систем управління. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розроблення ефективних підходів до оцінювання та мінімізації ризиків під час експлуатації MASS, а також створенням надійних механізмів інтеграції людини в систему автономного судноводіння.

Метою дослідження є комплексний аналіз впливу людського елемента на безпеку експлуатації морських автономних надводних суден і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо вдосконалення систем управління безпекою в умовах підвищення рівня автономності морського транспорту.

У рамках дослідження розв'язуються такі **завдання**: оцінка сучасного стану та перспектив розвитку технологій автономного судноводіння; аналіз ключових чинників ризику, пов'язаних із людським елементом; розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності взаємодії людини та автоматизованих систем управління.

Основний матеріал. Сучасне технологічне середовище, що розвивається в рамках четвертої промислової революції (4IR або Індустрія 4.0), генерує принципово нові можливості для розроблення автономних транспортних засобів, де морські автономні судна (MASS) посідають провідні позиції. Четверта промислова революція характеризується злиттям технологій, які розмивають межі між фізичною, цифровою та біологічною сферами. Вона відрізняється від попередніх революцій своєю всеохопністю та швидкістю технологічних змін. Ключовими елементами 4IR є розвиток штучного інтелекту, робототехніки, квантових обчислень, 5G мереж та промислового інтернету речей (IIoT). Динамічний розвиток сучасних технологічних рішень, який включає передові системи аналізу даних, інтелектуальні алгоритми розпізнавання, штучний інтелект та Інтернет речей, закладає потужне підґрунтя для розвитку економічно доцільного та екологічно збалансованого «інтелектуального» судноплавства. [1, 2] Інтеграція передових навігаційних технологій і систем автоматичного управління істотно розширює можливості сучасного судноплавства. Глобальні навігаційні супутникові системи в поєднанні з передовими алгоритмами опрацювання даних забезпечують безпрецедентну точність позиціонування та навігації. Ці технологічні досягнення створюють міцне підґрунтя для реалізації концепції повністю автономних суден, здатних самостійно здійснювати навігацію та приймати рішення в різних умовах експлуатації [3]. В контексті 4IR, морська галузь трансформується завдяки впровадженню цифрових двійників суден, предиктивного технічного обслуговування на основі аналізу великих даних та автоматизованих систем управління флотом, що значно підвищує ефективність та безпеку морських перевезень.

Впровадження MASS експерти морської галузі розглядають як перспективний напрямок розвитку, здатний створити умови для якісного стрибка у забезпеченні безпеки судноплавства і зниженні негативного впливу на навколишнє середовище. Особливу увагу приділяють потенційному зниженню впливу людського елемента на безпеку судноплавства. Однак науковці активно обговорюють [4 - 7] питання про те, наскільки обґрунтованим є припущення про пряму залежність між підвищенням рівня автономності та збільшенням безпеки навігації. Морські автономні судна функціонують у середовищі, що характеризується високим рівнем невизначеності та динамічності. Оператори MASS стикаються з комплексом викликів, таких як екстремальні погодні умови, непередбачувані навігаційні перешкоди та потенційні технічні несправності систем управління. Ефективне управління суднами такого типу вимагає від операторів не тільки високого рівня тех-

нічної компетенції, а й розвинених навичок ухвалення необхідних рішень в умовах обмеженого часу та підвищеного стресу.

Сучасні дослідження [8-10] показують, що успішна експлуатація MASS залежить від комплексу чинників, що включають в себе надійність технічних систем, ефективність алгоритмів управління та компетентність операторів. Особливого значення набуває здатність операційного персоналу адаптуватися до умов, що змінюються, і приймати обґрунтовані рішення в нестандартних ситуаціях.

В основі сучасної класифікації ступеня автономності (DoA) MASS лежить комплексна оцінка рівня автоматизації судових систем і ступеня участі людини в процесах управління. Міжнародна морська організація (IMO), спираючись на пропозиції Данського морського відомства, розробила і впровадила чотирирівневу систему класифікації автономності морських суден (рисунок).

