

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС АВТОМАТИЗОВАНИХ ШВАРТОВИХ ОПЕРАЦІЙ

І.П. Гончарук<sup>1</sup>, А.І. Головань<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

<sup>2</sup>к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

### Анотація

У статті розглядаються автоматизовані швартовні системи, новітні технології для підвищення безпеки персоналу та суден. Останніми роками прогресивний розвиток автоматизованих швартовних систем все більше забезпечує покращення безпеки на морі, яке було визнано на 102-й сесії Комітету з безпеки на морі Міжнародної морської організації (ІМО). Ці системи розроблені для зменшення ризиків, пов'язаних з традиційними методами швартування, та сприяють забезпеченню безпеки персоналу та суден під час швартовних операцій. Автоматизовані швартовні системи використовують сучасні технології, такі як сенсори, навігаційне обладнання, інтелектуальний аналіз даних та автоматичне керування, щоб оптимізувати процес швартування та забезпечити високу ступінь безпеки. Однією з переваг автоматизованих систем є зменшення ризику травм та смертей серед персоналу, оскільки вони дозволяють зменшити потребу в ручній праці під час швартовних операцій. Крім того, автоматизовані системи сприяють попередженню пошкоджень суден та портових споруд завдяки покращеному контролю над процесом швартування. Це може включати в себе забезпечення оптимального розміщення суден, контроль за силами натягу канатів та швидке виявлення можливих проблем, що можуть виникнути під час швартовних операцій. Важливим аспектом реалізації автоматизованих швартовних систем є розробка ефективних стандартів безпеки та протоколів, що враховують специфіку різних типів суден та портових споруд. Особливий акцент може бути зроблений на інтеграцію цих систем у загальну інфраструктуру судноплавства та портів з метою створення єдиної системи керування та надійної безпеки. **Мета** статті полягає в аналізі й оцінці сучасних автоматизованих систем швартування та їх впливу на безпеку персоналу, суден та портових споруд. **Результати.** Визначено можливі напрями подальшого розвитку та удосконалення цих систем для забезпечення більш високого рівня безпеки під час швартовних операцій. **Висновки.** Таким чином, сучасні автоматизовані швартовні системи сприяють забезпеченню безпеки під час швартовних операцій та підтримці сталого розвитку морського транспорту. Їх успішна реалізація може зменшити ризики, пов'язані з традиційними методами швартування, та покращити безпеку персоналу, суден та навколишнього середовища.

**Ключові слова:** автоматизовані швартовні системи, безпека на морі, сучасні підходи, швартовні операції, портові споруди, технології, сенсори, навігаційне обладнання, інтелектуальний аналіз даних, автоматичне керування, стандарти безпеки, інтеграція, ризики, сталий розвиток морського транспорту.

## MODERN APPROACHES TO ENSURING SAFETY DURING AUTOMATED MOORING OPERATIONS

I.P. Honcharuk<sup>1</sup>, A.I. Golovan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department, Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

<sup>2</sup>Ph.D (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department, Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

### Summary

The article discusses automated mooring systems, the latest technologies to improve the safety of personnel and vessels. In recent years, the progressive development of automated mooring systems has increasingly provided improvements in maritime safety, which was recognized at the 102nd session of the International Maritime Organization (IMO) Maritime Safety Committee. These systems are designed to reduce the risks associated with traditional mooring methods and help ensure the safety of personnel and vessels during mooring operations. Automated mooring systems use modern technologies such as sensors, navigation equipment, intelligent data analysis and automatic control to optimize the mooring process and ensure a high degree of safety. One of the benefits of automated systems is a reduction in the risk of injury and death among personnel, as they reduce the need for manual labor during mooring operations. In addition, automated systems help to prevent damage to ships and port facilities through improved control over the mooring process. This may include ensuring optimal vessel positioning, monitoring rope tension forces, and quickly identifying potential problems that may arise during mooring operations. An important aspect of the implementation of automated mooring systems is the development of effective safety standards and protocols that take into account the specifics of different types of vessels and port facilities. Particular emphasis may be placed on integrating these systems into the overall shipping and port infrastructure to create a unified management system and reliable security. The **purpose** of the article is to analyze and evaluate modern automated mooring systems and their impact on the safety of personnel, vessels and port facilities. **Results.** Identify possible areas for further development and improvement of these systems to ensure a higher level of safety during mooring operations. **Conclusions.** Thus, modern automated mooring systems contribute to ensuring safety during mooring operations and supporting the sustainable development of maritime transport. Their successful implementation can reduce the risks associated with traditional mooring methods and improve the safety of personnel, vessels and the environment.

