

УДК 629.362

DOI 10.47049/2226-1893-2024-3-86-102

## ІНТЕГРАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В АВТОНОМНИХ МОРСЬКИХ СИСТЕМАХ

**О.В. Логінов**

к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки  
ORCID ID: 0000-0002-4540-731X

**Д.А. Бурлаченко**

старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки  
ORCID ID: 0000-0003-3749-4908

**П.В. Никитюк**

старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки  
ORCID ID: 0000-0002-5905-3807

**В.Ю. Кучеренко**

старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки  
ORCID ID: 0009-0008-4906-9726

**О.В. Котенко**

старший викладач кафедри безпеки життєдіяльності, екології та хімії  
ORCID ID: 0009-0007-5294-474X

**Д.А. Волошин**

аспірант кафедри судноводіння і морської безпеки  
ORCID ID: 0009-0005-3458-1450

*Одеський національний морський університет, Одеса, Україна*

**Анотація.** *Впровадження автономних систем у морському транспорті кардинально змінює підхід до судноплавства, забезпечуючи підвищену безпеку, зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності. Водночас ці нововведення створюють низку викликів, особливо у сфері прийняття рішень та управління ризиками.*

*У статті досліджується інтеграція передових моделей, таких як дерева рішень та баєсові мережі, з надійними стратегіями управління ризиками, що дозволяє ефективно справлятися з невизначеностями та загрозами, які супроводжують розгортання автономних суден.*

*Проаналізовано реальні кейси впровадження цих моделей у практику, що підкреслює важливість адаптивних стратегій та систем підтримки прийняття рішень в режимі реального часу для забезпечення надійної та безпечної роботи автономних суден, сприяючи довгостроковій сталості морських операцій.*

**Ключові слова:** *автономні судна, управління ризиками, прийняття рішень, баєсові мережі, адаптивні стратегії, морські операції.*

UDC 629.362

DOI 10.47049/2226-1893-2024-3-86-102

**IMPLEMENTATION OF MODELS FOR DECISION-MAKING  
AND RISK MANAGEMENT IN AUTONOMOUS MARITIME SYSTEMS**

**Lohinov O.**

PhD, Associate Professor of the Department of Navigation and Maritime Safety  
ORCID ID: 0000-0002-4540-731X

**Burlachenko D.**

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Maritime Safety  
ORCID ID: 0000-0003-3749-4908

**Nikitiuk P.**

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Maritime Safety  
ORCID ID: 0000-0002-5905-3807

**Kucherenko V.**

Senior Lecturer at the Department of Navigation and Maritime Safety,  
ORCID ID: 0009-0008-4906-9726

**Kotenko O.**

Senior Lecturer at the Department of Life Safety, Ecology and Chemistry  
ORCID ID: 0009-0007-5294-474X

**Voloshyn D.**

Postgraduate student of the Department of Navigation and Maritime Safety,  
ORCID ID: 0009-0005-3458-1450

*Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine*

**Abstract.** *The introduction of autonomous systems in maritime transport is fundamentally changing the approach to shipping, providing increased safety, reduced operating costs, and increased efficiency. At the same time, these innovations pose a number of challenges, especially in the areas of decision-making and risk management.*

*This article explores the integration of advanced models, such as decision trees and Bayesian networks, with robust risk management strategies to effectively deal with the uncertainties and threats that accompany the deployment of autonomous vessels.*

*Real-life cases of implementing these models in practice are analyzed, emphasizing the importance of adaptive strategies and real-time decision support systems to ensure reliable and safe operation of autonomous vessels, contributing to the long-term sustainability of maritime operations.*

**Keywords:** *autonomous vessels, risk management, decision-making, Bayesian networks, adaptive strategies, maritime operations.*

**Вступ.** Автономні системи стають важливою частиною сучасного морського транспорту, забезпечуючи підвищену безпеку, ефективність та зниження витрат на експлуатацію. Однак впровадження цих технологій несе з собою низку

викликів, які пов'язані з необхідністю адаптації існуючих моделей управління ризиками та прийняття рішень до умов, у яких людське втручання зведено до мінімуму. Основною проблемою є відсутність чітких та ефективних стратегій для прогнозування та зменшення ризиків, що виникають під час експлуатації автономних суден у динамічних морських умовах.

**Метою** даного дослідження є розробка інтегрованих моделей управління ризиками та прийняття рішень для автономних суден, що враховують специфічні виклики, пов'язані з їхньою експлуатацією.

Важливість цього дослідження підкреслюється зростаючою потребою у впровадженні інноваційних підходів до забезпечення безпеки у морській індустрії. Останні роботи в цій галузі [1; 2; 3] демонструють значний прогрес у застосуванні баєсових мереж та дерев рішень, що дозволяє покращити керування операційними ризиками та сприяє підвищенню надійності автономних систем. Деякі роботи спрямовані на моделювання та аналіз тяжкості аварій на водному транспорті з використанням баєсових мереж, що забезпечує більш глибоке розуміння природи морських інцидентів [4]. Важливість автономних суден також обговорюється в контексті реалізації та можливих ризиків, пов'язаних з їх експлуатацією [5-9]. Розробка надійних автономних систем, що забезпечують безпеку на різних рівнях автономії, досягається за допомогою формальних підходів до оцінки безпеки, таких як STPA [10-12].