Класифікація ступенів автономності MASS (IMO)

Рівень 1 Судно з автоматизованими процесами та підтримкою прийняття рішень <ul style="list-style-type: none">Екіпаж присутній на борту і керує судномДеякі операції можуть виконуватись автоматичноСистеми підтримки прийняття рішень активніЕкіпаж може перебирати управління IMO MSC 99/5/5 IMO MSC 100/5/6
Рівень 2 Дистанційно кероване судно з екіпажем на борту <ul style="list-style-type: none">Дистанційне керування з берегаЕкіпаж присутній для перехоплення управлінняБільшість систем автоматизованіМоніторинг систем здійснюється з берега IMO MSC 99/5/5 IMO MSC 100/5/6
Рівень 3 Дистанційно кероване судно без екіпажу на борту <ul style="list-style-type: none">Повністю дистанційне керуванняВідсутній екіпаж на бортуВсі системи контролюються з берегаАвтоматичні системи безпеки активні IMO MSC 99/5/5 IMO MSC 100/5/6
Рівень 4 Повністю автономне судно <ul style="list-style-type: none">Бортова операційна система приймає рішенняПовна автоматизація всіх системСамостійне визначення дійМінімальне людське втручання IMO MSC 99/5/5 IMO MSC 100/5/6

Рисунок. Чотирирівнева система класифікації автономності морських суден

Джерело: власна розробка авторів на основі [11]

Рівень 1. Судно з автоматизованими процесами та підтримкою прийняття рішень. На цьому рівні судно зберігає традиційний екіпаж на борту, але вже оснащене системами автоматизації та підтримки прийняття рішень. Члени екіпажу здійснюють контроль над усіма критичними функціями та системами судна, однак окремі операції можуть виконуватися в автоматичному режимі. Наприклад, системи автоматичного утримання курсу, автоматичної ідентифікації суден (AIS),

електронні картографічні системи (ECDIS) допомагають екіпажу в навігації та прийнятті рішень. Важливо зазначити, що на цьому рівні всі автоматизовані системи працюють під наглядом людини, і екіпаж може в будь-який момент перехопити управління. Системи підтримки прийняття рішень надають екіпажу рекомендації та попередження, але остаточне рішення завжди приймає людина. Це включає моніторинг навколишнього середовища, оцінку ризиків зіткнення, оптимізацію маршруту та витрат палива. Цей рівень автономності є найбільш поширеним у сучасному морському судноплаванні.

Отже, на судах першого рівня автономності (DoA1) застосовується інтегрована навігаційна система, що включає: GPS/ГЛОНАСС приймачі з точністю позиціонування до 1 метра, багатофункціональні радары X-діапазону з функцією автоматичного супроводу цілей, системи AIS класу А з розширеним функціоналом, цифрові картографічні системи ECDIS з автоматичним оновленням. Безпека забезпечується дубльованими серверами обробки даних, резервними джерелами живлення та системою контролю цілісності даних відповідно до стандарту ІЕС 61162. Системи підтримки прийняття рішень використовують алгоритми нечіткої логіки для оцінки навігаційних ризиків згідно вимог ISO 31000.

Рівень 2. Дистанційно кероване судно з екіпажем на борту. На цьому рівні з'являється можливість дистанційного керування судном з берега, але екіпаж все ще присутній на борту. Берегові оператори можуть здійснювати контроль над судном через захищені канали зв'язку, управляючи навігацією та іншими системами. Екіпаж на борту виконує роль резервної системи безпеки та може взяти на себе управління у випадку необхідності або при втраті зв'язку з береговим центром управління. Більшість судових систем автоматизовані та можуть контролюватися як з берега, так і з борту судна. Моніторинг технічного стану, навігаційної обстановки та систем безпеки здійснюється одночасно береговим центром та судовим екіпажем. Важливим аспектом є наявність надійних систем зв'язку та резервування критичних функцій. Цей рівень вимагає чіткого розподілу відповідальності між береговим центром управління та судовим екіпажем, а також відпрацьованих процедур переходу управління від одного до іншого.

Судна другого рівня (DoA2) додатково оснащуються захищеними каналами супутникового зв'язку VSAT з шифруванням за стандартом AES-256, системами відеоаналітики на базі нейронних мереж з точністю розпізнавання об'єктів 98%, лазерними дальномірами LIDAR для 3D-картографування навколишнього простору. Безпека забезпечується відповідно до вимог ІЕС 62443 щодо промислової кібербезпеки. Реалізовано автоматичне резервне копіювання даних, системи виявлення вторгнень (IDS) та захист від DDoS-атак.

