

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Сагін Сергій Сергійович

УДК 629.5

ДИСЕРТАЦІЯ

**МІНІМІЗАЦІЯ РИЗИКУ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН ПРИ РОЗХОДЖЕННІ В
СИТУАЦІЇ НАДМІРНОГО ЗБЛИЖЕННЯ**

Спеціальність 271 – Морський та внутрішній водний транспорт

Галузь знань 27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


Сергій САГІН

Науковий керівник:
Астайкін Дмитро Вадимович,
кандидат технічних наук, доцент

АНОТАЦІЯ

Сагін С.С. Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного зближення.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт (галузь знань 27 – Транспорт). – Національний університет «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2024.

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв’язання науково-прикладного завдання – підвищення безпеки судноводіння шляхом вдосконалення визначення параметрів розходження суден та оптимізації управління рухом судна.

Головною мотивацією проведених досліджень є наявність сьогоденних запитів практики – необхідність підвищення рівня безпеки судноводіння і вдосконалення методів розходження суден під час ситуацій надмірного зближення.

Головне завдання наукового дослідження полягає в удосконаленні визначення параметрів розходження суден шляхом оптимізації управління руху судна із застосуванням технологій інтелектуального аналізу даних.

Для розв’язання головного завдання дослідження виконані такі **допоміжні завдання**:

1) формалізація вибору маневрів розходження для зниження ризиків зіткнень суден;

2) оцінка можливостей використання інтелектуального аналізу даних під час забезпечення навігації та маневрування суден морського та внутрішнього водного транспорту;

3) аналіз застосування інтелектуального аналізу даних для забезпечення мінімізації ризику зіткнення суден під час розходження в ситуації надмірного зближення.

Як результат розв'язання завдань дослідження сформульовано **наукове положення**: оптимальний стандартний маневр розходження судна, який реалізується за допомогою використання технологій інтелектуального аналізу даних, забезпечує мінімізацію ризику зіткнення суден у ситуаціях надмірного зближення та відрізняється врахуванням вимог МПЗЗС-72 в частині маневрування суден для запобігання їх зіткнень.

Наукове положення обґрунтоване **науковими результатами, вперше**:

- визначено, що для мінімізації виникнення ситуацій надмірного зближення суден, ефективним є застосування новітніх методологій інтелектуального аналізу даних, які дозволяють оцінювати траєкторії руху та ризику надмірного зближення суден;

- розроблено аналітичну методику, що дозволяє встановлювати критичні часові проміжки, які є визначальними для запобігання зіткненню суден;

- запропоновано метод управління рухом судна, який базується на застосуванні аналітичних моделей, спрямованих на врахування конкретних умов зближення суден, та передбачає корекцію курсу та швидкості відповідно до їх змін у поточній ситуації;

- запропоновано прикладний метод використання інтелектуального аналізу даних для оптимізації визначення безпечного маневру ухилення з урахуванням поточних умов зближення суден та граничних показників розходження.

Удосконалено:

- технологію розрахунку діапазону неприпустимих значень параметрів маневру ухилення, що спрощує вибір ефективних дій у ситуаціях надмірного зближення суден;

- технологію управління, яка (на відміну від існуючих) інтегрована з сучасними системами моніторингу, що сприяє оптимізації маршрутів руху та підвищенню безпеки судноплавства;

- технологію використання інтелектуального аналізу даних, яка значно покращує аналіз поточної ситуації відносного знаходження суден та прогнозування маневрів суден, забезпечуючи високу точність розрахунків за короткий час.

Отримала подальший розвиток:

- технологія автоматичного використання інтелектуального аналізу даних під час виникнення ситуацій надмірного зближення суден;

- технологія забезпечення екологічної ефективності під час корегування навігаційних переходів із застосуванням інтелектуального аналізу даних.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- технологія підвищення точності в оцінюванні параметрів маневрування суден забезпечує ефективне зниження ризиків зіткнень у ситуаціях надмірного зближення, що значно сприяє підвищенню безпеки судноплавства;

- технологія інтелектуального аналізу даних у системі управління рухом суден дозволяє автоматизувати процес прийняття рішень щодо вибору оптимального маневру в реальному часі, що значно знижує людський фактор у процесі управління безпекою руху;

- технології інтелектуального аналізу даних, інтегровані з системами моніторингу та навігації, забезпечують високу адаптивність до змінюваних умов навігації і можливість оперативно реагувати на потенційні загрози, тим самим підвищуючи загальну ефективність управління судном;

- забезпечення процесу імплементації запропонованої технології знижує екологічний вплив судноплавства за рахунок точнішого та ефективнішого корегування навігаційних переходів.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені:

- технологія визначення оптимальних маневрів ухилення в ситуаціях надмірного зближення суден, що заснована на оперативній оцінці ризиків та аналізі траєкторій зближення і забезпечує точне визначення критичних часових інтервалів для запобігання зіткненню, значно спрощує процес вибору ефективних дій за допомогою аналітичних виразів, інтегрує сучасні технології моніторингу для оптимізації маршрутів і зниження ризиків, підвищуючи тим самим загальну безпеку судноплавства;

- технологія інтелектуального аналізу даних, що оптимізує аналіз поточних критичних ситуацій із надмірним зближенням суден, гарантуючи точність розрахунків на рівні 99 % та прискорюючи у 10...20 разів час проведення розрахунків порівняно з традиційними методами;

- технологія визначення ризиків із використанням інтелектуального аналізу даних, яка інтегрована в навігаційні системи суден, що забезпечує точне прийняття рішень у реальному часі, знижує ризики зіткнення, підвищує енергоефективність і мінімізує екологічний вплив;

- технологія використання інтелектуального аналізу даних, що дозволяє коригувати навігаційні переходи в реальному часі для забезпечення екологічних стандартів, аналізуючи викиди випускних газів, оперативно реагуючи на відхилення, покращуючи моніторинг і контроль забруднення довкілля та знижуючи екологічні ризики з точністю вимірів до 1,5%.

Ключові слова: адаптивні системи, безпека судноплавства, енергетична ефективність, забезпечення безпеки, запобігання зіткненню суден, інтелектуальний аналіз даних, керування судном, людський фактор, маневр ухилення, маневрування, математичний алгоритм, мінімізація ризику, морський транспорт, навігаційний перехід, оператор, параметри маневру, ситуації надмірного зближення, судноводіння, управління ризиками, управління рухом судна.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті в наукових фахових виданнях України (категорії Б), що входять до переліку наукових фахових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії

1. Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден / С.С. Сагін, С.В. Сагін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.