Досліджено вплив людських факторів на безпеку морських операцій та підходи до їх інтеграції в моделі ризику [13-17]. Деякі дослідження зосереджені на проблемах автономного управління і маневреності суден, аналізуючи різні аспекти їх поведінки і продуктивності в різних середовищах [18].

Роботи [19-26] охоплюють широке коло тем, пов'язаних з безпекою мореплавства, управлінням ризиками та впровадженням сучасних технологій на морському транспорті. Вони включають дослідження методів виявлення та розпізнавання автономних надводних транспортних засобів за допомогою радіолокації, оцінки якості ризиків судових операцій на основі експертних оцінок, моделювання впливу різних факторів на морехідні якості суден.

Особливу увагу приділено автоматичним системам управління рухом суден, огляду ризиків інформаційної безпеки та питань безпеки на морі, а також перспективам розвитку інформаційних технологій на водному транспорті для підвищення загальної ефективності та безпеки.

**Формулювання проблеми.** На відміну від попередніх досліджень, які в основному зосереджувалися на загальних аспектах впровадження автономних систем у морському транспорті, ця стаття акцентує увагу на інтеграції передових моделей прийняття рішень, таких як дерева рішень і баєсові мережі, з сучасними методами управління ризиками.

Унікальність дослідження полягає в тому, що вперше в рамках автономних судноплавних систем розглядаються конкретні адаптивні стратегії, що базуються на цих моделях, які продемонстрували свою ефективність у мінімізації ризиків та підвищенні стійкості операцій на основі детальних тематичних досліджень.

Взаємозв'язок між прийняттям рішень та управлінням ризиками проаналізовано через призму реальних кейсів, де застосування дерев рішень і баєсових мереж забезпечило точніше прогнозування ризиків та кращу адаптацію до змінних умов. Тематичні дослідження підтверджують, що системний підхід до управління ризиками сприяє зниженню невизначеностей і забезпечує більш надійні операції, що вкрай важливо для сучасного морського транспорту.

**Метою статті** є дослідження інтеграції моделей прийняття рішень і управління ризиками в контексті автономних морських систем для ефективного управління невизначеністю та забезпечення стійкості морських операцій та демонстрація практичного застосування цих моделей через аналіз конкретних кейсів, що підкреслюють важливість адаптивних стратегій у сучасному морському транспорті.

### **Результати досліджень**

#### *1 Адаптивні теоретичні основи*

Успішне впровадження автономних систем в морських операціях залежить від обґрунтованого теоретичного підґрунтя для прийняття рішень і управління ризиками. У складних і невизначених умовах, які характеризують морські операції, традиційні моделі прийняття рішень часто повинні бути адаптовані для вирішення унікальних проблем, пов'язаних з автономними технологіями.

Дерева рішень є однією з цих моделей, пропонуючи візуальний і системний підхід до оцінки різних курсів дії. У контексті автономних морських систем дерева рішень можуть бути використані для побудови різних операційних сценаріїв, таких як реакція на збої системи або зміни навколишнього середовища. Наприклад, якщо автономне судно стикається з непередбаченими погодними умовами, дерево рішень може допомогти визначити найкращий хід дій, будь то зміна маршруту, регулювання швидкості або активація резервних систем. Систематично оцінюючи ризики та переваги кожного варіанту, дерева рішень дозволяють морським операторам приймати обґрунтовані та стратегічно обґрунтовані рішення (рис. 1).

Рисунок 1 ілюструє процес прийняття рішень для автономного судна у випадку виявлення погодної аномалії, використовуючи метод дерева рішень, що дозволяє систематично оцінити різні сценарії та вибрати оптимальний курс дій залежно від поточної ситуації.

Початковий вузол, який представляє виявлення погодної аномалії, є відправною точкою для подальшого аналізу. Далі система може прийняти кілька ключових рішень, таких як зміна маршруту, регулювання швидкості або активація резервних систем, кожне з яких має свої наслідки, від можливих затримок до ризику перевантаження системи.

Така модель демонструє важливість адаптивного та стратегічного підходу до управління ризиками в умовах невизначеності, що є критичним для безпечної та ефективної експлуатації автономних суден. Використання дерева рішень дозволяє прогнозувати можливі наслідки кожного варіанту дій та обирати найбільш безпечний та економічно вигідний шлях, що підвищує загальну надійність і безпеку морських операцій.



Рис. 1. Процес прийняття рішень для автономного судна

Баєсові мережі надають ще один потужний інструмент, особливо для управління ризиками. Ці моделі ймовірності дозволяють підприємствам зрозуміти і кількісно оцінити ймовірність різних операційних ризиків, таких як несправності обладнання, зіткнення або кіберзагрози. Наприклад, баєсова мережа може бути використана для моделювання ймовірності виходу з ладу навігаційної системи під час польоту з урахуванням таких факторів, як вік системи, історія технічного обслуговування та умови навколишнього середовища. Визначаючи найбільш ймовірні фактори ризику, морські оператори можуть впроваджувати цільові стратегії зменшення наслідків, такі як попереджувальні послуги або посилений моніторинг під час ділянок з високим ризиком маршруту.