**Key words:** automated mooring systems, maritime safety, modern approaches, mooring operations, port facilities, technologies, sensors, navigation equipment, data mining, automatic control, safety standards, integration, risks, sustainable development of maritime transport.

**Вступ.** Морський транспорт є одним з ключових секторів світової економіки, який забезпечує більшість міжнародних перевезень товарів. З розвитком глобалізації та зростанням обсягів морського транспортування актуальність забезпечення безпеки на морі стає все важливішою. Однією з найбільш ризикових та травмонезбезпечних операцій у портах є швартування суден, яке традиційно здійснюється вручну та може призвести до численних нещасних випадків та аварій.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з цим, науковий та технічний прогрес сприяє розробці сучасних підходів до автоматизації швартових операцій, які мають на меті зменшення ризиків та підвищення безпеки персоналу, суден та портових споруд.

Ця наукова стаття присвячена дослідженню сучасних підходів до забезпечення безпеки під час автоматизованих швартових операцій. Метою статті є аналіз та оцінка сучасних технологій та методів, що використовуються в автоматизованих швартовних системах, а також визначення перспектив подальшого розвитку та удосконалення цих систем для покращення безпеки під час швартовних операцій. У ході дослідження будуть розглянуті різні аспекти автоматизації швартових операцій, включаючи аналіз сучасних технологій, розгляд їх переваг та недоліків, а також виявлення можливих викликів та напрямів подальших досліджень у даній сфері.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При аналізі останніх досліджень і публікацій за тематикою "Сучасні підходи до забезпечення безпеки під час автоматизованих швартових операцій" демонструється активне зростання інтересу до вказаної проблематики. Останні дослідження та публікації відображають різні аспекти розвитку автоматизованих систем швартування, включаючи технічні рішення, практичні застосування та аналіз їх ефективності. Одним з ключових напрямів досліджень у цій сфері є розробка та впровадження нових технологій та компонентів, що можуть покращити процес швартування, забезпечуючи більш високий рівень безпеки та ефективності [1]. Зокрема, досліджуються застосування сенсорів та систем моніторингу для відстеження руху суден, автоматичні системи керування для виконання швартових операцій, інтелектуальні алгоритми для аналізу даних та виявлення аномалій, а також розробка нових матеріалів для виготовлення канатів та тросів [2, 3]. Дослідники також активно вивчають практичне застосування автоматизованих швартовних систем в різних портах та морських терміналах. Відзначається, що впровадження таких систем має позитивний вплив на зменшення кількості травм та аварій, а також на покращення експлуатаційних показників портів та терміналів. Окремим напрямком досліджень є аналіз проблем, пов'язаних з інтеграцією автоматизованих швартовних систем у існуючу інфраструктуру портів.

**Формулювання цілей статті.** Мета статті полягає в аналізі й оцінці сучасних автоматизованих систем швартування та їх впливу на безпеку персоналу, суден та портових споруд.

**Виклад основного матеріалу.** Швартування суден за допомогою канатів або тросів є однією з небагатьох операцій, що здійснюються на суднах та в порту, яка не зазнала суттєвих змін протягом століть. Незважаючи на незначні покращення, операція залишається дуже небезпечною, що призводить до неприпустимої кількості травм і смертей щороку [4]. Крім того, це також представляє значний ризик для самих суден, оскільки, незважаючи на те, що його вивчали та контролювали, звичайне швартування не має ситуаційної обізнаності, щоб забезпечити

попередження у разі виникнення небезпечної ситуації. Автоматизовані швартовні системи усувають усі ризики для персоналу та знижують ризик для судна майже до нуля, усуваючи персонал від ризикованих завдань і забезпечуючи повну ситуаційну обізнаність про швартування та стан навколишнього середовища. За останні роки багато аспектів роботи порту були вдосконалені завдяки автоматизації. Ці вдосконалення підвищили пропускну здатність порту та наочність операцій. Однак у більшості портів швартування продовжує залишатися трудомістким і небезпечним завданням. Дійсно, швартовні операції та необхідне поводження з канатами є одним з небагатьох завдань, що залишилися в сучасній промисловості, що регулярно наражає персонал на небезпеку для життя та здоров'я. Крім того, звичайне швартування не забезпечує зворотного зв'язку з портом або судном, щодо роботи або цілісності швартування. Автоматизована система швартування, яка не використовує канати, здатна викоринити ризики, пов'язані з обробкою канатів для всього персоналу на борту та на суші. Відсутність травм і ризиків, що робить швартування значно безпечнішим для персоналу та скорочує час.