2. Сагін С.В. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження / С.В. Сагін, С.С. Сагін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.

3. Мадей В.В. Корегування навігаційного переходу під час забезпечення екологічних показників роботи суднових дизелів / В.В. Мадей, О.М. Волков, С.С. Сагін // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. - техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 52-66. https://doi.org/10.31653/1819-3293-2023-1-28-52-66.

4. Сагін С.С. Вдосконалення взаємодії елементів суднового пропульсивного комплексу під час забезпечення маневру розходження морських суден / С.С. Сагін // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 108-121. doi : 10.31653/smf47.2023.108-121.

5. Сагін С.В. Аналіз екологічної стійкості та енергетичної ефективності використання скрубберного очищення випускних газів дизелів суден морського транспорту / С.В. Сагін, В.В. Мадей, С.С. Сагін, В.І. Чимшир, Р.О. Разінкін // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 157-171. doi : 10.31653/smf47.2023.157-171.

6. Sagin S.V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport / S.V. Sagin, S.S. Sagin, V. Madey // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33-42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

Статті в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science:

7. Burmaka I. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed / I. Burmaka, I. Vorokhobin, O. Melnyk, O. Burmaka, S. Sagin // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.

8. Sagin S.V. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel / S.V. Sagin, S. Karianskyi, S.S. Sagin, O. Volkov, Y. Zablotyskyi, O. Fomin, V. Pířtřek, P. Kuřcera // Applied Ocean Research. – 2023. – Vol. 140. – P. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

9. Sagin S.V. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport / S.V. Sagin, S.S. Sagin, O. Fomin, O. Gaichenia, Y. Zablotyskyi, V. Pířtřek, P. Kuřcera // Renewable Energy. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.

Статті у збірках матеріалів наукових конференцій

10. Сагін С.С. Determination of the boundary values of the course alteration / Сагін С.С. // Наукова теоретично конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології», 18.11.2021 – 19.11.2021.– Одеса : Національний університет «Одеська морська академія»; 2021. – С. 83-86.

11. Сагін С.С. Визначення параметрів маневру ухилення під час забезпечення безпечного розходження морських суден / С.С. Сагін, І.І. Ворохобін // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції

«Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023)», 24-25 травня 2023 р. – Херсон : ХДМА. – 2023. – С. 127-130.

12. Мадей В.В. Забезпечення екологічності морських суден під час їх експлуатації в спеціальних екологічних районах північної Європи / В.В. Мадей, О.М. Волков, С.С. Сагін // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2023 – 23.03.2023. – Одеса : Національний університет «Одеська морська академія». – 2023. – С. 87-90.

З наукових робіт, опублікованих у співавторстві, автору належать особисто:

[1] – розробка технології проведення експериментальних досліджень, визначення та впровадження методології використання інтелектуального аналізу даних для оптимізації визначення безпечного маневру ухилення;

[2], [4], [11] – проведення експериментальних досліджень з визначення оптимальних маневрів ухилення при надмірному зближенні суден, використовуючи методології для аналізу траєкторій та оцінки ризиків зіткнення суден;

[3], [8], [9] – проведення експериментальних досліджень для визначення оптимального навігаційного маршруту суден.

[5], [6], [12] – проведення експериментальних досліджень для підвищення екологічної ефективності суден під час забезпечення навігаційних переходів.

[7], [10] – визначення аналітичних виразів для розрахунку меж неприпустимих значень маневру ухилення в ситуаціях надмірного зближення суден.

ANNOTATION

Sagin S.S. Minimization of collision risk during close-quarters situations

Dissertation for the scientific level of Doctor of Philosophy for specialties 271 – Maritime and inland water transport (Part of knowledge 27 – Transport). – National University "Odessa Maritime Academy" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2024.

The dissertation's research is aimed to solve a scientific and applied task – improving navigation safety by refining the parameters for ship divergence and optimizing movement control of the vessel.

The primary motivation for the conducted research stems from current **practical demands** – the need to enhance navigation safety and improve methods of ship's divergence during close-quarters situations.

The main task of the scientific research is to refine the determination of ship's divergence parameters by optimizing vessel's movement control using data intelligence technologies.

To solve the main research task, the following **auxiliary tasks** were performed:

- 1) formalization of the selection of divergence maneuvers to reduce the risk of ship collisions;
- 2) assessment of the potential of using data intelligence during the navigation and maneuvering of maritime and inland water transport vessels;
- 3) analysis of the application of data intelligence to minimize collision risk during close-quarters situations.

As a result of solving the **research tasks, a scientific proposition** has been formulated: an optimal standard divergence maneuver implemented using data intelligence technologies ensuring the minimization of collision risk during close-quarters situations, while complying with the COLREG-72 requirements for maneuvering vessels to avoid collisions.

The scientific proposition is substantiated by the following scientific results, presented for the first time:

- it has been determined that to minimize the occurrence of close-quarters situations, the effective application of modern data intelligence methodologies is essential, enabling the assessment of movement trajectories and the risks of close-quarters situations;
- an analytical method has been developed that establishes critical time intervals crucial for preventing ship collisions;
- a method for vessel movement control has been proposed, based on analytical models that consider specific close-quarters conditions and involve adjusting course and speed according to current situations;
- an applied method for using data intelligence to optimize the determination of safe avoidance maneuvers, considering current close-quarters conditions and divergence limits, has been proposed.

Improved technologies include:

- the technology for calculating the range of unacceptable avoidance maneuver parameters, simplifying the selection of effective actions in close-quarters situations;
- the control technology, which, unlike existing ones, is integrated with modern monitoring systems, contributing to route optimization and enhanced navigation safety;
- the use of data intelligence technology, significantly improving the analysis of the current relative position of vessels and the prediction of their maneuvers, ensuring high calculation accuracy in a short time.

Further developed technologies include:

- the technology for automatic use of data intelligence during close-quarters situations;
- the technology for ensuring environmental efficiency during navigation corrections using data intelligence.

