

**РОЗВИТОК ДИСТАНЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КЕРУВАННЯ СУДНОМ
ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА**

**О.М. Мельник¹, О.А. Онищенко², А.О. Волошин³,
Н.В. Васалатій⁴, О.В. Логінов⁵, К.С. Корякін⁶**

¹к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-9228-8459

²д.т.н., професор кафедри технічної експлуатації флоту,
Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-3766-3188

³к.т.н., професор кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3993-5826

⁴к.г.н., доцент кафедри навігації і керування судном,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-7188-9922

⁵к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4540-731X

⁶старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-2388-645X

Анотація

Останнім часом великі надії покладаються на розвиток автоматизованих та автономних суден, як на спосіб вирішення проблем аварійності флоту, спричинених людським фактором, та проблем, пов'язаних з браком кадрів або нестачею кваліфікованих спеціалістів. Штучний інтелект також грає не останню роль, адже для реалізації технологій автономного судноводіння в майбутньому, буде потрібно розроблення і удосконалення процесів, спрямованих на розробку систем автоматичного маневрування, які не будуть обмежуватися набором функцій, що допомагають у процесі маневрування, а будуть містити конкретні алгоритми прийняття рішень та порядок дій для запобігання небезпечному зближенню суден. Метою даної роботи є аналіз передумов виникнення концепції автономного судноводіння, огляд етапів впровадження та перспектив дистанційного керування суднами на основі безпілотних технологій, аналіз технічних та інтелектуальних рішень для морських автономних надводних суден. Результати. В представленій роботі розкриті теоретичні аспекти процесу впровадження автономного судноводіння, визначені основні тенденції подальших досліджень, сформульовано коло специфічних технологічних задач, що потребують розв'язання. Висновки. В ході дослідження встановлено, що технології автономного судноводіння потребують подальшої розробки та вдосконалення, особливо в частині вдосконалення протоколів передачі даних, датчиків навігаційної інформації і автоматичних систем

управління рухом, що дозволяє здійснювати моніторинг обладнання з метою поліпшення функцій контролю за рухом автономного судна.

Ключові слова: автономне судно, дистанційні технології керування, безпека судноводіння, контроль руху судна.

DEVELOPMENT OF REMOTE TECHNOLOGIES OF SHIP CONTROL AS A FACTOR FOR ENSURING SHIPPING SAFETY

O.M. Melnyk¹, O.A. Onyshchenko², A.O. Voloshyn³,
N.V. Vasalati⁴, O.V. Lohinov⁵, K.S. Koriakin⁶

¹PhD in Engineering, Senior Lecturer at the Department of Navigation and Maritime Security,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-9886-6069

²Doctor of Engineering, Professor at the Department of Maintenance of Fleet,
National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-3766-3188

³PhD in Engineering, Professor at the Department of Navigation and Maritime Security,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3993-5826

⁴PhD in Geography, Senior Lecturer at the Department of Navigation and Maritime Security,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-7188-9922

⁵PhD in Engineering, Senior Lecturer at the Department of Navigation and Maritime Security,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-4540-731X

⁶Assistant Professor at the Department of Navigation and Maritime Security,
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-2388-645X

Summary

Introduction. Nowadays great hopes are laid on development of automated and autonomous ships as a way to solve problems of ship accidents, which are caused by human factor, and to solve the issue of manpower shortage or unavailability of qualified seafarers. There is an opinion, that in order to implement technologies of autonomous ship navigation, in the future it will be necessary to improve the processes, aimed at the development of automatic maneuvering systems, which are not limited to a set of functions that help in the maneuvering process but contain specific algorithms for decision making and actions to prevent unsafe convergence of ships. **The purpose of this work** is to analyze the background of the origin of the autonomous ship navigation concept, review the stages of implementation and the prospects of remote ship control on the basis of crewless technology, the basic tendencies of research, analysis of technical and intellectual solutions for maritime autonomous surface ships. **Results.** This paper covers theoretical aspects of the process of implementation of autonomous ships, identifies the main trends of further research, and formulates a number of specific technological problems that require solutions. **Conclusions.** The research revealed that the technology of autonomous ship navigation requires further development and improvement, especially in the data transmission protocols, sensors and automatic control systems, which allows

the monitoring of the equipment with the aim of improving the control function of the autonomous ship.

