

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ  
ТА НАДІЙНОСТІ АВТОНОМНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ  
НА ПРИКЛАДІ СУДНА**

**В.І. Чимшир**

д.т.н., професор кафедри «Суднових енергетичних установок і систем»,  
Дунайський інститут Національного університету

«Одеська морська академія»

ORCID ID: 0000-0003-3621-2702

**Анотація**

**Вступ.** Забезпечення безпеки та надійності автономних судів є актуальним та важливим завданням, яке потребує комплексного підходу. Визначено, що розробка нових технологій та методів, а також удосконалення стандартів та регуляторної політики можуть суттєво підвищити рівень безпеки та надійності автономних судів.

В процесі дослідження було з'ясовано, що концептуальні засади підвищення безпеки та надійності автономних суден полягають в системі підходів кожен з яких розкриває цілу низку проблем, які потребують досконалого вивчення та вирішення. Завдяки детальному аналізу підходів було визначено напрямки підвищення безпеки та надійності суден за рахунок методів, алгоритмів, інструкцій та регуляцій, які ще повинні бути розроблені та з часом удосконалені.

**Метою даного дослідження є** визначення концептуальних засад до підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем на прикладі суден.

**Результати.** В основу концептуальних засад підвищення безпеки та надійності автономних суден були покладені три підходи це: розробка алгоритмів та методів ймовірнісного аналізу та машинного навчання, розробка стандартів та регуляторних політик та управління ризиками.

Перший підхід заснований на системному аналізі ризиків, який дозволяє виявити потенційні небезпеки та оцінити ймовірність їх виникнення. Запропоновані заходи для управління ризиками, які можуть включати зміну конструкції судна, поліпшення системи управління, навчання та сертифікацію екіпажу та інші. Другий запропонований підхід пов'язано з розробкою стандартів та регуляторних політик та включає в себе п'ять основних напрямків, це: встановлення вимог до автономних судів; встановлення вимог до персоналу; встановлення вимог до методів випробувань та сертифікації; встановлення вимог до систем моніторингу та управління ризиками; встановлення вимог до взаємодії автономних судів. Третій підхід полягає в розробці алгоритмів та методів ймовірнісного аналізу та машинного навчання.

**Висновки.** Кожен із підходів до підвищення безпеки та надійності автономних суден було розглянуто та надані пропозиції щодо подальшого їх удосконалення.

**Ключові слова:** підвищення безпеки, надійність, автономність, судно, технічна система.

CONCEPTUAL PRINCIPLES OF IMPROVING THE SAFETY  
AND RELIABILITY OF AUTONOMOUS TECHNICAL SYSTEMS USING  
A SHIP AS AN EXAMPLE

V.I. Chymshyr

D.Sc., Professor of the Department of Ship Power Plants and Systems,  
Danube Institute of the National University  
"Odesa Maritime Academy"  
ORCID ID: 0000-0003-3621-2702

**Summary**

**Introduction.** Ensuring the safety and reliability of autonomous ships is an urgent and important task that requires a comprehensive approach. It has been determined that the development of new technologies and methods, as well as the improvement of standards and regulatory policies, can significantly increase the level of safety and reliability of autonomous ships.

In the course of the research, it was found that the conceptual principles of improving the safety and reliability of autonomous vessels lie in a system of approaches, each of which reveals a whole range of problems that require thorough study and resolution. Thanks to a detailed analysis of these approaches, directions for improving the safety and reliability of ships through the use of methods, algorithms, instructions, and regulations that still need to be developed and improved over time have been identified.

**Purpose.** Defining the conceptual foundations for improving the safety and reliability of autonomous technical systems using the example of ships.

**Results.** The conceptual principles of improving the safety and reliability of autonomous ships are based on three approaches: the development of algorithms and methods for probabilistic analysis and machine learning, the development of standards and regulatory policies, and risk management.