The practical significance of the obtained results lies in:

- the technology for improving the accuracy in assessing vessel maneuvering parameters ensures effective risk reduction in close-quarters situations, significantly enhancing navigation safety;
- the use of data intelligence technology in vessel's movement control systems allows for the automation of decision-making processes regarding the optimal maneuver choice in real-time, significantly reducing the human factor in safety management;
- the integration of data intelligence technologies with monitoring and navigation systems provides high adaptability for changing navigation conditions and the ability to respond quickly to potential threats, thereby increasing overall vessel management efficiency;
- implementing the proposed technology reduces the environmental impact of navigation through more accurate and efficient navigation corrections.

The results of the dissertation research have been implemented:

- the technology for determining optimal avoidance maneuvers in close-quarters situations, based on rapid risk assessments and analysis of convergence trajectories, ensuring accurate determination of critical time intervals for collision prevention, simplifies the process of selecting effective actions using analytical expressions and integrates modern monitoring technologies for route optimization and risk reduction, thus enhancing overall navigation safety;
- the data intelligence technology optimizes the analysis of current critical close-quarters situations, ensuring calculation accuracy for 99% and accelerating calculations in 10-20 times compared with traditional methods;
- the risk assessment technology using data intelligence integrated into vessel navigation systems ensures accurate real-time decision-making, reduces collision risks, increases energy efficiency, and minimizes environmental impact;
- the use of data intelligence technology allows for real-time navigation corrections to ensure environmental standards, analyzing exhaust gas emissions,

responding promptly to deviations, improving pollution monitoring and control, and reducing environmental risks with measurement accuracy up to 15%.

Keywords: adaptive systems, automated control system, autonomous vessel, avoidance maneuver, close-quarters situations, collision warning, data intelligence, energy efficiency, information, navigation passage, navigation safety, navigation, return maneuver to planned trajectory, risk management method, risk minimization, situational awareness, vessel control, vessel movement control.

List of published works on the topic of the dissertation

Articles in scientific professional publications of Ukraine included in the list scientific professional publications of Ukraine, which may publish the results of dissertations for the degree of Doctor of Sciences, Candidate of Sciences and Doctor of Philosophy

1. Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден / С.С. Сагін, С.В. Сагін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.

2. Сагін С.В. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження / С.В. Сагін, С.С. Сагін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.

3. Мадей В.В. Корегування навігаційного переходу під час забезпечення екологічних показників роботи суднових дизелів / В.В. Мадей, О.М. Волков, С.С. Сагін // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. - техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 52-66. https://doi.org/10.31653/1819-3293-2023-1-28-52-66.

4. Сагін С.С. Вдосконалення взаємодії елементів суднового пропульсивного комплексу під час забезпечення маневру розходження морських суден / С.С. Сагін // Суднові енергетичні установки : науково-

технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 108-121. doi : 10.31653/smf47.2023.108-121.

5. Сагін С.В. Аналіз екологічної стійкості та енергетичної ефективності використання скрубєрного очищення випускних газів дизелів суден морського транспорту / С.В. Сагін, В.В. Мадей, С.С. Сагін, В.І. Чимшир, Р.О. Разінкін // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 157-171. doi : 10.31653/smf47.2023.157-171.

6. Sagin S.V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport / S.V. Sagin, S.S. Sagin, V. Madey // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

Articles in foreign publications included in the international scientometric databases Scopus and Web of Science

7. Burmaka I. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed / I. Burmaka, I. Vorokhobin, O. Melnyk, O. Burmaka, S. Sagin // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.

8. Sagin S.V. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel / S.V. Sagin, S. Karianskyi, S.S. Sagin, O. Volkov, Y. Zablotskyi, O. Fomin, V. Pířtřek, P. Kuřcera // Applied Ocean Research. – 2023. – Vol. 140. – P. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

9. Sagin S.V. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport / S.V. Sagin, S.S. Sagin, O. Fomin, O. Gaichenia, Y. Zablotskyi, V. Pířtřek, P. Kuřcera // Renewable Energy. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.

Articles in collections of materials of scientific conferences

10. Сагін С.С. Determination of the boundary values of the course alteration / Сагін С.С. // Наукова теоретично конференції «Судноводіння, морські

перевезення та технології», 18.11.2021 – 19.11.2021.– Одеса : Національний університет «Одеська морська академія»;, 2021. – С. 83-86.

11. Сагін С.С. Визначення параметрів маневру ухилення під час забезпечення безпечного розходження морських суден / С.С. Сагін, І.І. Ворохобін // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023)», 24-25 травня 2023 р. – Херсон : ХДМА. – 2023. – С. 127-130.

12. Мадей В.В. Забезпечення екологічності морських суден під час їх експлуатації в спеціальних екологічних районах північної Європи / В.В. Мадей, О.М. Волков, С.С. Сагін // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2023 – 23.03.2023. – Одеса: Національний університет «Одеська морська академія». – 2023. – С. 87-90.

Of the scientific works published in co-authorship, the author personally owns:

[1] – development of technology for conducting experimental research, determining and implementing the methodology of data intelligence for optimizing the determination of safe avoidance manoeuvres;

[2], [4], [11] – conducting experimental research to determine optimal avoidance manoeuvres in close-quarters situations, using methodologies for trajectory analysis and collision risk assessment;

[3], [8], [9] – conducting experimental research to determine the optimal navigation route for vessels;

[5], [6], [12] – conducting experimental research to enhance the environmental efficiency of vessels during navigation passages.

[7], [10] – determining analytical expressions for calculating the limits of unacceptable values of avoidance manoeuvres in close-quarters situations.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ	18
ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ІЗ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАВДАННЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН ...	27
1.1. Огляд основних складових, що впливають на безпеку судноплавства морського та внутрішнього водного транспорту	27
1.2. Аналіз основних навігаційних ситуацій, що впливають на безпечність плавання суден морського та внутрішнього водного транспорту	31
1.2.1. Аналіз стандартних ситуацій зближення суден, які регламентуються правилами МПЗЗС	32
1.2.2. Аналіз нестандартних ситуацій зближення суден із застосуванням багатозадачних способів і методів для попередження зіткнення	47
1.2.3. Аналіз аварійних ситуацій зближення суден, у яких застосовується екстрені та радикальні дії для уникнення зіткнення	39
1.3. Аналіз причин виникнення ситуацій надмірного зближення та зіткнення суден у морі	51
1.4. Висновки по розділу 1 та постановка завдання дослідження	54
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	56
2.1. Вибір теми наукового дослідження та визначення шляхів досягнення завдань дослідження	56
2.2. Обґрунтування мети, головного та допоміжних завдань дослідження	63
2.3. Застосування системного підходу під час планування, проведення та визначення результатів наукового дослідження	65