Key words: *autonomous ship, remote control technologies, crewless navigation, ship control.*

Постановка проблеми. Процес адаптації програмного забезпечення, електронних систем керування, оптичних і цифрових засобів моніторингу, а також засобів супутникового зв'язку для автономних суден – серед завдань, які потребують пошуку перспектив вдосконалення та розробки технічних рішень. Забезпечення надійного та безпечного функціонування таких суден в автономному режимі, вимагає розробки моделей і методів забезпечення їх безаварійної навігації як для процесів розходження та маневрування суден, так і вдосконалення систем автоматичного управління їх рухом та курсовою стійкістю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням впровадження технологій автономного судноводіння і принципам функціонування бортових систем керування автономним судном присвячені праці численних вчених. Автономне суднопластво та його вплив на правила і стандарти безпеки у галузі, специфіка експлуатації автономних суден вивчено у [1–4]. Методам управління безпекою під час експлуатації дистанційно керованих суден присвячено [5; 6]. У [7–9] досліджено використання інфрачервоного випромінювання, як системи допомоги при швартуванні, вивчено методи керування автономним судном та проблеми, що виникають при їх експлуатації. Роботи, що присвячені впровадженню концепції автономного судноводіння, питанням автономної морської навігації, в межах вирішення задач по знаходженню оптимального та безпечного маршруту автономного судна та руху автономного судна за побудованим маршрутом зі збереженням морехідних якостей та контролем відхилення від маршруту [10–15]. Інші питання [15–20], що присвячені дослідженням основ забезпечення безпечної експлуатації суден та аналізу системно-теоретичної структури управління безпекою суднопластва. Таким чином визначення шляхів реалізації концепції безпілотних суден в контексті з електронною та автономною навігацією серед актуальних завдань, які потребують подальших досліджень.

Виклад основного матеріалу. Морські перевезення є похідною від попиту на товари, основною метою якої є підтримка торгівлі, бізнесу та комерційних відносин у різних масштабах, як глобальних так і внутрішніх. За останніми оцінками, 89,5 % світової торгівлі здійснюється завдяки використанню морського транспорту. Згідно з даними ЮНКТАД, у 2020 році численність світового торговельного флоту зросла на 3 % і налічувала 99800 суден загальною складністю, валовою місткістю більше 100 брутто реєстр. тон. Протягом наступного 2021 року ця тенденція зростання продовжувалась. Станом на січень 2021 року провізна спроможність становила 2,13 млрд тон дедвейту. Але варто додати, що обсяги постачання суден дещо скоротилися, частково через режим ізоляції покликаний пандемією та з причини браку робочої сили, які вносили корективи в роботу морської галузі. Серед суден, зданих в експлуатацію основна частка припадала на балкери, за ними прямували нафтові танкери та контейнеровози. В умовах обмеженої пропозиції суден власники та оператори також купували більше старих суден, що викликало зростання

цін. У 2021 році зросли і темпи утилізації суден, хоча порівняно з попередніми роками вони залишаються низькими. Також протягом року замовлення на нові судна скоротилися на 16 %, демонструючи продовження знижувальної тенденції, яка спостерігалася у попередні роки. Водночас на початку 2021 року судноплавні компанії відреагували на брак провізної здатності різким збільшенням нових замовлень, особливо на судна контейнеровози, замовлення на які досягли найвищого за останні два десятиліття рівня. Також аналогічні показники замовлень і на будівництво газозовів. Відповідно збільшення чисельності світового флоту неминуче до зростання попиту на кваліфіковані морські кадри, проблеми з постачанням яких вкрай актуальні. За останніми статистичними даними, у 2021 році дефіцит офіцерів на судах торговельного флоту вже складав 26 240 осіб, тоді як за попередні п'ять років він прогнозувався лише на рівні 16 500 осіб.