Крім того, ці системи здатні з високою точністю відстежувати умови навколишнього середовища та процесу швартування, а також надавати детальний зворотний зв'язок у реальному часі, щодо продуктивності та цілісності швартування. Дані, збережені протягом тривалого часу, можна використовувати для порівняння з поточними умовами, щоб передбачити потенційні майбутні події та забезпечити завчасне попередження порту та судну.

Під час аналізу та оцінки сучасних автоматизованих систем швартування та їх впливу на безпеку персоналу, суден та портових споруд були виявлені ряд важливих аспектів. Ці системи включають в себе сенсори, автоматичне керування, робототехнічні пристрої та алгоритми інтелектуального аналізу даних, які спільно забезпечують підвищення безпеки та ефективності швартовних операцій.

Сучасні автоматизовані системи швартування суден мають значний вплив на безпеку персоналу. Їх впровадження допомагає зменшити ризик травмування та покращує загальну безпеку роботи в порту. Ось деякі існуючі автоматизовані системи швартування та їх вплив на безпеку персоналу:

Вакуумні швартовні системи (рис. 1): Ці системи використовують вакуумний принцип для утримання судна біля причалу. Вони забезпечують швидке та ефективно з'єднання судна з причалом, зменшуючи час та ризики, пов'язані з традиційними методами швартування. Як приклад [5] система MoorMaster™ значно підвищує безпеку та операційну ефективність, оптимізує взаємодію судна з берегом і в багатьох випадках дозволяє портам заощаджувати на інфраструктурі. Завдяки цьому персонал має менше можливостей травмуватися під час операцій.



Рис. 1. MoorMaster™ система автоматизованого швартування [6]



Роботизовані пристрої для кріплення канатів (рис. 2): Застосування роботів [7] для кріплення канатів дозволяє відійти від потреби вручну працювати з канатами та іншими швартовними пристроями. Роботи можуть швидко та точно виконувати операції, знижуючи ризик травм для працівників порту.



Рис. 2. Автоматизована система швартування [8]

Автоматизовані системи моніторингу та керування (рис. 3): Ці системи [9] використовують розумний аналіз даних для виявлення та попередження потенційних ризиків, що можуть виникнути під час швартовних операцій. Вони забезпечують операторам порту інформацію про рух суден, швидкість, траєкторію та можливі небезпечні ситуації, дозволяючи їм приймати своєчасні рішення для забезпечення безпеки персоналу.



Рис. 3. Cavotec автоматизовані швартовні операції та суднові зарядки [10]

Автоматичні системи зміни канатів: Ці системи дозволяють автоматично замінювати та намотувати канати без участі персоналу, зменшуючи ризики, пов'язані з ручним керуванням канатами. Автоматичні системи зміни канатів підвищують безпеку та ефективність процесу швартування.

Безпілотні судна для швартування: Деякі порти впроваджують безпілотні судна (дрони), що використовуються для встановлення швартовних канатів між судном та причалом [11]. Використання дронів для цієї операції забезпечує безпеку

персоналу, оскільки вони не потрапляють у небезпечні ситуації, пов'язані з ручним керуванням канатами.

Електронні системи забезпечення безпеки (рис. 4): Сучасні електронні системи безпеки, такі як системи відеоспостереження та датчики руху, допомагають відстежувати ситуацію на причалі та судні під час швартовних операцій. Вони дозволяють операторам порту швидко реагувати на можливі небезпечні ситуації та забезпечувати безпеку працівників [12].



*Рис. 4. Комп'ютерна візуалізація флоту роботизованих суден «Армада» компанії Ocean Infinity [13]*

Ключові аспекти, що впливають на успішність автоматизованих швартових систем:

1. Технологічний рівень: Успішність автоматизованих швартових систем залежить від технологічного рівня системи, включаючи якість сенсорів, точність алгоритмів керування та наявність передових роботизованих пристроїв [14].

2. Інтеграція з існуючою інфраструктурою: Ефективність автоматизованих швартових систем залежить від того, наскільки вони інтегровані з існуючою портовою інфраструктурою, включаючи системи зв'язку, навігацію та контроль трафіку.

3. Освіта та підготовка персоналу: Успішність автоматизованих систем забезпечується за умов належної підготовки персоналу, що включає освіту щодо роботи з новими технологіями та безпечними практиками роботи.

4. Надійність та працездатність системи: Автоматизовані швартові системи повинні бути надійними та стійкими до різних умов роботи, таких як погодні умови, зміни в русі суден та інші непередбачувані ситуації.

5. Модульність та масштабованість: Успішні системи повинні бути модульними та масштабованими, що дозволяє легко адаптувати їх до різних розмірів суден, типів причалів та портових умов.