2.4. Організація та забезпечення проведення експериментальних досліджень	69
2.5. Висновки за розділом 2	71
РОЗДІЛ 3. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИБОРУ МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ	
	74
3.1. Аналіз основних динамічних характеристик руху судна та розробка аналітичних залежностей відносного курсу та швидкості судна від параметрів істинного руху групи суден	75
3.2. Умови можливості застосування стандартного маневру розходження методом ухилення у ситуації надмірного зближення суден у морі	79
3.3. Вибір параметрів ухилення судна за допомогою області неприпустимих значень параметрів руху судна	84
3.4. Аналіз оптимізації параметрів маневрування судна через шляхом регулювання курсу та швидкості	85
3.5. Формалізація вимог МПЗЗС-72, та урегулювання вибору маневрів розходження груп суден	98
3.6. Висновки з розділу 3	108
РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ПІД ЧАС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЇ ТА МАНЕВРУВАННЯ СУДЕН МОРСЬКОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ	
	110
4.1. Аналіз доцільності використання інтелектуального аналізу даних у процесі навігації та маневрування суден	111
4.2. Стратегія розробки персоналізованих технологій інтелектуального аналізу даних для забезпечення безпеки судноплавства суден морського та внутрішнього водного транспорту	114
4.2.1. Методологія використання машинного навчання в системах інтелектуального аналізу даних	116

4.2.2. Методологія складання та застосування розрахункових модулів ІАД для обробки та аналізу ситуацій зближення суден морського транспорту	118
4.3. Оцінка ризиків під час використання інтелектуального аналізу даних	120
4.4. Умови та практичне застосування ІАД під час вибору маневру розходження	131
4.5. Висновки за розділом 4	134
РОЗДІЛ 5. ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКУ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН ПІД ЧАС РОЗХОДЖЕННЯ В СИТУАЦІЇ НАДМІРНОГО ЗБЛИЖЕННЯ	136
5.1. Процедура взаємодії навігаційного оператора з технологією інтелектуального аналізу даних	136
5.2. Практичне застосування інтелектуального аналізу даних в ситуації небезпечного зближення суден	139
5.3. Дослідження методів забезпечення екологічної безпеки навігаційних переходів з інтеграцією технологій інтелектуального аналізу даних	154
5.4. Висновки за 5 розділом	166
ВИСНОВКИ	168
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	171
ДОДАТКИ	191

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

СУРС	– системи управління рухом суден
ІАД	– інтелектуальний аналіз даних
AIS	– Automatic Identification System
IMO	– International Maritime Organization
SOLAS	– International Convention for the Safety of Life at Sea
MARPOL	– The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
STCW	– The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers
МПЗЗС	– Міжнародні правила запобігання зіткненням суден у морі
GPT	– Generative pre-trained transformer
MGIS	– Морської географічної інформаційної системи

ВСТУП

Актуальність теми. Морський та річковий транспорт є основними компонентами глобальної транспортної інфраструктури, забезпечуючи ефективне та вигідне переміщення вантажів. Безпека судноплавства, особливо в аспекті мінімізації ризиків зіткнень суден, виступає основним елементом у забезпеченні надійності цієї системи. Важливість безпечного маневрування наголошує на потребі аналізу ситуацій зближення суден та вибору оптимальних маневрів для запобігання зіткненню суден. Це зумовлює необхідність застосування провідних навігаційних технологій і комп'ютерних систем, що ефективно сприяють прийняттю рішень та управлінню рухом суден.

В умовах надмірного зближення суден, що характеризуються інтенсивним судноплавством та навігаційними обмеженнями, критично важливими є швидке реагування та ухвалення рішень для уникнення потенційних загроз. Надмірне зближення суден створює складні навігаційні ситуації, які можуть призвести до аварій, тому важливість розробки методів для оцінки та покращення надійності судноводіння в ситуаціях надмірного зближення суден вимагає створення ефективних методів кількісної оцінки надійності маневрів та мінімізації негативного впливу зовнішніх чинників. Маневрування в таких умовах вимагає ефективного використання передових технологій з інтеграцією сучасних методів управління рухом суден, що значно підвищує рівень безпеки судноплавства.

Сучасні технології інтелектуального аналізу даних (ІАД) дозволяють значно знижувати ризик зіткнень, надаючи можливість точніше та більш обґрунтовано управляти маневрами суден у реальному часі. Застосування технологій ІАД сприяє зменшенню ризиків навігаційних помилок та забезпечує більш ефективніше реагування на критичні ситуації, пов'язані з надмірним зближенням суден.

Викладене вище підтверджує **актуальність** теми дисертаційного дослідження та мети дослідження, а саме – мінімізації ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного зближення. На початок проведення цього дослідження існували лише поодинокі, непов'язані між собою рекомендації щодо розв'язання цієї проблеми.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2030 року (розп. КМУ 30.03.18 р. № 430-р), а також у рамках держбюджетної науково-дослідної роботи Національного університету «Одеська морська академія» «Удосконалення методів управління та експлуатації суден» № ДР 0123U101463, у яких автор дисертації брав участь у виконанні окремого розділу.

Мета дослідження. Метою дослідження є визначення оптимальних методів управління маневруванням суден морського та внутрішнього водного транспорту з використанням сучасних технологій інтелектуального аналізу даних.

Основною науковою гіпотезою дослідження було прийнято тезу, що мінімізація ризику зіткнення суден забезпечується шляхом використання технологій інтелектуального аналізу даних під час вибору оптимального маневру розходження, що враховує вимоги МПЗЗС-72.

Головне завдання наукового дослідження полягає у вдосконаленні визначення параметрів розходження суден шляхом оптимізації управління рухом судна із застосуванням технологій інтелектуального аналізу даних.

Для розв'язання головного завдання дослідження виконані такі **допоміжні завдання**:

- 1) формалізація вибору маневрів розходження для зниження ризиків зіткнень суден;
- 2) оцінка можливостей використання інтелектуального аналізу даних під час забезпечення навігації та маневрування суден морського та внутрішнього водного транспорту;

3) аналіз застосування інтелектуального аналізу даних для забезпечення мінімізації ризику зіткнення суден під час розходження в ситуації надмірного зближення.