Рис. 1. Світовий морський торговельний флот за типами суден 2022 р.

З кінця минулого століття спостерігається експоненційний розвиток морських технологій, які так чи інакше в перспективі змінять класичне розуміння системи судноплавства, і разом з цим організацію процесу керування суднами. На даний момент, слід виділити три найпомітніші тенденції, які визначатимуть подальший курс на цифровізацію судноплавної галузі, а саме смарт технології, які будуть здатні контролювати всі системи судна, зелені технології в судноплаванні, які підвищують екологічні стандарти, та поява безпілотних або безекіпажних суден. З приводу цього, останнім часом у різних країнах світу ведуться активні дослідження та розробки, включаючи демонстраційні експерименти, з метою практичного застосування суден-прототипів, які більш відомі як морські автономні надводні судна (МАНС), тобто безпілотні автономні судна. Незважаючи на

деякі відмінності в рівні зацікавленості кожної з країн, цілі досліджень і розробок у сфері МАНС можна класифікувати саме як розробка заходів щодо підвищення безпеки експлуатації суден, а також зниження навантаження щодо керування судном на екіпаж. Паралельно цим задачам просліджується ідея використання таких суден, як відповідь на нестачу моряків. Серед інших трендів: це зниження впливу на довілля, зниження вартості експлуатації суден. Перелічене можна об'єднати в чотири ключові тенденції, а саме:

- а) повсюдне впровадження нових досягнень науково-технічного прогресу;
- б) прогнозована нестача кваліфікованих кадрів для морської галузі;
- в) прагнення максимально знизити вплив людського фактору з метою ефективного забезпечення безпеки на морі;
- г) природне бажання судновласників заощадити на одній із суттєвих витрат – утримання екіпажу.

Все це зумовило появу та стрімкий розвиток абсолютно нового, з погляду на принципи керування, типу суден – морських автономних надводних суден.



Рис. 2. Затребуваність морських офіцерів відповідно до основних країн постачальників кадрів на світовому ринку праці 2021 р.

Офіційне визначення щодо термінології МАНС та його значення, що використовується на сучасному етапі, можуть відрізнитися, оскільки визначення МАНС все ще знаходиться на стадії вивчення ISO/AWI 23860 у Міжнародній організації зі стандартизації. Однак слід розібратися в поняттях та дати визначення дефініціям автоматизоване судно, автономне судно та безпілотне судно.

Автоматизоване судно означає конвенційне судно, у процесі виробничої діяльності якого використовується будь-який тип автоматичної функції керування, через що воно здатне здійснювати навігаційні переходи без безпосереднього керування людиною, а за допомогою пристроїв, пов'язаних з навігацією, керуванням рухом судна та його силовою установкою.