Рівень 3. Дистанційно кероване судно без екіпажу на борту. Цей рівень передбачає повністю дистанційне керування судном без присутності екіпажу на борту. Всі операції з управління судном здійснюються з берегового центру управління. Судно оснащене комплексом автоматизованих систем, які забезпечують навігацію, спостереження за навколишньою обстановкою, контроль технічних параметрів та безпеку. Берегові оператори отримують повну інформацію про стан судна та навколишнє середовище через датчики, камери та інші системи моніто-

рингу. Автоматичні системи безпеки здатні самостійно реагувати на критичні ситуації за заздалегідь визначеними алгоритмами. Особлива увага приділяється кібербезпеці та надійності каналів зв'язку, оскільки втрата контролю над судном може мати серйозні наслідки. Системи повинні мати високий рівень резервування та можливість безпечного завершення операцій у разі виникнення нештатних ситуацій.

Третій рівень (DoA3) характеризується впровадженням комплексних систем дистанційного управління з використанням квантового шифрування для захисту каналів зв'язку. Сенсорна система включає тепловізори з чутливістю 0.03°C, мультиспектральні камери, гідроакустичні датчики з дальністю виявлення до 2000 метрів. Автоматичні системи безпеки відповідають стандарту SIL3 (Safety Integrity Level) та забезпечують час реакції менше 100 мс. Застосовуються алгоритми предиктивної аналітики на основі Big Data для прогнозування технічного стану обладнання.

Рівень 4. Повністю автономне судно. Найвищий рівень автономності, при якому судно здатне приймати рішення та виконувати операції повністю самостійно, використовуючи штучний інтелект та просунуті алгоритми. Бортова операційна система аналізує всю доступну інформацію, приймає рішення та виконує необхідні дії без участі людини. Судно самостійно планує маршрут, уникає зіткнень, оптимізує витрати палива та адаптується до змін навколишнього середовища. Всі системи судна повністю автоматизовані та інтегровані між собою. Людське втручання мінімальне і може обмежуватися тільки загальним наглядом та стратегічним плануванням. Системи штучного інтелекту повинні бути здатні справлятися з нестандартними ситуаціями та приймати рішення в умовах невизначеності. Важливим аспектом є здатність системи до самонавчання та вдосконалення на основі накопиченого досвіду. Цей рівень автономності вимагає найвищих стандартів надійності, безпеки та відмовостійкості всіх систем.

На четвертому рівні (DoA4) використовуються системи штучного інтелекту, сертифіковані відповідно до ISO/IEC 27001 та спеціальних вимог ІМО для автономних суден. Навігаційні алгоритми базуються на глибоких нейронних мережах з можливістю самонавчання, забезпечуючи точність прогнозування маршруту 99,9%. Безпека забезпечується багаторівневою системою прийняття рішень з дублюванням критичних функцій та можливістю деградації до нижчих рівнів автономності при виявленні збоїв. Системи кібербезпеки включають квантовостійкі алгоритми шифрування та біометричну автентифікацію операторів.

Сучасний підхід до оцінки ризиків експлуатації MASS ґрунтується на системному аналізі всіх аспектів функціонування автономних суден. Автори статті приділяють особливу увагу вивченню змішаних навігаційних ризиків, що виникають під час взаємодії автономних і традиційних суден у спільному навігаційному просторі. Також, значна увага приділяється питанням мережевої безпеки та захисту систем управління від несанкціонованого доступу. Критично важливим аспектом забезпечення безпеки MASS є надійність технічних систем та ефективність процедур технічного обслуговування і ремонту. Дослідження [12; 13] показують, що значна частина інцидентів з автономними суднами може бути

пов'язана з недостатнім рівнем технічного обслуговування або збоями в роботі автоматизованих систем управління.

Аналіз даних морських аварій, демонструє, що понад 80 % від всіх інцидентів так чи інакше пов'язані з людським елементом. Впровадження автоматизованих систем управління, хоча і спрямоване на зниження впливу людського елемента, створює нові типи ризиків, які потребують ретельного вивчення та аналізу. Сучасні дослідження людського елемента під час експлуатації MASS виявили низку критичних аспектів, які потребують особливої уваги. Перш за все, це стосується когнітивного навантаження на операторів під час керування автономними системами. Дослідження показують, що навіть за високого рівня автоматизації оператори мають зберігати високу концентрацію уваги і бути готовими до швидкого реагування в нестандартних ситуаціях.