The first approach is based on a systemic risk analysis, which allows identifying potential hazards and assessing the probability of their occurrence. Proposed risk management measures may include changes to the ship's design, improvements to the management system, crew training and certification, and others. The second proposed approach is related to the development of standards and regulatory policies and includes five main directions: establishing requirements for autonomous vessels, establishing requirements for personnel, establishing requirements for testing and certification methods, establishing requirements for risk monitoring and management systems, and establishing requirements for autonomous vessel interactions. The third approach involves developing algorithms and methods for probabilistic analysis and machine learning.

**Conclusions.** Each of these approaches to improving the safety and reliability of autonomous ships has been considered, and proposals for their further improvement have been made.

**Key words:** safety improvement, reliability, autonomy, ship, technical system.

**Вступ.** Автономні технічні системи стають все більш поширеними і відіграють важливу роль у різних сферах людської діяльності, починаючи від промисловості

та закінчуючи авіаційною та суднобудівельною. Однак, з розвитком технологій та збільшеною складністю систем, з'являються нові загрози безпеці та надійності, які можуть призвести до катастрофічних наслідків.

Для підвищення безпеки та надійності автономних систем необхідно або розробити більш ефективні, або удосконалити існуючі підходи, методи та моделі. На сьогоднішній день існує безліч підходів, таких як використання формальних методів верифікації та аналізу, тестування та налагодження на ранніх стадіях розробки, забезпечення захисту від зовнішніх загроз тощо.

Одним із ключових підходів до підвищення безпеки та надійності автономних систем є управління ризиками. Воно включає ідентифікацію, аналіз та управління ризиками, пов'язаними з автономними системами, а також впровадження заходів для мінімізації цих ризиків.

Важливим підходом також є розробка стандартів та регуляторних політик. Створення уніфікованих стандартів та правил, які повинні дотримуватися при розробці та експлуатації автономних систем, може значно покращити їхню безпеку та надійність.

За аналізом великої кількості досліджень найактуальнішим є підхід заснований на розробці алгоритмів та методів ймовірнісного аналізу та машинного навчання.

**Актуальність дослідження.** Концептуальні засади до підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем повинні бути багаторівневими, включати широкий спектр заходів і враховувати безліч факторів, пов'язаних з їх використанням у різних галузях. Концепція автономних суден - це новий і перспективний напрямок у розвитку суднобудування, однак високий рівень автоматизації може призвести до нових ризиків і виявити нові проблеми у забезпеченні їх безпеки та надійності.

Представимо низку актуальних досліджень, які стосуються проблем підвищення безпеки та надійності автономних суден.

У статті Barrera C. та його співавторів [1] описується проблема безпеки та надійності в системах безпілотних суден. Автори розглядають ключові аспекти у сфері безпеки, включаючи управління рухом, детектування перешкод, диспетчеризацію та виявлення витоків палива, а також розглядають методи підвищення безпеки та надійності безпілотних суден.

Автори дослідження [2], розглядають загрози кібербезпеки, такі як атаки на бортові системи, кібершпигунство і кібертероризм, а також представляють методи захисту та забезпечення безпеки бортових систем.

Дослідження Montewka J. та співавторів [3] присвячено проблемі автономного судноплавства, таким як навігація, управління рухом, виявлення перешкод та взаємодія з навколишнім середовищем. Досить оригінально представлено рішення для покращення безпеки та надійності автономних суден.

У дослідженні [4] описуються основні технології, що використовуються в автономних суднах, такі як системи позиціонування, управління рухом, детектування перешкод та взаємодія з довкіллям. Автори також обговорюють проблеми безпеки та надійності автономних суден та надають поради щодо використання методів підвищення безпеки плавання у складних навігаційних умовах.

Наступним цікавим дослідженням на цю тему є робота авторів [5]: Т.-е. Kim, J.-U. Schröder-Hinrichs. У цій статті обговорюються перспективи та можливості автономних суден, досліджуються технічні, економічні та соціальні фактори, що впливають на розвиток автономних суден, та пропонуються шляхи підвищення безпеки та надійності в автономних судах.