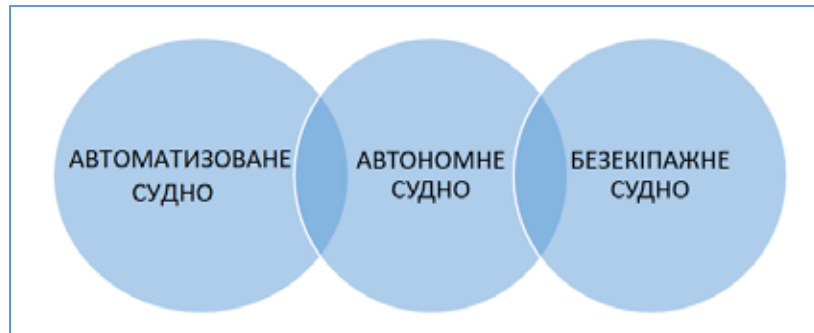


Рис. 3. Основні типи безпілотних суден

Наступним етапом є автономне судно, під яким слід розуміти автоматизоване судно, яке облаштовано системою розпізнавання об'єктів навколо судна за допомогою різних типів датчиків, визначення ступеня небезпеки об'єктів відповідно до наявності ризику зіткнення. А також алгоритмів здійснення заходів у вигляді маневру щодо уникнення зіткнення з об'єктами, якщо така небезпека існує, та повернення на заданий курс після завершення дій щодо ухилення, можуть бути виконані автоматично без втручання людини. Як відома система керування курсом судна та утримання його заданому курсі не мають когнітивної функції розпізнавання об'єктів та уникнення перешкод, тому автоматична система керування, що включає цю когнітивну функцію, стала важливою характеристикою таких суден і подальшого розвитку технології у цьому напрямку. Втім такі технології стосуються лише суден, які проектується з функціями, що забезпечують виконання операції, які пов'язані з процесом керуванням судна без втручання людини, і не пов'язані з фактом наявності екіпажу на борту, який може виконувати операції з маневрування.

Безекіпажне (безпілотне) судно – це судно, на якому немає фізичної присутності членів екіпажу, і воно у свою чергу є різновидом автоматизованого судна. Такий тип судна або оснащений функціями вищезгаданого автономного судна, на якому здійснюються процес судноводіння на основі команд для маневрування на судно, які передаються від людини-оператора, що знаходиться у віддаленому місці за допомогою супутникових засобів зв'язку. Слід підкреслити, що хоча визначення такого типу судна означає безекіпажне (хоча від цієї термінології поступово відходять), воно може перевозити пасажирів. Враховуючи можливість втрати або переривання зв'язку з віддаленим центром управління, можна припустити, що такий тип буде оснащений функціями автономного судна. Водночас судно, яке не оснащено функціями автономного плавання, але керується дистанційно шляхом передачі навігаційних команд, пов'язаних з роботою систем керування його рухом, також може бути класифіковано як безпілотне навігаційне судно, за умови, що на ньому немає екіпажу, який може виконувати маневрені операції.

Берегова станція супроводу – центр дистанційного керування судном, один з важливих компонентів, який також має суттєві особливості у процесі випробувань даних технологій. Будучи аналогом диспетчерської вежі цей істотний елемент відіграє першорядну роль у процесі трансформації технологій автономного

судноводіння в комерційну реальність, збираючи метеорологічні та навігаційні дані, а також іншу інформацію з безпеки мореплавання, контролюючи робочий стан судна, його систем та стан машинного відділення, дозволяючи керувати судном як дистанційно з використанням супутникових технологій, включаючи випадки надзвичайних ситуацій, так і супроводжуючі судно і контролюючи його під час портових операцій із повноцінним використанням каналів зв'язку «земля-море», з наданням підтримки у будь-який момент часу.

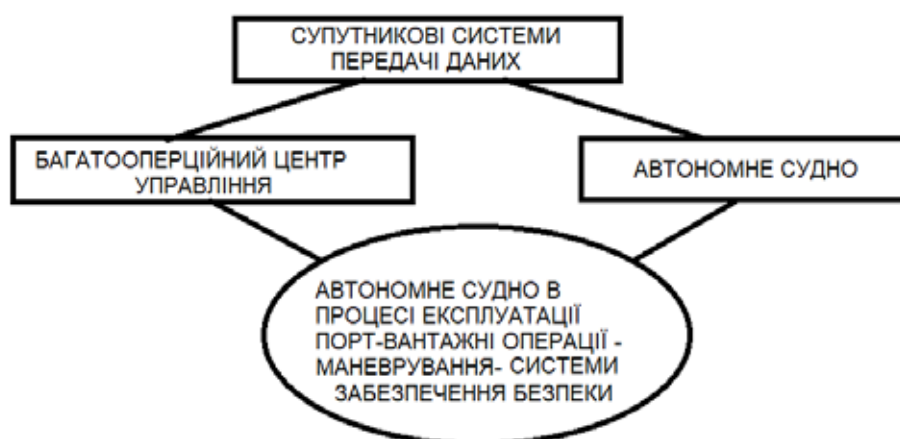


Рис. 4. Схема управління процесами МАНС

Системи керування МАНС та утримання його на заданому курсі, які вже встановлені на багатьох існуючих судах, є прикладами функцій автоматичного керування, і судно, яке здійснює навігацію з використанням цих функцій, також є судном з автоматичною навігацією. Як описано вище, автономне судно та безпілотне судно також використовують функції автоматичного керування і таким чином є типами автоматизованого судна у якому реалізовані наступні функції: плавання за заданим курсом з певною швидкістю, уникання перешкод, маневри по розходженню, прискорення та уповільнення швидкості ходу, перехід із стану плавання в стан якірної стоянки, перехід із стану на якорі в стан плавання шляхом та швартувальні операції в порту.