На рисунку 2 представлено баєсову мережу, яка ілюструє залежності між різними подіями в контексті управління ризиками в морських операціях. Вузли мережі представляють різні фактори, такі як *Weather* (Погода), *Season* (Сезон), *Traffic* (Трафік), *Accident* (Аварія) та *Response* (Реакція). Кожен вузол містить інформацію про ймовірності можливих станів, наприклад, для погоди це можуть бути ймовірності сонячної, дощової або снігопаду.

Ребра між вузлами показують причинно-наслідкові зв'язки, де ймовірність настання події в одному вузлі залежить від стану іншого. Наприклад, стан трафіку залежить від погоди, а ймовірність аварії — від трафіку та погодних умов. Цей підхід дозволяє оцінювати складні сценарії та приймати обґрунтовані рішення, враховуючи ймовірність різних ризиків і наслідків. Мережа надає візуальне уявлення про взаємозв'язки між ключовими факторами, що дозволяє ідентифікувати найбільш ймовірні ризики і відповідно планувати заходи для їх зменшення.

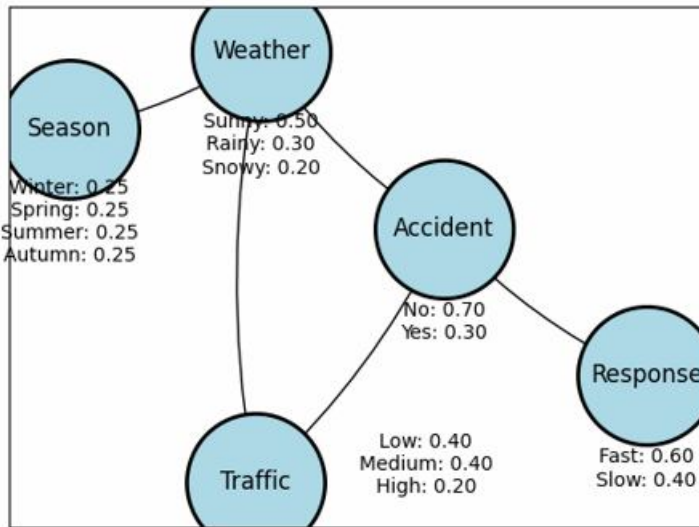


Рис. 2. Схема басової мережі  
для аналізу ризиків навігаційної системи автономного судна

Вибір басових мереж як основного методу аналізу ризиків був обумовлений їхньою здатністю враховувати ймовірнісні залежності між різними факторами ризику. Це дозволяє не тільки прогнозувати ймовірність виникнення конкретних подій, але й визначити ключові фактори, які впливають на результати.

Системи прийняття рішень в режимі реального часу мають вирішальне значення для управління динамічним характером морських операцій. Ці системи інтегрують дані в режимі реального часу з різних джерел, таких як прогнози погоди, показання датчиків і показники продуктивності судна, для підтримки негайного і обґрунтованого прийняття рішень. Автономні судна потребують систем прийняття рішень в режимі реального часу для управління складним і мінливим морським середовищем. Наприклад, в режимі реального часу стан моря і дані про рух можуть допомогти автономному судну регулювати свій маршрут, щоб уникнути потенційних небезпек, тим самим підвищуючи безпеку і ефективність експлуатації.

Інтеграція цих моделей прийняття рішень в більш широку систему управління ризиками гарантує, що підприємства можуть ефективно управляти невизначеністю, пов'язаною з автономними морськими системами. Цей комплексний підхід включає в себе не тільки виявлення і зменшення потенційних загроз, але і постійний моніторинг і адаптацію стратегій для забезпечення стійкості перед лицем непередбачених викликів. Використовуючи ці передові інструменти прийняття рішень та управління ризиками, морські оператори можуть краще керувати складністю автономних операцій, що в кінцевому підсумку призводить до більш безпечного та ефективного морського транспорту.

Результати впровадження резервних навігаційних систем показали, що завдяки їм кількість інцидентів, пов'язаних з навігаційними помилками, зменшилася на 30 % за період експлуатації. Це свідчить про значний вплив резервних систем на підвищення надійності автономних суден.

## *2. Адаптивні системи управління ризиками в автономних системах*

Оскільки підприємства все частіше впроваджують автономні технології в свої морські операції, потреба в надійних стратегіях управління ризиками стає першорядною. Автономні судна, забезпечуючи при цьому значні переваги з точки зору експлуатаційної ефективності та безпеки, також створюють ряд нових ризиків, які необхідно ретельно управляти для забезпечення успішного розгортання та експлуатації.

Першим кроком в ефективному управлінні ризиками є виявлення потенційних ризиків, пов'язаних з використанням автономних систем. Ці ризики можна широко класифікувати на операційні ризики, екологічні ризики та ризики кібербезпеки. Операційні ризики включають системні збої, помилки навігації та виклики взаємодії між людиною та машиною.

Екологічні ризики пов'язані з потенційним впливом автономних суден на морські екосистеми, особливо у випадку аварій або неналежного поводження з небезпечними матеріалами. Ризики кібербезпеки також є критичними, оскільки автономні системи дуже залежать від цифрової інфраструктури, яка може бути вразливою до злону або інших форм кібератак.