Цікавим прикладом практичного застосування автономних суден є дослідження [6]. У цій роботі описується проект автономного судна для перевезення контейнерів із Північної Німеччини до країн Балтійського регіону, та проводиться аналіз ризиків, пов'язаних із використанням автономних суден у цій маршрутній мережі.

Ще одна важлива робота на цю тему [7]. У цій статті розглядаються виклики кібербезпеки, пов'язані з автономними суднами, та надаються рекомендації для забезпечення безпеки та надійності автономних суден в умовах зростаючої загрози кібератак.

Нарешті, ще одна важлива робота [8], що на наш погляд є методологічною. У цій статті описуються різні методи оцінки безпеки та надійності автономних суден, включаючи формальні методи, методи ймовірнісного аналізу та методи машинного навчання. Також обговорюються фактори, що впливають на безпеку та надійність автономних суден, та розглядаються питання тестування та сертифікації автономних суден.

На підтвердження високої актуальності дослідження [8] можна відзначити, що дослідження в галузі методів машинного навчання при проектуванні автономних суден продовжують розвиватися, і в останні роки були представлені значні досягнення. Одним із основних напрямків досліджень є застосування глибокого навчання, яке дозволяє моделювати та оптимізувати складні системи автономного управління судном.

У статті [9] відображена ця тенденція, представлений підхід, що ґрунтується на використанні глибоких нейронних мереж для управління маневреними операціями автономних суден. Автори репрезентують результати чисельних експериментів, які показують ефективність запропонованого методу в реальних умовах.

Використання методу глибокого навчання нейронної мережі з можливістю навчання системи керування для розробки, моніторингу та інспекції автономного судна розглянуто в дослідженні [10]. Автори демонструють ефективність запропонованого методу в реальних умовах при виконанні безлічі завдань, таких як виявлення небезпечних об'єктів та моніторинг водного середовища.

**Метою даного дослідження** є визначення концептуальних засад до підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем на прикладі суден.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Під концептуальними засадами підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем будемо розуміти систему підходів, методів алгоритмів застосування яких дозволяє підвищити їх безпеку та надійності в реальних умовах їх експлуатації.

Розглянемо основні підходи до підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем (рис. 1), до них можна віднести.

Як було зазначено вище, одним із ключових підходів до підвищення безпеки та надійності автономних систем є управління ризиками. Даний підхід ґрунтується



Рис. 1. Підходи до підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем

на управлінні ризиками, спрямований на підвищення безпеки та надійності автономних судів та передбачає визначення потенційних небезпек та ризиків, пов'язаних з експлуатацією автономних судів, та розробку стратегій для зниження цих ризиків до прийняттого рівня.

Основним компонентом цього підходу є системний аналіз ризиків, який дозволяє виявити потенційні небезпеки та оцінити ймовірність їх виникнення. Після цього розробляються заходи для управління ризиками, які можуть включати зміну конструкції судна, поліпшення системи управління, навчання та сертифікацію екіпажу та інші. В рамках цього підходу можна запропонувати такі зміни у конструкції автономних судів (рис. 2):

– додавання резервних систем та компонентів: встановлення резервних систем та компонентів, які можуть замінити основні у разі їх відмови, може



Рис. 2. Зміни у конструкції автономних судів

підвищити надійність автономного судна та знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій;

- використання систем діагностування та прогнозування: системи діагностики та прогнозування дозволяють виявляти несправності та передбачати можливі відмови систем та компонентів автономного судна. Це дозволяє оперативно реагувати на проблеми та запобігати можливим аваріям;

- розробка автоматичних систем керування: автоматичні системи керування дозволяють мінімізувати людський фактор в керуванні автономним судном, що може знизити ймовірність помилок та аварій;