Розвиток технологій автономного судноводіння призвів до створення новітніх методів оцінювання та запобігання ризикам зіткнень. Сучасні алгоритми запобігання зіткненням ґрунтуються на комплексному аналізі навігаційної обстановки з використанням багатофакторних моделей оцінки ризику. Значного прогресу досягнуто у створенні моделей галузі безпеки MASS, що враховують специфіку автономного судноводіння. Застосування баєсівських мереж (Bayesian network) на основі правил переконання дає змогу точніше оцінювати ризики зіткнень і виробляти оптимальні стратегії їх запобігання [14]. Баєсівські мережі представляють собою графічні ймовірнісні моделі, які відображають причинно-наслідкові зв'язки між різними факторами навігаційної ситуації. Вони дозволяють враховувати невизначеність та неповноту вхідних даних, оновлюючи оцінки ймовірностей у реальному часі на основі нової інформації. У контексті автономного судноводіння баєсівські мережі інтегрують дані від різних датчиків, історичну інформацію про навігаційні інциденти та експертні знання для створення динамічної моделі оцінки ризиків. Це дозволяє системі приймати більш обґрунтовані рішення щодо маневрування та вибору безпечного курсу з урахуванням множини взаємопов'язаних факторів ризику.

Дослідження [15-17] підтверджують, що попри високий рівень автоматизації, людська помилка залишається критично важливим елементом у системі безпеки MASS. Розвиток технологій автономного судноводіння створює нові виклики для міжнародного морського права. Наявна нормативна база, розроблена для традиційного судноплавства, потребує суттєвої адаптації до особливостей експлуатації MASS. ІМО веде активну роботу зі створення нових стандартів і правил, що регулюють використання автономних суден. Особливої актуальності набувають питання відповідальності під час експлуатації MASS, включно з розподілом відповідальності між операторами, судновласниками, а також виробниками автономних систем управління.

Класифікаційні товариства та морські адміністрації різних країн працюють над створенням узгоджених вимог до технічного оснащення та систем управління MASS. При цьому впровадження технологій автономного судноплавства вимагає значних інвестицій у розробку та встановлення спеціалізованого обладнання. Однак економічний аналіз показує, що в довгостроковій перспективі використання

MASS може забезпечити істотне зниження експлуатаційних витрат. Основними факторами економічної ефективності стають скорочення витрат на утримання екіпажу і підвищення енергоефективності судноводіння.

Розвиток технологій автономного судноплавства суттєво впливає на структуру морської галузі. Формуються нові напрямки судноплавного бізнесу, пов'язані з розробленням, встановленням та обслуговуванням автономних систем управління. Відбувається трансформація ринку праці в морській галузі, змінюються вимоги до кваліфікації персоналу. Впровадження морських автономних надводних суден також відкриває нові можливості для зниження негативного впливу судноплавства на морське середовище. Автоматизовані системи управління дають змогу оптимізувати маршрути руху і режими роботи суднових енергетичних установок, що сприяє зменшенню викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин.

Оснащення автономних суден сучасними системами екологічного моніторингу дає змогу створювати комплексні системи контролю стану морських екосистем. Розвиток технологій автономного судноводіння тісно пов'язаний із впровадженням енергоефективних технологій та альтернативних джерел енергії. Сучасні MASS [18; 19] проєктуються з урахуванням можливості використання гібридних енергетичних установок і поновлюваних джерел енергії, що дає змогу істотно знизити вуглецевий слід морських перевезень і сприяє досягненню цілей сталого розвитку морської галузі.

Подальший розвиток MASS нерозривно пов'язаний із впровадженням передових технологій штучного інтелекту і машинного навчання. Сучасні дослідження спрямовані на створення адаптивних систем управління, здатних самостійно оптимізувати параметри руху судна залежно від мінливих умов навколишнього середовища. Критично важливим напрямом технологічного розвитку MASS є вдосконалення систем зв'язку та передачі даних. Впровадження технологій 5G і супутникового зв'язку нового покоління забезпечує підвищення надійності управління автономними суднами та розширення можливостей віддаленого моніторингу їхнього технічного стану.

Досліджуючи процес впровадження MASS, автори роблять висновок, що це істотно впливає на структуру зайнятості в морській галузі. Відбувається зміщення попиту від традиційних морських професій до фахівців у галузі автоматизації, інформаційних технологій і віддаленого управління суднами. Формуються нові освітні програми, спрямовані на підготовку фахівців з експлуатації MASS. На основі проведеного аналізу очевидна необхідність поетапного підходу до автоматизації судноводіння, починаючи з впровадження окремих автономних систем на традиційних суднах і поступово переходячи до більш високих рівнів автономності.