Об'єкт дослідження – процес навігації суден морського та внутрішньо водного транспорту.

Предмет дослідження – маневр розходження морських суден в умовах їх зближення.

Під час проведення дослідження використовувались такі методи:

- дедукції (під час виконання інформаційного пошуку);
- системного аналізу (під час визначення мети та завдань дослідження, а також під час розробки технологічної карти наукового дослідження);
- математичного моделювання (під час аналізу траєкторій руху суден та оцінки параметрів маневрування);
- проведення експериментів (під час визначення ефективності використання технологій інтелектуального аналізу даних та верифікації алгоритмів для оптимізації маневрування в реальних навігаційних сценаріях);
- статистичної обробки даних (при обробці результатів експериментів).

Наукова новизна роботи полягає в тому, що мінімізація ризику зіткнення суден досягається через впровадження технологій інтелектуального аналізу даних з метою точного та автоматизованого управління маневруванням судна з урахуванням існуючої навігаційної обстановки, що забезпечує безпечне та оптимальне розходження цих суден, відповідно до вимог МПЗЗС-72.

У результаті дослідження вперше:

- визначено, що для мінімізації виникнення ситуацій надмірного зближення суден ефективним є застосування новітніх методологій інтелектуального аналізу даних, які дозволяють оцінювати траєкторії руху та ризику надмірного зближення суден;

- розроблено аналітичну методику, що дозволяє встановлювати критичні часові проміжки, які є визначальними для запобігання зіткненню суден;

- запропоновано метод управління рухом судна, який базується на застосуванні аналітичних моделей, спрямованих на врахування конкретних умов зближення суден, та передбачає корекцію курсу та швидкості відповідно до їх змін у поточній ситуації;

- запропоновано прикладний метод використання інтелектуального аналізу даних для оптимізації визначення безпечного маневру ухилення з урахуванням поточних умов зближення суден та граничних показників розходження.

Удосконалено:

- технологію розрахунку діапазону неприпустимих значень параметрів маневру ухилення, що спрощує вибір ефективних дій у ситуаціях надмірного зближення суден;

- технологію управління, яка (на відміну від існуючих) інтегрована з сучасними системами моніторингу, що сприяє оптимізації маршрутів руху та підвищенню безпеки судноплавства;

- технологію використання інтелектуального аналізу даних, яка значно покращує аналіз поточної ситуації відносного знаходження суден та прогнозування маневрів суден, забезпечуючи високу точність розрахунків за короткий час.

Отримала подальший розвиток:

- технологія автоматичного використання інтелектуального аналізу даних під час виникнення ситуацій надмірного зближення суден;

- технологія забезпечення екологічної ефективності під час корегування навігаційних переходів із застосуванням інтелектуального аналізу даних.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- технологія підвищення точності в оцінюванні параметрів маневрування суден забезпечує ефективне зниження ризиків зіткнень у ситуаціях

надмірного зближення, що значно сприяє підвищенню безпеки судноплавства;

- технологія інтелектуального аналізу даних у системі управління рухом суден дозволяє автоматизувати процес прийняття рішень щодо вибору оптимального маневру в реальному часі, що значно знижує людський фактор у процесі управління безпекою руху;

- технології інтелектуального аналізу даних, інтегровані із системами моніторингу та навігації, забезпечують високу адаптивність до змінюваних умов навігації і можливість оперативно реагувати на потенційні загрози, тим самим підвищуючи загальну ефективність управління судном;

- забезпечення процесу імплементації запропонованої технології знижує екологічний вплив судноплавства за рахунок точнішого та ефективнішого корегування навігаційних переходів.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені:

- технологія визначення оптимальних маневрів ухилення у ситуаціях надмірного зближення суден, що заснована на оперативній оцінці ризиків та аналізі траєкторій зближення і забезпечує точне визначення критичних часових інтервалів для запобігання зіткненню, значно спрощує процес вибору ефективних дій за допомогою аналітичних виразів, інтегрує сучасні технології моніторингу для оптимізації маршрутів і зниження ризиків, підвищуючи тим самим загальну безпеку судноплавства;

- технологія інтелектуального аналізу даних, що оптимізує аналіз поточних критичних ситуацій із надмірним зближенням суден, гарантуючи точність розрахунків на рівні 99 % та прискорюючи у 10...20 разів час проведення розрахунків порівняно з традиційними методами;

- технологія визначення ризиків із використанням інтелектуального аналізу даних інтегрована в навігаційні системи суден, що забезпечує точне прийняття рішень у реальному часі, знижує ризики зіткнення, підвищує енергоефективність і мінімізує екологічний вплив;

- технологія використання інтелектуального аналізу даних, що дозволяє коригувати навігаційні переходи в реальному часі для забезпечення екологічних стандартів, аналізуючи викиди випускних газів, оперативно реагуючи на відхилення, покращуючи моніторинг і контроль забруднення довкілля та знижуючи екологічні ризики з точністю вимірів до 1,5%.

Особистий внесок здобувача полягає у:

- виконанні аналізу літературних джерел із розв’язання завдання запобігання зіткненню суден морського і внутрішньо водного транспорту;

- проведенні досліджень для визначення оптимальних маневрів ухилення при надмірному зближенні суден виконується із застосуванням оперативних методологій, які фокусуються на аналізі траєкторій зближення та оцінці ризиків зіткнення;

- проведення досліджень із визначення аналітичних виразів для розрахунку меж неприпустимих значень маневру ухилення, що дозволяє ефективно коригувати рух суден, підвищуючи безпеку та знижуючи ризики в ситуаціях надмірного зближення;

- проведенні досліджень для визначення ефективності використання інтелектуального аналізу даних у навігації та маневруванні суден;

- розробці та впровадженні методології використання інтелектуального аналізу даних для оптимізації визначення безпечного маневру ухилення, яка враховує поточні умови зближення суден та граничні показники розходження.

Роботи [111], [145] виконані автором самостійно.

У роботах, які опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать особисто:

[10] – розробка технології проведення експериментальних досліджень, визначення та впровадження методології використання інтелектуального аналізу даних для оптимізації визначення безпечного маневру ухилення;

[112], [118] – проведення експериментальних досліджень з визначення оптимальних маневрів ухилення при надмірному зближенні суден,

використовуючи методології для аналізу траєкторій та оцінки ризиків зіткнення суден;

[138], [139], [152] – проведення експериментальних досліджень для визначення оптимального навігаційного маршруту суден.