Напевно найголовнішою проблемою в сучасних умовах щільного суднопотоку залишається вдосконалення технологій уникнення перешкод або маневри з розходження під час плавання, де першою вимогою є функція виявлення перешкод на маршруті МАНС. Ця функція виявлення не обмежується лише виявленням інших суден, але також включає судна що не мають ходу відносно води (некеровані судна), судна з обмеженою здатністю маневрувати тощо, а також рибальські мережі та буї, плавучі об'єкти та буї каналу. У даному випадку завдання що постає, це необхідність оцінки відмінностей в порядку пріоритету залежно від ситуації зустрічі та умов навігації, і відповідно визначення алгоритмів уникання небезпечного зближення або зіткнення. Тому щодо технологій виявлення

перешкод у багатьох країнах ведеться розробка систем, що використовують штучний інтелект (ШІ). В даний час ведеться робота над системою оцінки перешкод, яких слід уникати, і перешкод, яких не потрібно уникати, наприклад водоплавних птахів тощо, але в майбутньому очікується, що автоматичне виявлення ШІ стане можливим тому мінімальною функцією уникнення перешкоди слід вважати ідентифікацію перешкоди і зупинку судна заздалегідь до того, як воно зіткнеться з перешкодою. Що стосується автоматизованого швартування до причалу та відшвартування судна, процес керування або процес маневрування судна можна спростити, забезпечивши відповідні причали для автоматизованих суден. Цілком зрозуміло, що контроль маршруту переходу судна ведеться за допомогою встановлених камер відеоспостереження, які забезпечують функції, необхідні для управління рухом МАНС.

Питання зниження витрат протягом ходового часу за рахунок розробки та впровадження більш точних систем управління рухом судна та утримання його на заданому курсі, а також зменшення гальмівної дії корпусу та керма залишаються серед актуальних завдань. Багато технічних і дослідницьких центрів займаються розробкою систем автоматичного рульового керування для використання на дистанційно керованих автономних суднах, які будуть використовуватися в навігаційних системах і системах управління рухом та стабілізації курсу суден у межах комп'ютеризації процесу керування МАНС. Такі системи використовують автоматичну систему для керування судном на ходу, включаючи алгоритми маневрування відповідно до Міжнародних правил запобігання зіткненням суден у морі (COLREG). Система має три режими: режим стеження, режим курсу та повільне керування джойстиком. У «режимі стеження» система веде судно за заздалегідь узгодженим маршрутом. Якщо МАНС виявляє інше судно, для розходження з яким слід використовувати маневрування, система перемикається в «режим маневру», який дозволяє виконувати необхідні маневри для ухилення від іншого судна, змінюючи курс судна. Далі система повертається в «режим курсу» після того, як небезпека зникає. Коли функція джойстика активована, елементи керування та силове обладнання налаштовані на маневрування на низькій швидкості, що дозволяє керувати системами за допомогою джойстика, наприклад, маневрувати судном біля причалу. Автопілот запрограмований таким чином, щоб судно завжди залишалось на заданій відстані від запланованого маршруту. Якщо ці межі перевищено, автопілот видає попередження, і в такому випадку режим дистанційного керування скасовується.

Для натурних випробувань об'єктами моделювання обираються судна невеликої водотоннажності, у рульовій системі яких встановлюється малоінерційний електрокерований поворотний пристрій. У цьому пристрої практично відсутнє обмеження по частоті повороту керма, що дозволяє створювати вискоелективні системи автоматичного утримання судна на заданому курсі, в яких максимальний кут повороту керма становить 35 градусів.