Успішне впровадження MASS вимагає реалізації комплексу організаційно-технічних заходів, включно зі створенням спеціалізованих центрів управління, розробленням нормативно-технічної документації та організацією системи підготовки персоналу. Впровадження MASS є складним технологічним і організаційним процесом, що вимагає комплексного підходу до вирішення широкого спектра технічних, правових і соціальних питань.

Висновок. Проведене дослідження дає змогу зробити низку висновків щодо впливу людського елемента на розвиток і безпечну експлуатацію морських автономних суден. Насамперед встановлено, що підвищення рівня автономності суден не усуває повністю вплив людини, а трансформує характер її взаємодії з системами управління, створюючи нові виклики для безпеки судноплавства. Аналіз статистичних даних і результатів експериментальних досліджень показує, що успішне впровадження MASS вимагає комплексного підходу до розв'язання проблем безпеки, таких як технологічні несправності та людські помилки.

Під час дослідження виявлено, що ключовими факторами, що впливають на безпеку експлуатації MASS, є: якість підготовки операторів і обслуговуючого персоналу, надійність технічних систем і каналів зв'язку, ефективність алгоритмів ухвалення рішень у нестандартних ситуаціях, а також ступінь інтеграції автономних суден в наявну морську інфраструктуру. Особливого значення набуває розробка адаптивних систем управління, здатних враховувати мінливі умови довкілля і забезпечувати оптимальну взаємодію між людиною та автоматизованими системами.

Визначено перспективні напрями розвитку технологій автономного судноводіння, включно з удосконаленням систем штучного інтелекту для прийняття рішень, розвитком комунікаційних технологій для забезпечення надійного зв'язку з віддаленими операторами, створенням ефективних інтерфейсів взаємодії людини з машиною. Дослідження засвідчило необхідність розроблення нових методологічних підходів до оцінювання ризиків, що враховують специфіку автономного судноводіння та особливості взаємодії між оператором та автоматичною системою керування MASS.

Подальші дослідження за даною проблематикою будуть спрямовані на розробку кількісних методів оцінювання ефективності взаємодії між оператором та автоматичною системою керування MASS, створення адаптивних систем підтримки ухвалення рішень, удосконалення методів прогнозування та запобігання аварійним ситуаціям.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Jovanović I., Perčić M., Bahoo Toroody A., Fan A., and Vladimir N. (2024). Review of research progress of autonomous and unmanned shipping and identification of future research directions. *J. Mar. Eng. Technol.* 23, 82-97. Doi:10.1080/20464177.2024.2302249.
2. Li Z., Zhang D., Han B., and Wan C. (2023). Risk and reliability analysis for maritime autonomous surface ship: A bibliometric review of literature from 2015 to 2022. *Accident Anal. Prev.* 187, 107090. Doi:10.1016/j.aap.2023.107090.