Як тільки ризики будуть визначені, підприємства повинні оцінювати і визначати пріоритети на основі їх потенційного впливу і ймовірності. Такі інструменти, як матриці ризику та режим відмови та аналіз ефектів (FMEA), можуть бути використані для оцінки тяжкості та частоти потенційних збоїв, що дозволяє визначити пріоритетність зусиль щодо зменшення ризику. Наприклад, в морських операціях ризик помилок навігації може бути пріоритетним через серйозні наслідки зіткнення або заземлення. Після того, як ризики стають пріоритетними, наступним кроком є розробка та впровадження стратегій зменшення наслідків.

У табл.1 представлено різноманітні стратегії зменшення ризиків, пов'язаних з автономними системами в морських операціях, які спрямовані на мінімізацію потенційних загроз і підвищення безпеки суден, що працюють з мінімальним втручанням людини:

Управління ризиками – це не одноразова діяльність, а постійний процес, який вимагає постійного моніторингу та адаптації. Оскільки автономні системи використовуються в різних морських операціях, оперуючі компанії повинні постійно контролювати свою ефективність, виявляти нові ризики і відповідним чином адаптувати свої стратегії управління ризиками. Це включає в себе Використання ключових показників ризику (KRI) для моніторингу ефективності зусиль щодо зменшення ризику та коригування їх у разі необхідності.

Таблиця 1

*Стратегії мінімізації ризиків  
при використанні автономних систем уморських операціях*

Стратегія	Опис	Приклад/ застосування
Системи резервування	Впровадження резервних систем для підтримки роботи в разі виходу з ладу основної системи.	Резервні навігаційні системи для запобігання аварійним ситуаціям або у випадку збою основної навігаційної системи.
Моніторинг у режимі реального часу	Постійне відстеження продуктивності системи та умов навколишнього середовища для виявлення та вирішення проблем на ранніх стадіях.	Моніторинг в режимі реального часу курсу, швидкості та стану системи для забезпечення безпечної експлуатації судна.
Регулярні оновлення та виправлення	Оновлення програмних систем для захисту від загроз кібербезпеки шляхом усунення вразливостей.	Регулярне застосування патчів та оновлень до цифрових систем судна для запобігання їх експлуатації зловмисниками.
Навчання та симуляція	Проведення тренінгів та симуляцій для підготовки операторів до управління автономними системами та реагування на надзвичайні ситуації.	Симуляція збоїв систем, порушень кібербезпеки та екологічних інцидентів для забезпечення готовності до надзвичайних ситуацій.

Управління ризиками – це не одноразова діяльність, а постійний процес, який вимагає постійного моніторингу та адаптації. Оскільки автономні системи використовуються в різних морських операціях, оперуючі компанії повинні постійно контролювати свою ефективність, виявляти нові ризики і відповідним чином адаптувати свої стратегії управління ризиками. Це включає в себе використання ключових показників ризику (KRI) для моніторингу ефективності зусиль щодо зменшення ризику та коригування їх у разі необхідності.

Як приклад розглянемо судноплавну компанію, яка ввела в свій флот автономні судна. Компанія регулярно проводить оцінки ризиків FMEA, визначаючи кібербезпеку як пріоритет, враховуючи критичний характер цифрових навігаційних систем на борту суден.

Для вирішення цієї проблеми компанія інвестує в посилені заходи кібербезпеки, включаючи шифрування, багатофакторну аутентифікацію та регулярні перевірки системи. Також впроваджуються системи моніторингу в режимі реального часу для постійного спостереження за функціонуванням автономних суден, що дозволяє своєчасно виявляти будь-які аномалії, які можуть свідчити про порушення безпеки або несправності системи.

Завдяки цим зусиллям з активного управління ризиками, компанія не тільки знижує потенційні ризики, пов'язані з офф-лайн системами, але і покращує загальну безпеку та ефективність морських операцій (рис. 3).



Mitigation Strategies for Risk Management in Autonomous Systems

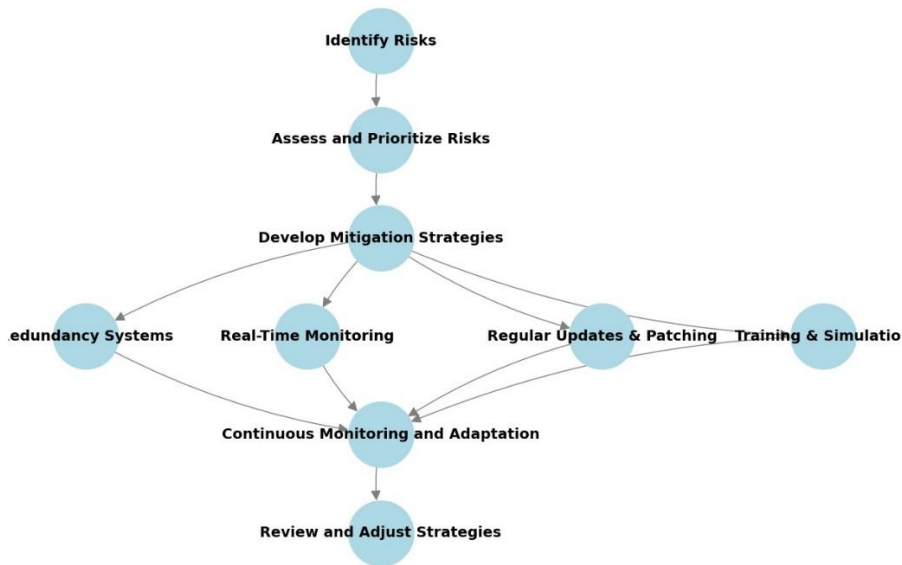


Рис. 3. Стратегії мінімізації ризиків в автономних системах

Отримані результати демонструють високу ефективність запропонованих підходів у зниженні операційних ризиків. Зокрема, інтеграція басових мереж з системами моніторингу в реальному часі дозволила значно знизити ймовірність зіткнень і підвищити загальну безпеку операцій. Порівняння з попередніми дослідженнями показує, що запропонована методика дозволяє досягти більш високої точності прогнозування та адаптивності до змінних умов.