Структура даної системи характеризується передаточною функцією, яка описує її властивості. Проведена попередня ідентифікація параметрів об'єкту дозволяє прийняти для моделювання такі параметри передавальних функцій системи стабілізації.

a) Рульовий пристрій МАНС;

$$W_{PI}(C) = \frac{20}{0,2s + 1}. \quad (1)$$

Конструктивна модель рульового приводу враховує обмеження вихідного сигналу $\pm 35^\circ$.

b) Судно (МАНС);

При номінальних умовах експлуатації судна:

$$W_{НОМ}(C) = \frac{1,4s + 1}{41s^2 + 14s + [1 + H(s)]}. \quad (2)$$

Коефіцієнти K , v_1 , v_2 , що входять до виразу $H(s)$, практично не змінюються в залежності від стану завантаження судна. Тому вони вважаються постійними для будь-яких умов експлуатації судна ($K = 0,93$, $v_1 = -0,016$, $v_2 = 0,0014$).

c) Негативний відгук;

$$W_{HB}(C) = \frac{1,0}{0,1s + 1}. \quad (3)$$

d) Вітрові та хвильові збудження;

Збурення, які відхиляють курс судна від заданого значення, можна описати сумою трьох-чотирьох синусоїдальних сигналів різної амплітуди, частоти та фази.

e) ПИД – регулятор (Пропорційно-інтегральний регулятор);

Для оцінки властивостей системи стабілізації курсу судна параметри ПИД приймаються постійними для достатньо великих змін передатної функції $W_{НОМ}(C)$. Виконано синтез настроювальних параметрів ПИД-регулятора з обмеженням вихідного сигналу на рівні 10 град. для зазначених вище передатних функцій судна, рульової машини та датчика зворотного зв'язку. До налаштування ПИД-регулятора висуваються наступні вимоги: перерегулювання не більше 1,5 з мінімальним часом перехідного процесу $W_{НОМ}(C)$, передавальна функція ПИД-регулятора має наступні значення параметрів налаштування.

$$W_{ПИД}(C) = P + I / C + D \frac{N}{1 + N / C}, \quad (4)$$

Пропорційна складова: $P = 0,013$, інтегральна складова $I = 0,0016 \text{ с}^{-1}$, диференціальна складова: $D = 0,08 \text{ с}$, коефіцієнт фільтрації: $N = 0,9$.

Таким чином, в результаті застосування даної моделі в прототипах МАНС було продемонстровано підвищення точності курсової стабілізації, яка збільшується на 10–17 % при зниженні частоти перекладання керма на 8–12 % і зменшенні витрат палива (за середньостатистичний рейс і середні статистичні збурення вітрового і хвильового впливу для конкретного району плавання) на 3–7 %.