[141], [151], [153] – проведення експериментальних досліджень для підвищення екологічної ефективності суден під час забезпечення навігаційних переходів.

[23] – визначення аналітичних виразів для розрахунку меж неприпустимих значень маневру ухилення в ситуаціях надмірного зближення суден.

Апробація результатів роботи. Основні результати досліджень за темою дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та були схвалені на низці міжнародних та Всеукраїнських наукових конференцій, зокрема:

науково-теоретичній конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології», 18.11.2021 – 19.11.2021.– Одеса: Національний університет «Одеська морська академія»;

міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023)», 24-25 травня 2023 р., Херсон, Херсонська державна морська академія;

міжнародній науково-технічній конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2023-23.03.2023 р., Одеса, Національний університет «Одеська морська академія».

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, з яких 6 – у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку наукових фахових видань України (категорії Б), у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії; 2 – в іноземному виданні першого квартилю Q1 та 1 – в іноземному виданні третього квартилю Q3, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science; 3 – в матеріалах науково-технічних конференцій, що проводились в Україні.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з переліку умовних скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатка (у якому надано акти впровадження результатів дослідження). Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 196 сторінок, зокрема: основний текст 147 сторінок з анотацією на 14 сторінках, перелік використаних джерел із 153 найменувань на 20 сторінках, додаток на 6 сторінках, 37 рисунків, 14 таблиць.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ІЗ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАННЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН

1.1. Огляд основних складових, що впливають на безпеку судноплавства морського та внутрішнього водного транспорту

Морський та внутрішній водний транспорт відіграє визначальну роль у світовій транспортній системі, забезпечуючи ефективне та економічно вигідне перевезення вантажів. Безпека судноплавства є найважливішим аспектом забезпечення ефективної роботи світової транспортної системи. Однією з найважливіших проблем у судноплавстві є забезпечення безпечного руху суден, що залежить від попередження та зниження ризику зіткнень суден морського транспорту [1, 2]. Розв'язання цієї проблеми пов'язане зі своєчасним аналізом ситуації зближення та вибору маневру розходження для запобігання зіткненню суден [3, 4]. Тому важливо вживати заходи, спрямовані на підвищення рівня забезпечення безпечного судноплавства (разом із використання сучасних навігаційних систем), підвищувати ефективність управління рухом суден морського транспорту, а також інтегрувати сучасні комп'ютерні системи у роботу з навігаційним офіцером.

Сучасні системи автоматизації та прогнозування, а також методи оптимального управління сприяють зниженню ризику аварій, забезпечуючи безпечний рух суден [5-7]. У свою чергу рівень безпеки також залежить від дотримання міжнародних стандартів та нормативів, що регулюють різні аспекти судноплавства, включаючи конструкції суден, їх обладнання, екологічну стійкість та підготовку екіпажу. Посилення заходів безпеки у навігації та подальший розвиток та впровадження сучасних технологій допоможуть забезпечити стійке та безпечне судноплавство морського та внутрішнього водного транспорту [8, 9].

Однак навіть за наявності сучасних технологій та суворих стандартів залишається безліч факторів, здатних вплинути на безпеку судноплавства.

Зношення технічних систем, непередбачувані погодні умови та людський фактор можуть призводити до збоїв в управлінні та підвищення ризику зіткнення. Для розв'язання цих проблем необхідні регулярне обслуговування та модернізація суден, покращення прогнозування погодних умов та подальше навчання екіпажу. Важливо, щоб компанії та органи управління судноплавством активно впроваджували ці заходи та продовжували вдосконалювати методи управління.

Поєднання сучасних технологій, вимог міжнародних стандартів, систематичного навчання та розвитку інтеграції з інноваційними технологіями допоможе створити більш безпечні обставини для забезпечення безпеки судноплавства. Застосування технологій інтелектуального аналізу даних (ІАД) та систем машинного навчання може значно покращити прогнозування та аналіз даних [10], допомагаючи більш ефективно керувати суднами та мінімізувати ризики. Удосконалені системи моніторингу та контролю можуть забезпечити більш точне відстеження положення суден, їх швидкості та курсу, допомагаючи запобігти зіткненням та іншим аварійним подіям [11-14]. Інновації також можуть сприяти екологічній стійкості судноплавства, допомагаючи знизити викиди шкідливих речовин та оптимізувати витрати палива. Компанії та уряди повинні інвестувати в розвиток таких технологій та впроваджувати їх на практиці, щоб зміцнити безпеку та ефективність судноплавства. Впровадження нових стандартів та нормативів також сприятиме розвитку морського транспорту, забезпечуючи безпеку руху суден, їх екологічну стійкість та захист навколишнього середовища.

Попередження зіткнення між суднами – це одне з найважливіших завдань для забезпечення безпечного судноплавства. Для запобігання аваріям необхідно враховувати різні фактори, що впливають на безпеку руху [15, 16].

По-перше, необхідно застосовувати сучасні навігаційні системи, включаючи автопілоти, електронні карти та радары. Вони дозволяють екіпажу отримувати докладну інформацію про поточний курс судна, погодні

умови та потенційні загрози для судна. Це дозволяє капітану та екіпажу коригувати курс судна та уникати зіткнень.

По-друге, моніторинг суден у реальному часі є визначним аспектом безпеки. Системи автоматичної ідентифікації (Automatic Identification System – AIS) дозволяють відстежувати розташування суден, їх курс і швидкість. Це допомагає не лише уникнути зіткнень, а й забезпечує ефективне управління рухом суден на морських та внутрішніх водних шляхах.

По-третє, управління швидкістю судна відіграє важливу роль у запобіганні аваріям [17]. Перевищення швидкості збільшує ризик зіткнень, а контроль швидкості допомагає підтримувати безпечний режим руху, особливо за умов щільного трафіку чи складних погодних умов.

По-четверте, навчання та тренування екіпажу також впливають на безпеку судноплавства. Кваліфіковані капітани та команди проходять регулярні тренування, щоб навчитися ефективно маневрувати у складних ситуаціях, керувати судном в аварійних випадках та уникати зіткнень. Це знижує ризик помилок, пов'язаних із людським фактором.