## 2 Практичне застосування запропонованих рішень

Щоб проілюструвати практичне застосування моделей прийняття рішень та стратегій управління ризиками при розгортанні автономних систем, у цьому розділі представлені деякі приклади з галузі, які показують, як компанії успішно пройшли через складність інтеграції автономних технологій, ефективно керуючи пов'язаними ризиками.

*Case Study 1. Впровадження систем резервування в безпечні морські системи*

Наприклад, впровадження систем резервування в контексті автономного судноплавства було здійснене у відповідь на виявлену вразливість навігаційних систем, яка могла б спричинити критичні збої під час виконання операцій. Зіштовхнувшись з цією проблемою, провідна судноплавна компанія провела комплексний аналіз можливих сценаріїв за допомогою моделі прийняття рішень, що ґрунтується на багатofакторному підході до оцінки ризиків. Цей аналіз

включав детальний розгляд ймовірних наслідків відмов систем і виявлення критичних точок, де збій однієї системи міг призвести до каскадних відмов.

На основі проведеного аналізу дерева рішень було прийнято рішення про впровадження надлишкових навігаційних систем на всіх автономних судах флоту. Ці додаткові системи були інтегровані таким чином, щоб забезпечити негайне і автоматичне перемикавання на резервну систему у разі відмови основної, тим самим зберігаючи безперервність і надійність навігаційних операцій.

Результати впровадження таких резервних систем значно покращили операційну надійність суден, зменшили ймовірність збоїв, що, в свою чергу, дозволило компанії мінімізувати ризики пов'язані з навігаційними відмовами. Такий проактивний підхід не лише підвищив рівень безпеки судноплавних операцій, але й позитивно вплинув на загальний профіль ризику компанії, що сприяло зниженню страхових внесків і зміцненню довіри з боку зацікавлених сторін та інвесторів.

*Case Study 2. Комплексний підхід до моніторингу в реальному часі та управління ризиками*

Портова адміністрація зіткнулася з викликом забезпечення безпеки автономних суден під час їхнього входу та виходу з портових вод, враховуючи високу інтенсивність руху та динамічні погодні умови. Для розв'язання цього завдання була розроблена інтегрована система моніторингу, яка здійснює оцінку ризиків в режимі реального часу, спираючись на аналіз даних, що надходять від численних сенсорних систем, таких як датчики навколишнього середовища, автоматизовані системи управління суднами та прогностичні моделі погоди.

Також впровадження баєсових мереж дозволило портовій адміністрації створити комплексну систему оцінки ризиків, що враховує різноманітні фактори ризику в реальному часі, такі як можливість зіткнення, несприятливі погодні умови та інші інциденти. Ця система надала можливість порту оперативно та точно адаптувати рух суден, що суттєво зменшило ризик аварій та підвищило ефективність управління трафіком.

Завдяки цим нововведенням портова адміністрація не лише покращила рівень безпеки, але й значно підвищила пропускну спроможність порту, що в свою чергу, призвело до оптимізації операційної діяльності та зростання довіри серед учасників портового бізнесу.

*Case Study 3. Комплексне управління ризиками кібербезпеки через регулярні оновлення та вдосконалення*

У контексті зростаючих загроз кібербезпеки морська логістична компанія, яка експлуатує флот автономних суден, усвідомила нагальну необхідність щодо посилення захисту своєї цифрової інфраструктури. Використовуючи матрицю ризиків, компанія провела всебічний аналіз своїх систем, визначивши ключові вразливості, що могли б бути використані зловмисниками. Результати цього аналізу стали основою для впровадження строгого графіка регулярних оновлень і патчів, що забезпечило своєчасний захист усіх систем від найновіших кіберзагроз.

Ця стратегія управління ризиками, що включає постійне оновлення та захист систем, дозволила компанії суттєво знизити ймовірність успішних кібератак. Особливо важливою виявилася ця практика для захисту конфіденційних навігаційних даних та збереження цілісності операцій, що проводяться офлайн. Окрім того, компанія впровадила регулярні тренінги з кібербезпеки для свого персоналу, готуючи його до можливих інцидентів, що ще більше зміцнило її позиції у сфері управління кіберризиками.

#### *Case Study 4: Навчання та симуляція для автономних систем*

Морська дослідницька організація, яка займається розробкою автономних надводних транспортних засобів (ASV), запровадила всебічний підхід до навчання та симуляційного моделювання, інтегрувавши їх у процес розробки. Використовуючи системи прийняття рішень в режимі реального часу та моделювання різних сценаріїв, включаючи надзвичайні ситуації та системні збої, організація забезпечила високоякісну підготовку операторів до управління ASV.