Висновки. Слід визнати той факт, що процес вироблення законодавства та створення нормативів страхування для автономних суден займає більш істотну частку часу ніж розроблення та впровадження самих технологій дистанційного керування. Тим не менш, в першу чергу можуть бути змінені вимоги щодо мінімально необхідної кількості осіб на борту, незалежно від того, чи є ці судна повністю автономними, чисельність екіпажу буде скорочуватися через впровадження навігаційних систем, оснащених автоматизованими засобами запобігання зіткненню суден. Але паралельно з цим існує потреба в розробці програмного забезпечення для обробки значних обсягів інформації, аналітика та телеметрія можливих проблем з прототипами, їх датчиками, двигунами, кермовим пристроям та інше, що можливість на основі аналізу цих даних передбачувати періоди необхідної заміни вузлів та механізмів, планувати техобслуговування та як результат, запобігати аварійності обладнання. З іншого боку, необхідно активно розвивати діяльність із розробки стандартів і правил, починаючи з етапу розвитку технологій. Також за необхідне є вжиття заходів, спрямованих на міжнародну стандартизацію, включаючи узагальнення вимог щодо безпеки для реалізації проектів безпілотних суден, розробку положень щодо страхування та правових засад у відповідності до всіх міжнародних конвенцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shimizu E. Recent (2021) Trends and Issues for Practical Application of MASS. Class NK Technical Journal No. 3
2. Alsos, Ole & Hodne, Philip & Skåden, Oskar & Porathe, Thomas. (2022). Maritime Autonomous Surface Ships: Automation Transparency for Nearby Vessels. Journal of Physics: Conference Series. 2311. 012027. 10.1088/1742-6596/2311/1/012027.
3. Огляд морського транспорту – 2021, Організація Об'єднаних Націй. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2021summary_ru.pdf
4. Rokseth, Børge & Haugen, Odd & Utne, Ingrid. (2019). Safety Verification for Autonomous Ships. MATEC Web of Conferences. 273. 02002. 10.1051/mateconf/201927302002.
5. Yang, Ruochen & Utne, Ingrid. (2022). Towards an online risk model for autonomous marine systems (AMS). Ocean Engineering. 251. 111100. 10.1016/j.oceaneng.2022.111100.
6. Bremnes, Jens & Norgren-Aamot, Petter & Sørensen, Asgeir & Thieme, Christoph & Utne, Ingrid. (2019). Intelligent Risk-Based Under-Ice Altitude Control for Autonomous Underwater Vehicles. 1–8. 10.23919/OCEANS40490.2019.8962532.
7. Nakarith N. and P. Iamraksa, “The study of using infrared as docking aid system for boat”, In: Proceedings of the ACDT 2015, The 1st Asian Conference on Defense Technology.
8. Filimonov V. “Autonomous ships and the difficulties of their operation”, Baltic Lloyd (2020).
9. Yudin Y., Gololobov A., Stepakhno A. “Method of Parameter Calculation of Mathematical Model of Vessel”, MGTU Bulletin (2009), 12, pp. 5–9.

10. Chong J. C. “Impact of maritime autonomous surface ships (MASS) on VTS operations”, World Maritime University Dissertations (2018) Malmo, Sweden.
11. Pietrzykowski Z., Hajduk J. “Operations of Maritime Autonomous Surface Ships”, TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (2019) 13, pp. 725–733.
12. I. Kurt and M. Aymelek, “Operational and economic advantages of autonomous ships and their perceived impacts on port operations”, Maritime Economics & Logistics (2022) 24.
13. T. E. Kim, L. Perera, M. P. Sollid, B. M. Batalden, and A. Sydnes, “Safety challenges related to autonomous ships in mixed navigational environments”, WMU Journal of Maritime Affairs (2022).
14. L. P. Perera, “Deep Learning Toward Autonomous Ship Navigation and Possible COLREGs Failures”, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (2020) 143, 3.
15. T. E. Kim and S. Mallam, “A Delphi-AHP study on STCW leadership competence in the age of autonomous maritime operations”, WMU Journal of Maritime Affairs (2020) 19, pp. 163–181.
16. 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, vol. 22 (03), 135–140. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.3.18>.
17. Burmaka, I., Vorokhobin I., Melnyk, O., Burmaka, O., Sagin, S. (2022) Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to alter Ship’s Course or Speed, Transactions on Maritime Science, 11(1). DOI: 10.7225/toms.v11.n01.w01.
18. Melnyk, O., Bychkovsky, Yu., Shumylo, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Voloshyn, A., Cheredarchuk, N. Study of the risk assessment quality dependence on the ships accidents analysis. Scientific Bulletin of Naval Academy, Vol. XXV 2022, pp. 136–146. <https://doi.org/10.21279/1454-864X-22-11-015>
19. Мельник О.М. Сучасна методика оцінки рівню безпеки судна та шляхи його підвищення. *Розвиток транспорту*. 2021. № 2 (9). С. 37–46. <https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.03>.
20. Мельник О.М. Врахування фактору стресу у системі забезпечення безпеки мореплавства. *Вчені записки ТНУ ім Вернадського. Технічні науки*. 2021. 32(71) № 4. С. 260–264. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/39>