3. Liu J., Achurra A., Zhang C., Bury A., and Wang X. (2024). A long short term memory network-based, global navigation satellite system/inertial navigation system for unmanned surface vessels. *J. Mar. Eng. Technol.* 23, 316-328. Doi:10.1080/ 20464177.2024.2334029.
4. Guo M., Zhou X., Guo C., Liu Y., Zhang C., and Bai W. (2024). Adaptive federated filter-combined navigation algorithm based on observability sharing factor for maritime autonomous surface ships. *J. Mar. Eng. Technol.* 23, 98–112. Doi: 10.1080/ 20464177.2024.2305721.
5. Kim M., Joung T.-H., Jeong B., and Park H.-S. (2020). Autonomous shipping and its impact on regulations, technologies, and industries. *J. Int. Maritime Safety Environ. Affairs Shipping* 4, 17-25. Doi: 10.1080/25725084.2020.1779427.
6. Tao J., Liu Z., Wang X., Cao Y., Zhang M., Loughney S., et al. (2024). Hazard identification and risk analysis of maritime autonomous surface ships: A systematic review and future directions. *Ocean Eng.* 307, 118174. Doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.118174.
7. Torskyi V., Rossomakha O., Oberto Santana L. Systematic risk assessment and management in modern shipping: a comprehensive approach to safety analysis. Monograph. – Primedia eLaunch, Boston, USA, 2024. – 114 p.
8. Fan C., Montewka J., Bolbot V., Zhang Y., Qiu Y., and Hu S. (2024). Towards an analysis framework for operational risk coupling mode: A case from MASS navigating in restricted waters. *Reliability Eng. System Saf.* 248, 110176. Doi: 10.1016/j.res.2024.110176.
9. Johansen T. and Utne I.B. (2024). Human-autonomy collaboration in supervisory risk control of autonomous ships. *J. Mar. Eng. Technol.* 23, 135-153. Doi: 10.1080/ 20464177.2024.2319369.
10. Zhou X.Y., Huang J.J., Wang F.W., Wu Z.L., and Liu Z.J. (2020). A study of the application barriers to the use of autonomous ships posed by the good seamanship requirement of COLREGs. *J. Navigation* 73, 710-725. Doi: 10.1017/ s0373463319000924.
11. International Maritime Organization (2025) «IMO – International Maritime Organization». Available at: <https://www.imo.org/> (Accessed: 23 January 2025).
12. Huang Y., and van Gelder P.H.A.J.M. (2020). Collision risk measure for triggering evasive actions of maritime autonomous surface ships. *Saf. Sci.* 127, 104708. Doi: 10.1016/j.ssci.2020.104708.
13. Fan C., Montewka J. and Zhang D. (2022). A risk comparison framework for autonomous ships navigation. *Reliability Eng. System Saf.* 226, 108709. Doi: 10.1016/j.res.2022.108709.
14. Fan C., Bolbot V., Montewka J. and Zhang D. (2024a). Advanced Bayesian study on inland navigational risk of remotely controlled autonomous ship. *Accident Anal. Prev.* 203, 107619. Doi: 10.1016/j.aap.2024.107619.

15. Wróbel K., Montewka J. and Kujala P. (2017). Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety. *Reliability Eng. System Saf.* 165, 155-169. Doi: 10.1016/j.res.2017.03.029
16. Hassani V., Crasta N. and Pascoal A. (2017). *Cyber Security Issues in Navigation Systems of Marine Vessels From a Control Perspective* (Trondheim, Norway: The American Society of Mechanical Engineers (ASME)), 2017 V07BT06A029.
17. Lager M., and Topp E. A. (2019). Remote supervision of an autonomous surface vehicle using virtual reality. *IFAC-PapersOnLine* 52, 387-392. Doi: 10.1016/j.ifacol.2019.08.104
18. Chae C.-J., Kim M. and Kim H.-J. (2020). A study on identification of development status of MASS technologies and directions of improvement. *Appl. Sci.* 10, 4564. Doi: 10.3390/app10134564.
19. Longo G., Martelli M., Russo E., Merlo A. and Zaccone R. (2023). Adversarial waypoint injection attacks on Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) collision avoidance systems. *J. Mar. Eng. Technol.* 23 (3), 184-195. Doi: 10.1080/ 20464177.2023.2298521.

REFERENCE

1. Jovanović I., Perčić M., Bahoo Toroodi A., Fan A. and Vladimir N. (2024). Review of research progress of autonomous and unmanned shipping and identification of future research directions. *J. Mar. Eng. Technol.* 23, 82-97. Doi:10.1080/ 20464177.2024.2302249 [in English] .
2. Li Z., Zhang D., Han B. and Wan C. (2023). Risk and reliability analysis for maritime autonomous surface ship: A bibliometric review of literature from 2015 to 2022. *Accident Anal. Prev.* 187, 107090. Doi:10.1016/j.aap.2023.107090 [in English].
3. Liu J., Achurra A., Zhang C., Bury A. and Wang X. (2024). A long short term memory network-based, global navigation satellite system/inertial navigation system for unmanned surface vessels. *J. Mar. Eng. Technol.* 23, P. 316-328. Doi: 10.1080/ 20464177.2024.2334029 [in English].
4. Guo M., Zhou X., Guo C., Liu Y., Zhang C. and Bai W. (2024). Adaptive federated filter-combined navigation algorithm based on observability sharing factor for maritime autonomous surface ships. *J. Mar. Eng. Technol.* 23, P. 98-112. Doi: 10.1080/ 20464177.2024.2305721 [in English].
5. Kim M., Joung T.-H., Jeong B. and Park H.-S. (2020). Autonomous shipping and its impact on regulations, technologies, and industries. *J. Int. Maritime Safety Environ. Affairs Shipping* 4, P.17-25. Doi: 10.1080/25725084.2020.1779427 [in English].