Головною з усіх вищезгаданих умов є дотримання міжнародних стандартів і нормативів, що регулюють безпеку судноплавства. Ці стандарти охоплюють різні аспекти, включаючи конструкції суден, їх обладнання та екологічну стійкість. Вони допомагають мінімізувати ризики аварій та забезпечити безпечний рух на морських та внутрішніх водних шляхах. Міжнародна морська організація (International Maritime Organization – IMO) розробляє та впроваджує стандарти та нормативи, що регулюють безпеку судноплавства. Ці стандарти охоплюють різні аспекти.

Одним із найважливіших документів є Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (International Convention for the Safety of Life at Sea – SOLAS) [18]. Вона встановлює стандарти безпеки, які містять в собі вимоги до конструкції суден, їх обладнання, навігаційних систем, систем пожежогасіння та рятувального обладнання. SOLAS також регламентує підготовку екіпажу та проведення аварійних тренувань.

Ще одним важливим документом є Міжнародна конвенція щодо запобігання забрудненню з суден (The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships – MARPOL). Ця конвенція встановлює правила та стандарти щодо запобігання забруднення морів та океанів, обмежує викиди шкідливих речовин та регулює поводження з відходами на суднах.

Міжнародна конвенція про підготовку, дипломування та несення вахти моряками (The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers – STCW) встановлює стандарти підготовки екіпажів, вимагаючи регулярного навчання та сертифікації моряків. Вона допомагає підвищити кваліфікацію та професіоналізм екіпажу, знижуючи ризик помилок та підвищуючи безпеку судноплавства.

Головним документом, що регулює безпеку судноплавства, є Міжнародні правила запобігання зіткненням суден у морі (МППЗС-72). Вони встановлюють основні правила та принципи для запобігання зіткненням між суднами. Ці правила включають положення про те, як судна повинні поводитися в різних ситуаціях, наприклад, при розходженні, обгоні або перетині курсів. МППЗС-72 також включає сигнали, які судна повинні подавати для позначення своїх намірів та запобігання непорозумінням. Дотримання цих правил допомагає знизити ризик зіткнень та забезпечує безпеку судноплавства.

Загалом дотримання цих міжнародних стандартів та нормативів сприяє підвищенню безпеки судноплавства, знижуючи ризики аварій та забезпечуючи ефективний рух на морських та внутрішніх водних шляхах.

1.2. Аналіз основних навігаційних ситуацій, що впливають на безпечність плавання суден морського та внутрішнього водного транспорту

Забезпечення безаварійного судноводіння та запобігання зіткненням суден у морі – це визначальні аспекти безпеки мореплавання. З кожним роком інтенсивність судноплавства морського та внутрішнього водного транспорту збільшується, що створює потребу регулярно аналізувати наявні наукові дослідження з метою впровадження нових способів, методів та технологій для підвищення безпеки мореплавання [19].

У сучасному судноплаванні існує гостра необхідність забезпечення безпечного та ефективного розходження суден, особливо у випадку наявності навігаційних перешкод. Ситуації надмірного зближення суден можуть виникати за будь-яких умов плавання, тому дії, що використовуються для попередження зіткнення, повинні відповідати не тільки міжнародним регламентам, а й бути застосовні до переважаючих реалій та умов безпеки мореплавання [20-22].

Основні навігаційні ситуації, що виникають під час експлуатації суден морського транспорту, можна розбити на три основні категорії:

- 1) стандартні ситуації зближення суден, що регламентуються правилами МПЗЗС, у яких застосовується одинарна дія для попередження зіткнення;
- 2) нестандартні ситуації зближення суден, які зазвичай виникають під час великого скупчення суден і вимагають застосування розгалужених способів і методів попередження зіткнення;
- 3) аварійні ситуації зближення суден, у яких застосовується екстрені та радикальні дії для уникнення зіткнення.

Огляд та аналіз даних категорій, допоможе правильно визначити та обґрунтувати причину виникнення даних ситуацій.

1.2.1. Аналіз стандартних ситуацій зближення суден, які регламентуються правилами МПЗЗС

Умовами виникнення стандартних ситуацій зближення суден у морі є випадки, коли пара суден підпадає під 2 розділ МПЗЗС для суден, що на виду одне в одного. Не зважаючи на широке дослідження даного розділу і чітко прописаного регламенту для розходження суден, до сьогодні регулярно трапляються ситуації небезпечного зближення суден після застосування маневру для розходження, і навіть рідко відбувається зіткнення таких груп суден, що тягне за собою великі наслідки. Одним із варіантів розв'язання цієї проблеми є створення аналітичних виразів, що дозволяють оптимізувати курси та швидкості зустрічних суден з подальшим розрахунком безпечних зон для курсів та швидкостей [23, 24], а також залежності між істинними та відносними параметрами руху суден. Для досягнення цих цілей використовуються методи раціонального управління, що дозволяють забезпечити безпечне та ефективне маневрування. Основною метою системи попередження зіткнення суден є забезпечення безпечної відстані між суднами шляхом точного розрахунку та визначення необхідних параметрів маневру [25-27].

У різних наукових дослідженнях представлені розроблені алгоритми безпечного розходження суден, які враховують як початкову ситуацію небезпечного зближення, так і подальше визначення та виконання обов'язків суден відповідно до міжнародних правил. Ці алгоритми дозволяють навігаційним офіцерам ефективно реагувати на зміни в динамічному морському середовищі, запобігаючи можливим аварійним ситуаціям [28].

Проблема забезпечення безпечного поділу суден за їх потенційно небезпечного зближення зумовлює необхідність визначення правил і обов'язків кожного судна під час маневрування. У зв'язку з цим було здійснено формалізацію бінарної координації в рамках МПЗЗС-72 для

врахування особливостей взаємодії між суднами [14]. Також запропоновано стратегію для екстреного уникнення зіткнення у випадках, коли судна надто близько підійшли одне до одного, не визначена їхня поведінка в майбутньому та відсутня координація дій [25, 29].