REFERENCES

1. Shimizu E. Recent (2021) Trends and Issues for Practical Application of MASS. Class NK Technical Journal No. 3
2. Alsos, Ole & Hodne, Philip & Skåden, Oskar & Porathe, Thomas. (2022). Maritime Autonomous Surface Ships: Automation Transparency for

- Nearby Vessels. *Journal of Physics: Conference Series*. 2311. 012027. 10.1088/1742-6596/2311/1/012027.
3. Review of maritime transport – 2021, United Nations Organization. URL: https://unctad.org/system/files/officialdocument/rmt2021summary_ru.pdf
 4. Rokseth, Børge & Haugen, Odd & Utne, Ingrid. (2019). Safety Verification for Autonomous Ships. *MATEC Web of Conferences*. 273. 02002. 10.1051/mateconf/201927302002.
 5. Yang, Ruochen & Utne, Ingrid. (2022). Towards an online risk model for autonomous marine systems (AMS). *Ocean Engineering*. 251. 111100. 10.1016/j.oceaneng.2022.111100.
 6. Bremnes, Jens & Norgren-Aamot, Petter & Sørensen, Asgeir & Thieme, Christoph & Utne, Ingrid. (2019). Intelligent Risk-Based Under-Ice Altitude Control for Autonomous Underwater Vehicles. 1–8. 10.23919/OCEANS40490.2019.8962532.
 7. N. Nakarith and P. Iamraksa, “The study of using infrared as docking aid system for boat”, In: *Proceedings of the ACDT 2015, The 1st Asian Conference on Defense Technology*.
 8. V. Filimonov. *Autonomous ships and the difficulties of their operation*. Baltic Lloyd (2020).
 9. Y. Yudin, A. Gololobov and A. Stepakhno, “Method of Parameter Calculation of Mathematical Model of Vessel”, *MGTU Bulletin* (2009), 12, pp. 5–9.
 10. J. C. Chong, “Impact of maritime autonomous surface ships (MASS) on VTS operations”, *World Maritime University Dissertations* (2018) Malmo, Sweden.
 11. Z. Pietrzykowski and J. Hajduk, *Operations of Maritime Autonomous Surface Ships*. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* (2019) 13, pp. 725–733.
 12. I. Kurt and M. Aymelek, “Operational and economic advantages of autonomous ships and their perceived impacts on port operations”, *Maritime Economics & Logistics* (2022) 24.
 13. T. E. Kim, L. Perera, M. P. Sollid, B. M. Batalden, and A. Sydnes, “Safety challenges related to autonomous ships in mixed navigational environments”, *WMU Journal of Maritime Affairs* (2022).
 14. L. P. Perera, “Deep Learning Toward Autonomous Ship Navigation and Possible COLREGs Failures”, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (2020) 143, 3.
 15. T. E. Kim and S. Mallam, “A Delphi-AHP study on STCW leadership competence in the age of autonomous maritime operations”, *WMU Journal of Maritime Affairs* (2020) 19, pp. 163–181.
 16. 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*, vol. 22 (03), 135–140. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.3.18>.

17. Burmaka, I., Vorokhobin I., Melnyk, O., Burmaka, O., Sagin, S. (2022) Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to alter Ship's Course or Speed, Transactions on Maritime Science, 11(1). <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
18. Melnyk, O., Bychkovsky, Yu., Shumylo, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Voloshyn, A., Cheredarchuk, N. Study of the risk assessment quality dependence on the ships accidents analysis. Scientific Bulletin of Naval Academy, Vol. XXV 2022, pp. 136–146. <https://doi.org/10.21279/1454-864X-22-II-015>
19. Melnyk O., Bychkovsky Yu. (2021). Modern methods of ship safety level assessment and ways of its improvement. Transport development. No. 2 (9). P. 37-46. <https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.03>.
20. Melnyk O., Bychkovsky Yu. (2021). Consideration of stress factor in the system of ensuring safety of navigation. Notes of Vernadsky TNU. Technical sciences. 32(71) № 4. С. 260–264. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/39>.