Застосування цих навчальних та симуляційних методів не тільки значно підвищило здатність операторів ефективно керувати ASV у складних умовах, але й дозволило виявити потенційні ризики та слабкі місця на ранніх етапах розробки. Цей проактивний підхід призвів до вдосконалення систем управління ASV, що забезпечило підвищену надійність і безпеку під час реальних операцій.

Таким чином на основі теоретичних моделей було розроблено адаптивні стратегії, які забезпечують динамічну оцінку та управління ризиками в реальному часі. Наприклад, в одному з кейсів було показано, як інтеграція систем моніторингу в режимі реального часу з баєсовими мережами дозволила значно знизити ризики зіткнень під час входу автономних суден у порт. Це досягалося шляхом динамічного регулювання руху суден на основі даних про їхнє положення, погодні умови та інші релевантні фактори.

На відміну від традиційних підходів до управління ризиками, що ґрунтуються на статичних моделях, запропонований підхід дозволяє адаптуватися до змінних умов в реальному часі. Це забезпечує більш гнучке та ефективне управління автономними морськими системами, знижуючи ймовірність виникнення критичних ситуацій. Такий підхід дозволяє не лише передбачати можливі ризики, але й ефективно управляти ними, що робить морські операції більш безпечними та надійними.

Результати дослідження підкріплені сучасними науковими джерелами та підтверджуються емпіричними даними, отриманими з практичних кейсів. Зокрема, аналіз різних сценаріїв, виконаний на основі дерев рішень та баєсових мереж, дозволив показати, як ці моделі можуть бути ефективно використані для мінімізації ризиків в автономних морських операціях.

**Висновки.** Інтеграція автономних систем у морські операції є значним прогресом в галузі, забезпечуючи підвищену безпеку, оперативну ефективність і рентабельність. Проте успішне впровадження цих технологій значною мірою залежить від надійних структур прийняття рішень і комплексних стратегій управління ризиками. У цій статті досліджується критична роль моделей прийняття рішень, таких як дерева рішень, баєсові мережі та системи прийняття рішень у реальному часі. Дослідження підкреслює значну користь від впровадження адаптивних стратегій управління ризиками, особливо в контексті автономних морських систем.

Застосування цих моделей дозволяє судноплавним компаніям краще управляти невизначеністю, властивою автономним операціям, забезпечуючи виявлення, оцінку та мінімізацію ризиків за допомогою проактивного підходу. Впровадження резервних систем, моніторинг у режимі реального часу, регулярні оновлення програмного забезпечення та ретельне навчання є важливими компонентами ефективної стратегії управління ризиками. Ці заходи не тільки підвищують безпеку і надійність морських операцій, але й сприяють загальній сталості та конкурентоспроможності галузі. Подальші дослідження можуть зосередитися на вдосконаленні моделей, що враховують більшу кількість факторів ризику та використовують більш детальні дані з різних джерел, що, в свою чергу, може суттєво підвищити безпеку та ефективність морських операцій.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Wang, L., & Yang, Z. (2018). Bayesian network modelling and analysis of accident severity in waterborne transportation: A case study in China. *Reliability Engineering & System Safety*, 180, 277–289.
2. Zhang, D., Yan, X., Yang, Z., & Wang, J. (2013). An accident data-based approach for congestion risk assessment of inland waterways: A Yangtze River case. *Journal of Reliability*, 288, 176–188.
3. Zhao, X., Yuan, H., & Yu, Q. (2021). Autonomous vessels in the Yangtze River: A study on the maritime accidents using data-driven Bayesian networks. *Sustainability*, 13(9985). <https://doi.org/10.3390/su13179985>
4. Abilio Ramos, M., Utne, I. B., & Mosleh, A. (2019). Collision avoidance on maritime autonomous surface ships: Operators' tasks and human failure events. *Safety Science*, 116, 33–44.
5. Jokioinen, E., Poikonen, J., Jalonen, R., & Saarni, J. (2016). Remote and Autonomous Ships—The Next Steps; AAWA Position Paper. *Rolls Royce plc*.
6. Goerlandt, F. (2020). Maritime Autonomous Surface Ships from a risk governance perspective: Interpretation and implications. *Safety Science*, 128, 104758.
7. Wróbel, K., Montewka, J., & Kujala, P. (2017). Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety. *Reliability Engineering & System Safety*, 165, 155-169.
8. Bye, R.J., & Aalberg, A.L. (2018). Maritime navigation accidents and risk indicators: An exploratory statistical analysis using AIS data and accident reports. *Reliability Engineering & System Safety*, 176, 174-186.