6. Економічна ефективність: Впровадження автоматизованих швартових систем повинно бути економічно виправданим, пропонуючи оптимальне співвідношення витрат та користі від підвищення безпеки та ефективності операцій.

7. Регулятивна підтримка: Успішність автоматизованих швартових систем залежить від регулятивної підтримки та стандартів, встановлених на міжнародному та національному рівні. Правильно встановлені регулятивні рамки сприяють широкому впровадженню автоматизованих систем та забезпечують їх безпеку та ефективність.

8. Безпека та захист даних: Автоматизовані швартові системи збирають, обробляють та передають великі обсяги даних. Успішність цих систем вимагає високого рівня захисту даних та інформаційної безпеки для запобігання можливим кібератакам та іншим загрозам.

9. Моніторинг та аналіз результатів: Забезпечення успішної роботи автоматизованих швартових систем передбачає необхідність систематичного моніторингу та аналізу їх результатів. Це дозволяє виявляти слабкі місця, вносити поліпшення та забезпечувати постійне вдосконалення системи.

10. Співпраця між стейкхолдерами: Успішність автоматизованих швартових систем залежить від ефективної співпраці між усіма зацікавленими сторонами, включаючи судновласників, операторів портів, розробників технологій та персоналу. Така співпраця сприяє впровадженню найкращих практик та створенню безпечного та ефективного середовища для проведення автоматизованих швартових операцій.

Автоматизовані системи швартування значно зменшують ризики для персоналу порту, оскільки вони мінімізують потребу в ручному керуванні канатами, забезпечують більшу ситуаційну обізнаність та дозволяють ефективно відстежувати та контролювати швартовні операції. Завдяки цим системам безпека персоналу під час швартовних операцій значно покращується, що сприяє створенню більш безпечного та продуктивного робочого середовища в портах.

**Висновки.** Таким чином, автоматизовані системи швартування відіграють важливу роль у підвищенні безпеки на морі. Сучасні технології, такі як сенсори, навігаційне обладнання, інтелектуальний аналіз даних та автоматичне керування, дозволяють оптимізувати процес швартування та зменшувати ризики для персоналу, суден та портових споруд.

Дослідження виявило ключові аспекти, що впливають на успішність автоматизованих швартових систем, включаючи стандарти безпеки, протоколи та інтеграцію з існуючою інфраструктурою. На основі отриманих результатів рекомендується розробляти та впроваджувати нові алгоритми керування, проводити експериментальні випробування та визначати напрями подальшого розвитку технологій.

Загалом, сучасні автоматизовані швартовні системи сприяють забезпеченню безпеки під час швартовних операцій та підтримці сталого розвитку морського транспорту. Їх успішна реалізація може зменшити ризики, пов'язані з традиційними методами швартування, та покращити безпеку персоналу, суден та навколишнього середовища.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Chung, M., Kim, S. J., Lee, K., & Shin, H. D. (2020). Detection of damaged mooring line based on deep neural networks. *Ocean Engineering*, 209, 107522. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107522>

2. Mazurek, P. (2023). A Comprehensive Review of Steel Wire Rope Degradation Mechanisms and Recent Damage Detection Methods. *Sustainability*, 15(6), 5441. <https://doi.org/10.3390/su15065441>
3. Abdulkarem, M., Samsudin, K., Rokhani, F. Z., & Rasid, M. F. A. (2020). Wireless sensor network for structural health monitoring: A contemporary review of technologies, challenges, and future direction. *Structural Health Monitoring-an International Journal*, 19(3), 693–735. <https://doi.org/10.1177/1475921719854528>
4. Animah, I., & Shafiee, M. (2017). Condition assessment, remaining useful life prediction and life extension decision making for offshore oil and gas assets. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.04.030>
5. Aqdam, H. J., Ettefagh, M. M., & Hassannejad, R. (2018). Health monitoring of mooring lines in floating structures using artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 164, 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.06.056>
6. Automated Mooring | Cavotec SA. (2023). Retrieved from <https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/automated-mooring>
7. Arredondo, A., Altuzarra, J. G. C., Mena, A. F., & Fernández, J. C. (2018). Stress Intensity Factors in Fitness-for-Service Assessment of Cracks in Mooring Chains. In *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. <https://doi.org/10.1115/omae2018-77496>
8. Automated mooring system. (2023). Retrieved from <https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/>
9. Babaleye, A. O., Khorasanchi, M., & Kurt, R. E. (2018). Dynamic Risk Assessment of Decommissioning Offshore Jacket Structures. In *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. <https://doi.org/10.1115/omae2018-78635>
10. Cavotec wins additional automated mooring and vessel e-charging orders worth EUR 6.5M. (2020, November 20). Retrieved from <https://www.mynewsdesk.com/cavotec/pressreleases/cavotec-wins-additional-automated-mooring-and-vessel-e-charging-orders-worth-eur-6-dot-5m-3052629>
11. Bashir, I., Walsh, J., Thies, P. R., Weller, S., Blondel, P., & Johanning, L. (2017). Underwater acoustic emission monitoring – Experimental investigations and acoustic signature recognition of synthetic mooring ropes. *Applied Acoustics*, 121, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.033>
12. Basteskår, M., Engen, M., Kanstad, T., & Fosså, K. T. (2019). A review of literature and code requirements for the crack width limitations for design of concrete structures in serviceability limit states. *Structural Concrete*, 20(2), 678–688. <https://doi.org/10.1002/suco.201800183>
13. Wright, B. (2021). Ocean Infinity Ramps Up Autonomous Vessel Operations. *JPT*. Retrieved from <https://jpt.spe.org/ocean-infinity-ramps-up-autonomous-vessel-operations>