- використання систем штучного інтелекту: системи штучного інтелекту можуть бути використані для аналізу великих обсягів даних та прийняття рішень у режимі реального часу. Це може допомогти автономному судну швидко реагувати на зміни довкілля та мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій;

- посилення бортового обладнання для виявлення перешкод: посилення бортового обладнання для виявлення перешкод, таких як радари та камери, може знизити можливість зіткнення автономного судна з іншими суднами або об'єктами в морі;

- розвиток системи аварійного живлення: системи аварійного живлення, які можуть зберігати працездатність необхідних систем та компонентів у разі відключення основного джерела живлення, можуть бути корисними в екстрених ситуаціях, коли безпека автономного судна залежить від безперервної роботи деяких систем та пристроїв.

Для реалізації цього підходу необхідно встановити систему моніторингу та контролю за станом автономного судна та його оточення. Це дозволяє своєчасно виявляти відхилення від норми та вживати заходів для запобігання можливим аварійним ситуаціям.

Важливим аспектом управління ризиками є також розробка та реалізація планів евакуації та порятунку, які мають гарантувати безпеку екіпажу та пасажирів у разі виникнення аварійних ситуацій.

Цей підхід є ефективним інструментом для підвищення безпеки та надійності автономних суден, оскільки він дозволяє виявляти потенційні ризики та розробляти заходи для їхньої мінімізації до того, як вони призведуть до аварійної ситуації.

Наступним підходом до підвищення безпеки та надійності автономних систем є розробка стандартів та регуляторних політик. У рамках даного підходу, заснованого на управлінні ризиками, можна зазначити такі пропозиції щодо розробки стандартів та регуляторної політики (рис. 3):

- встановлення вимог до автономних судів: щодо їхньої конструкції, виробничого процесу, методів випробувань, технічної документації тощо. Ці стандарти та нормативні документи можуть також визначати вимоги щодо безпеки та надійності судна, методів оцінки ризиків та прийняття рішень у разі аварій;

- встановлення вимог до персоналу: ці стандарти можуть визначати вимоги до освіти, кваліфікації, досвіду роботи, професійної підготовки та інших аспектів, які необхідні для забезпечення безпеки та надійності судна;



Рис. 3. Пропозиції щодо розробки стандартів та регуляторної політики

- встановлення вимог до методів випробувань та сертифікації: ці стандарти можуть визначати методи випробування, які повинні використовуватися для оцінки безпеки та надійності судна, а також вимоги до процедур сертифікації;
- встановлення вимог до систем моніторингу та управління ризиками: ці стандарти можуть визначати вимоги до систем моніторингу стану судна, методів оцінки ризиків та прийняття рішень у разі аварій.
- встановлення вимог до взаємодії автономних судів: ці стандарти можуть визначати систему комунікації автономних суднів, прогнозування маневрів, узгодження руху.

Деякі дослідники також рекомендують використовувати мультиагентну систему для забезпечення безпеки та надійності автономних суден. Ця система дозволяє координувати дії різних компонентів автономної системи та приймати рішення на основі локальних знань та даних. Це може підвищити ефективність системи в умовах складного та динамічного навколишнього середовища.

Наступний підхід до підвищення безпеки та надійності автономних систем ґрунтується на підставі великої кількості досліджень вітчизняних та закордонних науковців та полягає в розробці алгоритмів та методів ймовірнісного аналізу та машинного навчання.