9. Jalonen, R., Tuominen, R., & Wahlström, M. (2017). Safety of Unmanned Ships: Safe Shipping with Autonomous and Remote Controlled Ships. *Aalto University*.
10. Dghaym, D., Hoang, T.S., Turnock, S.R., Butler, M., Downes, J., & Pritchard, B. (2021). An STPA-based formal composition framework for trustworthy autonomous maritime systems. *Safety Science*, 136, 105139.
11. Ventikos, N.P., Chmurski, A., & Louzis, K. (2020). A systems-based application for autonomous vessels safety: Hazard identification as a function of increasing autonomy levels. *Safety Science*, 131, 104919.
12. Sotiralis, P., Ventikos, N. P., Hamann, R., Golyshev, P., & Teixeira, A.P. (2016). Incorporation of human factors into ship collision risk models focusing on human centred design aspects. *Reliability Engineering & System Safety*, 156, 210–227.
13. Van Dorp, J.R., & Merrick, J.R.W. (2011). On a risk management analysis of oil spill risk using maritime transportation system simulation. *Annals of Operations Research*, 187, 249–277.
14. Fan, S., Blanco-Davis, E., Yang, Z., Zhang, J., & Yan, X. (2020). Incorporation of human factors into maritime accident analysis using a data-driven Bayesian network. *Reliability Engineering & System Safety*, 203, 107070.
15. Heij, C., & Knapp, S. (2012). Evaluation of safety and environmental risk at individual ship and company level. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17, 228-236.
16. Zhang, D., Yan, X.P., Yang, Z.L., Wall, A., & Wang, J. (2013). Incorporation of formal safety assessment and Bayesian network in navigational risk estimation of the Yangtze River. *Reliability Engineering & System Safety*, 118, 93-105.
17. Zhang, D., Yan, X., Yang, Z., & Wang, J. (2012). A subjective approach for evaluating navigational risk of Yangtze River. In *Proceedings of the 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 ESREL 2012), Helsinki, Finland, 25–29 June 2012*.
18. Tezdogan, T., Demirel, Y. K., Kellett, P., Khorasanchi, M., Incecik, A., & Turan, O. (2015). Full-scale unsteady RANS CFD simulations of ship behaviour and performance in head seas due to slow steaming. *Ocean Engineering*, 97, 186-206.
19. Korban, D., Melnyk, O., Onishchenko, O., Kurdiuk, S., & Shevchenko, V. (2024). Radar-based detection and recognition methodology of autonomous surface vehicles in challenging marine environment. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 122, 111-127. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.122.7>

20. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., & Volianska, Y. (2023). Development the Method of Shipboard Operations Risk Assessment Quality Evaluation Based on Experts Review. *Studies in Systems, Decision and Control*, 481, 695-710. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_40)
21. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Shcherbina, O., & Vasalatii, N. (2023). Simulation-Based Method for Predicting Changes in the Ship's Seaworthy Condition Under Impact of Various Factors. *Studies in Systems, Decision and Control*, 481, 653-664. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_37)
22. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Shumylo, O., Volyanskyy, S., Bondar, A., & Cheredarchuk, N. (2023). Application of Fuzzy Controllers in Automatic Ship Motion Control Systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(4), 3958-3968. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3948-3957>
23. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Shumylo, O., Voloshyn, A., Koskina, Y., & Volianska, Y. (2022). Review of Ship Information Security Risks and Safety of Maritime Transportation Issues. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16(4), 717-722. <https://doi.org/10.12716/1001.16.04.13>
24. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Voloshyn, A., Kalinichenko, Y., Rossomakha, O., & Naleva, G. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16(3), 553-559. <https://doi.org/10.12716/1001.16.03.18>
25. Мельник, О.М., Волянська, Я.Б., Калініченко, Є.В., Логінов, О.В., Корякін, К.С., Бурлаченко, Д.А., & Щенявський, Г.С. (2022). Використання інформаційних технологій на водному транспорті та перспективи їх розвитку. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки*, 33 (72) № 3, 99-105. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.3/16>
26. Мельник, О.М., Онищенко, О.А., Васалатій, Н.В., Корякін, К.С., Пуляев, І.О., & Щенявський, Г.С. (2022). Технології інформаційної взаємодії у процесі підвищення безпеки мореплавства. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки*, 33(72) № 4, 260-265. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/39>

## REFERENCES

1. Wang, L., & Yang, Z. (2018). Bayesian network modelling and analysis of accident severity in waterborne transportation: A case study in China. *Reliability Engineering & System Safety*, 180, 277-289.
2. Zhang, D., Yan, X., Yang, Z., & Wang, J. (2013). An accident data-based approach for congestion risk assessment of inland waterways: A Yangtze River case. *Journal of Reliability*, 288, 176-188.