14. Bayik, B., Omenzetter, P., Van Der A, D. A., & Pavlovskaja, E. (2018). Comparison of damage sensitivities of autoregressive coefficients and natural frequencies for structural health monitoring of a top tensioned riser. *9th European Workshop on Structural Health Monitoring, EWSHM 2018*.

#### REFERENCES

1. Chung, M., Kim, S. J., Lee, K., & Shin, H. D. (2020). Detection of damaged mooring line based on deep neural networks. *Ocean Engineering*, 209, 107522. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107522>
2. Mazurek, P. (2023). A Comprehensive Review of Steel Wire Rope Degradation Mechanisms and Recent Damage Detection Methods. *Sustainability*, 15(6), 5441. <https://doi.org/10.3390/su15065441>
3. Abdulkarem, M., Samsudin, K., Rokhani, F. Z., & Rasid, M. F. A. (2020). Wireless sensor network for structural health monitoring: A contemporary review of technologies, challenges, and future direction. *Structural Health Monitoring-an International Journal*, 19(3), 693–735. <https://doi.org/10.1177/1475921719854528>
4. Animah, I., & Shafiee, M. (2017). Condition assessment, remaining useful life prediction and life extension decision making for offshore oil and gas assets. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.04.030>
5. Aqdam, H. J., Etefagh, M. M., & Hassannejad, R. (2018). Health monitoring of mooring lines in floating structures using artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 164, 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.06.056>
6. *Automated Mooring | Cavotec SA*. (2023). Retrieved from <https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/automated-mooring>
7. Arredondo, A., Altuzarra, J. G. C., Mena, A. F., & Fernández, J. C. (2018). Stress Intensity Factors in Fitness-for-Service Assessment of Cracks in Mooring Chains. In *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. <https://doi.org/10.1115/omae2018-77496>
8. Automated mooring system. (2023). Retrieved from <https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/>
9. Babaleye, A. O., Khorasanchi, M., & Kurt, R. E. (2018). Dynamic Risk Assessment of Decommissioning Offshore Jacket Structures. In *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. <https://doi.org/10.1115/omae2018-78635>
10. Cavotec wins additional automated mooring and vessel e-charging orders worth EUR 6.5M. (2020, November 20). Retrieved from <https://www.mynewsdesk.com/cavotec/pressreleases/cavotec-wins-additional-automated-mooring-and-vessel-e-charging-orders-worth-eur-6-dot-5m-3052629>
11. Bashir, I., Walsh, J., Thies, P. R., Weller, S., Blondel, P., & Johanning, L. (2017). Underwater acoustic emission monitoring – Experimental investigations and acoustic signature recognition of synthetic mooring

- ropes. *Applied Acoustics*, 121, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.033>
12. Basteskår, M., Engen, M., Kanstad, T., & Fosså, K. T. (2019). A review of literature and code requirements for the crack width limitations for design of concrete structures in serviceability limit states. *Structural Concrete*, 20(2), 678–688. <https://doi.org/10.1002/suco.201800183>
13. Wright, B. (2021). Ocean Infinity Ramps Up Autonomous Vessel Operations. *JPT*. Retrieved from <https://jpt.spe.org/ocean-infinity-ramps-up-autonomous-vessel-operations>
14. Bayik, B., Omenzetter, P., Van Der A, D. A., & Pavlovskaia, E. (2018). Comparison of damage sensitivities of autoregressive coefficients and natural frequencies for structural health monitoring of a top tensioned riser. *9th European Workshop on Structural Health Monitoring, EWSHM 2018*.