Існує кілька напрямків у розробці нових алгоритмів та методів глибокого машинного навчання для забезпечення безпеки та надійності автономних судів (рис. 4):

- розробка алгоритмів визначення стану судна та його навколишнього середовища на основі обробки даних датчиків та візуальних засобів. Це може включати аналіз відеозображень і даних сонарів, лідарів і радарів, а також використання додаткових датчиків для отримання додаткових даних про стан навколишнього середовища;
- розробка алгоритмів управління рухом судна на основі даних про його стан та стан навколишнього середовища. Це може включати оптимальне планування маршруту і управління швидкістю, регулювання відстані до інших судів і прийняття рішень в аварійних ситуаціях;



*Рис. 4. Алгоритми та методи глибокого машинного навчання для забезпечення безпеки та надійності автономних судів*

– розробка алгоритмів навчання з підкріпленням для навчання автономних судів прийматиме оптимальні рішення в різних ситуаціях. Це може включати створення симуляційних середовищ для навчання судна на певних маршрутах, а також використання даних про історію маршрутів і ситуацій для поліпшення алгоритмів;

– розробка алгоритмів моніторингу та діагностики стану автономних судів. Це може включати аналіз даних датчиків та інших пристроїв, а також створення системи діагностики для раннього виявлення потенційних проблем і відмов;

– розробка методів захисту від кібератак та забезпечення безпеки інформації, що зберігається на борту автономних суден.

Ці напрями можуть бути основою для створення нових алгоритмів та методів глибокого машинного навчання для забезпечення безпеки та надійності автономних судів.

**Висновки.** Таким чином, забезпечення безпеки та надійності автономних судів є актуальним та важливим завданням, яке потребує комплексного підходу. Розробка нових технологій та методів, а також удосконалення стандартів та регуляторної політики можуть суттєво підвищити рівень безпеки та надійності автономних судів.

Проведені дослідження допомагають глибше зрозуміти виклики, що стоять перед проектуванням, експлуатацією, технічним обслуговуванням автономних суден, а також зрозуміти, як підвищити їхню безпеку і надійність.

В процесі дослідження було з'ясовано, що концептуальні засади підвищення безпеки та надійності автономних суден полягають в системі підходів кожен з яких розкриває цілу низку проблем, які потребують досконалого вивчення та вирішення. Завдяки детальному аналізу підходів було визначено напрямки підвищення безпеки та надійності суден за рахунок методів, алгоритмів, інструкцій та регуляцій, які ще повинні бути розроблені та з часом удосконаленні.

В основу концептуальних засад підвищення безпеки та надійності автономних суден були покладені три підходи це: розробка алгоритмів та методів



ймовірнісного аналізу та машинного навчання, розробка стандартів та регуляторних політик та управління ризиками.

Кожен із підходів до підвищення безпеки та надійності автономних суден було розглянуто та надані пропозиції щодо подальшого їх удосконалення.

В цілому, можна зазначити, що дослідження в напрямку підвищення безпеки та надійності автономних суден продовжують просуватися, і вже на цьому етапі представлені значні досягнення. Однак, як було зазначено, оскільки автономні судна є складними технічними системами, їх проектування та навчання з метою забезпечення їх безпеки та надійності, потребує додаткових досліджень.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Barrera C., Padrón Armas I., Luis F., Llinas O., Marichal N. Trends and Challenges in Unmanned Surface Vehicles (USV)//From Survey to Shipping. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Vol. 15. No. 1. 2021. pp. 135–142. doi:10.12716/1001.15.01.13.
2. Ziajka-Poznańska E, Montewka J. Costs and Benefits of Autonomous Shipping// A Literature Review. *Applied Sciences*. 2021; 11(10):4553. <https://doi.org/10.3390/app11104553>
3. Montewka J., Wróbel K. Challenges, solution proposals and research directions in safety and risk assessment of autonomous shipping// *Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM*. Los Angeles. 2018.
4. Bai, X., Li, B., Xu, X. et al. A Review of Current Research and Advances in Unmanned Surface Vehicles// *J. Marine. Sci. Appl.* 2022. 21, PP. 47–58. <https://doi.org/10.1007/s11804-022-00276-9>
5. Kim T.-e., Schröder-Hinrichs J.-U.. Research Developments and Debates Regarding Maritime Autonomous Surface Ship// Status, Challenges and Perspectives. 2021. B.-W. Ko, D.-W. Song (eds.), *New Maritime Business, WMU Studies in Maritime Affairs* 10, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78957-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78957-2_10)
6. Kretschmann L., Burmeister H.-C., Jahn C. Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships: An exploratory cost-comparison between an autonomous and a conventional bulk carrier// *Research in Transportation Business & Management*. Volume 25, December 2017, PP. 76–86.
7. Akpan, F.; Bendiab, G.; Shiaeles, S.; Karamperidis, S.; Michaloliakos, M. Cybersecurity Challenges in the Maritime Sector // *Network* 2022, 2, PP. 123–138. <https://doi.org/10.3390/network2010009>
8. Toroody A., Abaei M. On reliability assessment of ship machinery system in different autonomy degree; A Bayesian-based approach// *Ocean Engineering*. Volume 254, 15 June, 2022, PP. 111–122.
9. Woo J., Yu C., Kim N. Deep reinforcement learning-based controller for path following of an unmanned surface vehicle// *Ocean Engineering*. Volume 183, 1 July 2019, PP. 155–166.