3. Zhao, X., Yuan, H., & Yu, Q. (2021). Autonomous vessels in the Yangtze River: A study on the maritime accidents using data-driven Bayesian networks. *Sustainability*, 13(9985). <https://doi.org/10.3390/su13179985>
4. Abilio Ramos, M., Utne, I. B., & Mosleh, A. (2019). Collision avoidance on maritime autonomous surface ships: Operators' tasks and human failure events. *Safety Science*, 116, 33-44.
5. Jokioinen, E., Poikonen, J., Jalonen, R., & Saarni, J. (2016). Remote and Autonomous Ships—The Next Steps; AAWA Position Paper. *Rolls Royce plc*.
6. Goerlandt, F. (2020). Maritime Autonomous Surface Ships from a risk governance perspective: Interpretation and implications. *Safety Science*, 128, 104758.
7. Wróbel, K., Montewka, J., & Kujala, P. (2017). Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety. *Reliability Engineering & System Safety*, 165, 155-169.
8. Bye, R. J., & Aalberg, A. L. (2018). Maritime navigation accidents and risk indicators: An exploratory statistical analysis using AIS data and accident reports. *Reliability Engineering & System Safety*, 176, 174-186.
9. Jalonen, R., Tuominen, R., & Wahlström, M. (2017). Safety of Unmanned Ships: Safe Shipping with Autonomous and Remote Controlled Ships. *Aalto University*.
10. Dghaym, D., Hoang, T. S., Turnock, S. R., Butler, M., Downes, J., & Pritchard, B. (2021). An STPA-based formal composition framework for trustworthy autonomous maritime systems. *Safety Science*, 136, 105139.
11. Ventikos, N. P., Chmurski, A., & Louzis, K. (2020). A systems-based application for autonomous vessels safety: Hazard identification as a function of increasing autonomy levels. *Safety Science*, 131, 104919.
12. Sotiralis, P., Ventikos, N. P., Hamann, R., Golyshchev, P., & Teixeira, A. P. (2016). Incorporation of human factors into ship collision risk models focusing on human centred design aspects. *Reliability Engineering & System Safety*, 156, 210-227.
13. Van Dorp, J. R., & Merrick, J. R. W. (2011). On a risk management analysis of oil spill risk using maritime transportation system simulation. *Annals of Operations Research*, 187, 249-277.
14. Fan, S., Blanco-Davis, E., Yang, Z., Zhang, J., & Yan, X. (2020). Incorporation of human factors into maritime accident analysis using a data-driven Bayesian network. *Reliability Engineering & System Safety*, 203, 107070.
15. Heij, C., & Knapp, S. (2012). Evaluation of safety and environmental risk at individual ship and company level. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17, 228-236.

16. Zhang, D., Yan, X. P., Yang, Z. L., Wall, A., & Wang, J. (2013). Incorporation of formal safety assessment and Bayesian network in navigational risk estimation of the Yangtze River. *Reliability Engineering & System Safety*, 118, 93-105.
17. Zhang, D., Yan, X., Yang, Z., & Wang, J. (2012). A subjective approach for evaluating navigational risk of Yangtze River. *In Proceedings of the 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 ESREL 2012), Helsinki, Finland, 25-29 June 2012.*
18. Tezdogan, T., Demirel, Y. K., Kellett, P., Khorasanchi, M., Incecik, A., & Turan, O. (2015). Full-scale unsteady RANS CFD simulations of ship behaviour and performance in head seas due to slow steaming. *Ocean Engineering*, 97, 186-206.
19. Korban, D., Melnyk, O., Onishchenko, O., Kurdiuk, S., & Shevchenko, V. (2024). Radar-based detection and recognition methodology of autonomous surface vehicles in challenging marine environment. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 122, 111-127. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.122.7>
20. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., & Volianska, Y. (2023). Development the Method of Shipboard Operations Risk Assessment Quality Evaluation Based on Experts Review. *Studies in Systems, Decision and Control*, 481, 695-710. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_40)
21. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Shcherbina, O., & Vasalati, N. (2023). Simulation-Based Method for Predicting Changes in the Ship's Seaworthy Condition Under Impact of Various Factors. *Studies in Systems, Decision and Control*, 481, 653-664. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_37)
22. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Shumylo, O., Volyanskyy, S., Bondar, A., & Cheredarchuk, N. (2023). Application of Fuzzy Controllers in Automatic Ship Motion Control Systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13 (4), 3958-3968. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3948-3957>
23. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Shumylo, O., Voloshyn, A., Koskina, Y., & Volianska, Y. (2022). Review of Ship Information Security Risks and Safety of Maritime Transportation Issues. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16(4), 717-722. <https://doi.org/10.12716/1001.16.04.13>
24. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Voloshyn, A., Kalinichenko, Y., Rossomakha, O., & Naleva, G. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16(3), 553-559. <https://doi.org/10.12716/1001.16.03.18>



25. Melnyk, O.M., Volyanskaya, Y.B., Kalinichenko, E.V., Loginov, O.V., Koryakin, K.S., Burlachenko, D.A., & Shenyavsky, G.S. (2022). The use of information technologies in water transport and prospects for their development. *Scientific notes of TNU named after Vernadsky. Technical Sciences*, 33(72) No. 3, 99-105. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.3/16>
26. Melnyk, O.M., Onishchenko, O.A., Vasalatii, N.V., Koryakin, K.S., Puliaiev, I.O., & Shenyavskiy, G.S. (2022). Technologies of information interaction in the process of improving the safety of navigation. *Scientific notes of TNU named after Vernadsky. Technical Sciences*, 33(72) No. 4, 260-265. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/39>

*Стаття надійшла до редакції 12.04.2024*

**Посилання на статтю:** Логінов О.В., Бурлаченко Д.А., Никитюк П.В., Кучеренко В.Ю., Котенко О. В., Волошин Д.А. Інтеграція моделей прийняття рішень та управління ризиками в автономних морських системах // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2024. № 3 (74). С. 86-102. DOI 10.47049/2226-1893-2024-3-86-102.

*Article received 12.04.2024*

**Reference a journal artic:** Lohinov O., Burlachenko D., Nikitiuk P., Kucherenco V., Kotenko O., Voloshyn D. Implementation of models for decision-making and risk management in autonomous maritime systems // *Herald of the Odessa national maritime university*: Coll. scient. works, 2024. № 3 (74). P. 86-102. DOI 10.47049/2226-1893-2024-3-86-102.