6. Tao J., Liu Z., Wang X., Cao Y., Zhang M., Loughney S., et al. (2024). Hazard identification and risk analysis of maritime autonomous surface ships: A systematic review and future directions. *Ocean Eng.* 307, 118174. doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.118174 [in English].
7. Torskyi V., Rossomakha O., Oberto Santana L. Systematic risk assessment and management in modern shipping: a comprehensive approach to safety analysis. Monograph. – Primedia eLaunch, Boston, USA, 2024. – 114 p. [in Ukrainian].
8. Fan C., Montewka J., Bolbot V., Zhang Y., Qiu Y. and Hu S. (2024). Towards an analysis framework for operational risk coupling mode: A case from MASS navigating in restricted waters. *Reliability Eng. System Saf.* 248, 110176. Doi: 10.1016/j.ress.2024.110176 [in English].
9. Johansen, T. and Utne, I. B. (2024). Human-autonomy collaboration in supervisory risk control of autonomous ships. *J. Mar. Eng. Technol.* 23, 135–153. Doi: 10.1080/20464177.2024.2319369 [in English].
10. Zhou X. Y., Huang J. J., Wang F. W., Wu Z. L. and Liu Z. J. (2020). A study of the application barriers to the use of autonomous ships posed by the good seamanship requirement of COLREGs. *J. Navigation* 73, P. 710-725. Doi: 10.1017/s0373463319000924 [in English].
11. International Maritime Organization (2025) «IMO – International Maritime Organization». Available at: <https://www.imo.org/> (Accessed: 23 January 2025). [in English].
12. Huang Y. and van Gelder P.H.A.J.M. (2020). Collision risk measure for triggering evasive actions of maritime autonomous surface ships. *Saf. Sci.* 127, 104708. Doi: 10.1016/j.ssci.2020.104708 [in English].
13. Fan C., Montewka J. and Zhang D. (2022). A risk comparison framework for autonomous ships navigation. *Reliability Eng. System Saf.* 226, 108709. Doi: 10.1016/j.ress.2022.108709 [in English].
14. Fan C., Bolbot V., Montewka J. and Zhang D. (2024a). Advanced Bayesian study on inland navigational risk of remotely controlled autonomous ship. *Accident Anal. Prev.* 203, 107619. Doi: 10.1016/j.aap.2024.107619 [in English].
15. Wróbel K., Montewka J. and Kujala P. (2017). Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety. *Reliability Eng. System Saf.* 165, 155-169. doi: 10.1016/j.ress.2017.03.029 [in English].
16. Hassani V., Crasta N., and Pascoal A. (2017). Cyber Security Issues in Navigation Systems of Marine Vessels From a Control Perspective (Trondheim, Norway: The American Society of Mechanical Engineers (ASME)), 2017 V07BT06A029 [in English].

17. Lager M. and Topp E.A. (2019). Remote supervision of an autonomous surface vehicle using virtual reality. IFAC-PapersOnLine 52, P. 387-392. Doi: 10.1016/j.ifacol.2019.08.104 [in English]
18. Chae C.-J., Kim M. and Kim H.-J. (2020). A study on identification of development status of MASS technologies and directions of improvement. Appl. Sci. 10, 4564. Doi: 10.3390/app10134564 [in English].
19. Longo G., Martelli M., Russo E., Merlo A. and Zaccone R. (2023). Adversarial waypoint injection attacks on Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) collision avoidance systems. J. Mar. Eng. Technol. 23 (3), P. 184-195. Doi: 10.1080/20464177.2023.2298521 [in English].

Стаття надійшла до редакції 24.12.2024

Посилання на статтю: Томчаковський Г.Г., Россомаха О.І., Оберто Сантана Л.Е., Саф'ян О.С., Колеснік О.В Аналіз людського елемента в контексті розвитку морських автономних надводних суден // *Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць*, 2025. № 1 (75). С. 108-121. DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-108-121.

Article received 24.12.2024

Reference a journal artic: Tomchakovsky G., Rossomakha O., Oberto Santana L., Safyan O., Koliesnik O. Analysis of the human element in the context of the development of marine autonomous surface vessels // *Herald of the Odesa national maritime university: Coll. scient. works*, 2025. № 1 (75). P. 108-121. DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-108-121.