10. J. Taipalmaa, N. Passalis, H. Zhang, M. Gabbouj and J. Raitoharju. High-Resolution Water Segmentation for Autonomous Unmanned Surface Vehicles: a Novel Dataset and Evaluation// 2019 IEEE 29th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP). Pittsburgh, PA, USA, 2019. pp. 1–6, doi: 10.1109/MLSP.2019.8918694

#### REFERENCES

1. Barrera, C., Padron Armas, I., Luis, F., Llinas, O., & Marichal, N.Á. (2021). Trends and challenges in unmanned surface vehicles (USV): From survey to shipping. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 15(1), 135–142. <https://doi.org/10.12716/1001.15.01.13>
2. Ziajka-Poznańska, E.; Montewka, J. Costs and Benefits of Autonomous Shipping – A Literature Review. *Appl. Sci.* 2021, 11, 4553. <https://doi.org/10.3390/app11104553>
3. Montewka J., Wróbel K. Challenges, solution proposals and research directions in safety and risk assessment of autonomous shipping. *Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 14*, September 2018, Los Angeles, CA.
4. Bai, X., Li, B., Xu, X. et al. A Review of Current Research and Advances in Unmanned Surface Vehicles. *J. Marine. Sci. Appl.* 21, 47–58 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11804-022-00276-9>
5. Kim T.-e., Schröder-Hinrichs J.-U. Research Developments and Debates Regarding Maritime Autonomous Surface Ship: Status, Challenges and Perspectives. 2021. B.-W. Ko, D.-W. Song (eds.), *New Maritime Business, WMU Studies in Maritime Affairs* 10, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78957-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78957-2_10)
6. Kretschmann L., Burmeister H.-C., Jahn C. Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships: An exploratory cost-comparison between an autonomous and a conventional bulk carrier. *Research in Transportation Business & Management*. Volume 25, December 2017, Pages 76–86.
7. Akpan, F.; Bendiab, G.; Shiaeles, S.; Karamperidis, S.; Michaloliakos, M. Cybersecurity Challenges in the Maritime Sector. *Network* 2022, 2, 123–138. <https://doi.org/10.3390/network2010009>
8. Toroody A., Abaei M. On reliability assessment of ship machinery system in different autonomy degree; A Bayesian-based approach. *Ocean Engineering*. Volume 254, 15 June 2022, Pages 111–122.
9. Woo J., Yu C., Kim N. Deep reinforcement learning-based controller for path following of an unmanned surface vehicle. *Ocean Engineering*. Volume 183, 1 July 2019, Pages 155–166.
10. J. Taipalmaa, N. Passalis, H. Zhang, M. Gabbouj and J. Raitoharju, "High-Resolution Water Segmentation for Autonomous Unmanned Surface Vehicles: a Novel Dataset and Evaluation," 2019 IEEE 29th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP), Pittsburgh, PA, USA, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/MLSP.2019.8918694