Додатково розглядаються дві основні стратегії управління маневрами суден за їх небезпечного зближення. Одна із стратегій передбачає локально-незалежне ухвалення рішень [30, 31], при якому кожне судно самостійно визначає необхідний маневр на основі існуючих правил координації, які в даний час регламентовані МПЗЗС-72 для ситуацій небезпечного зближення. У наукових монографіях аналізується методика уникнення зіткнень між суднами на морі, яка полягає у переході на паралельний курс. Цей метод передбачає зміщення на лінію, паралельну поточному шляху судна, під певним кутом. Автори вказують на можливість покращення ефективності даного методу за рахунок розробки нових математичних алгоритмів та інтелектуальних систем управління [32]. Вони вводять комплексний критерій оптимальності, який враховує безпеку, помітність маневру, його передбачуваність та економічність, що допомагає у виборі найбільш доречної стратегії для запобігання зіткненням. Також у дослідженнях зосереджуються на управлінні судном та включають завдання визначення найкращого способу маневрування, ґрунтуючись на початковій класифікації ситуацій, які залежать від відносного положення та руху суден [33, 34].

Проблематика визначення оптимального шляху для запобігання зіткненням суден за їх криволінійного руху активно розглядається в наукових фахових виданнях [4, 35]. Особлива увага приділяється необхідності проведення детального аналізу та кваліфікованого ухвалення рішень в умовах складних навігаційних сценаріїв. Це є доволі складним завданням, що вимагає інтеграції точних обчислювальних методів та алгоритмів, здатних адекватно реагувати на динаміку морського трафіку, що змінюється.

Альтернативною концепцією управління морськими суднами за умов потенційно небезпечного зближення є централізоване управління групою

суден через зовнішнього координатора. Цей координатор під час критичного зближення суден координує загальну стратегію маневрування, забезпечуючи узгодження дій між суднами [36].

У рамках обох концепцій управління розроблено методики вибору оптимальних стратегій безпечного маневрування, які враховують як навігаційні перешкоди у зоні маневрування, так і динаміку руху основного судна.

Для оцінки ефективності запропонованих методів було виконано імітаційне комп'ютерне моделювання. Сучасна практика уникнення зіткнень у ситуаціях небезпечного зближення в основному ґрунтується на методі локально незалежного управління. Цей метод виник одним із перших у розвитку судноводіння, і досі активно досліджується, і використовується для запобігання інцидентам на морі [37-39].

Для забезпечення безпеки в стандартних ситуаціях зближення суден у морі було застосовано метод комп'ютерної графіки. Цей метод допоміг вибрати оптимальний маневр, який дозволяє двом суднам уникнути зіткнення, змінюючи швидкість при збереженні поточних напрямів руху. Приклад реалізації цієї методики було описано з урахуванням аналізу конкретної критичної ситуації зближення суден [40].

Також було обговорено створення процедури для розрахунку стохастичної компоненти мінімально безпечної відстані між суднами. Ця відстань залежить від помилок радіолокаційних вимірювань і неточностей в оцінці параметрів руху суден, що наближаються. У результаті дослідження було отримано формулу для оцінки цієї стохастичної складової. Було подано опис комп'ютерної програми для імітаційного моделювання маневру суден. Програма передбачає можливість зміни курсу в умовах, коли у зоні маневрування знаходиться лінійна навігаційна перешкода [41, 42].

Досить важливим пунктом при виборі маневру для розходження є залежність кругової безпечної області судна від закону ймовірності векторної позиційної похибки. Кругова безпечна область судна окреслюється гранично

допустимою дистанцією зближення. Центр цієї безпечної області вважається обсервованим місцезнаходженням судна. Радіус безпечної області визначається через інтегральне рівняння з використанням методу послідовних наближень та враховує дисперсії векторної позиційної похибки, на які впливають ключові параметри закону розподілу. Інша складова представляє процедуру формування неприпустимої області для курсів одного судна та швидкостей іншого для безпечного маневру. Неприпустима область визначається як та, в якій дистанція найкоротшого зближення менша за гранично допустиму, що робить зближення небезпечним. Межа цієї області визначається точками, де дистанція найкоротшого зближення дорівнює гранично допустимому значенню [43, 44].

Для здійснення безпечного розходження суден у разі небезпечного зближення необхідно вибрати параметри ухилення так, щоб точка відповідних курсу та швидкості знаходилася якомога ближче до початкової точки на межі неприпустимих курсів та швидкостей, мінімізуючи таким чином відстань між суднами. У морській навігації особливе значення надається правильному розподілу траєкторій руху для уникнення зіткнень. Відповідно до МПЗС-72 основним критерієм визначення форм істинної траєкторії є аналіз форм відносної траєкторії руху суден [45].

Дослідження показує, що для двох форм істинної траєкторії, прийнятих у стандартній стратегії уникнення зіткнення, характерні чотири форми відносної траєкторії. Пропорційна залежність відносного курсу від справжнього курсу особливо помітна, коли швидкість судна перевищує швидкість цілі. У таких умовах форми істинної та відносної траєкторій збігаються, що полегшує процес визначення безпечної стратегії маневрування. Ця залежність дозволяє судноводіям прогнозувати траєкторії руху з більшою точністю та ефективністю. Однак, якщо швидкість судна менша за швидкість цілі, ситуація ускладнюється. Відносний курс може як збільшуватися, так і зменшуватися, що робить передбачення істинної траєкторії більш складним і багатозначним. У результаті дві форми істинної

траєкторії можуть відображатися у чотири форми відносної траєкторії, що вимагає від моряків підвищеної уваги та аналітичних здібностей при прийнятті рішень про маневрування [46]. Форми істинної траєкторії можуть відображатися у різних формах відносної траєкторії. Наприклад, ухилення правобіч чи лівобіч може ініціювати різні інтервали зміни відносного курсу, які чітко залежать від співвідношення швидкостей судна та цілі. В умовах стандартних ситуацій зближення суден критичного значення набуває уміння ефективно управляти змінами умов руху, які можуть виникати внаслідок різних несподіваних факторів. Такі зміни умов вимагають від двох суден, що маневрують, узгоджених дій для збільшення дистанції мінімального зближення. Це досягається за рахунок зміни курсів в одному напрямку для суден, що рухаються назустріч одне одному, наприклад, шляхом одночасного збільшення курсу обох суден.

У випадку, коли судна йдуть паралельними курсами, координація маневрів розходження вимагає зміни курсу в протилежних напрямках так, щоб одне судно збільшило курс, а інше відповідно зменшило [47].

Альтернативний метод управління змінами умов включає дії судна з більшою швидкістю для компенсації цих змін, при цьому друге судно може зберігати свій курс і швидкість без необхідності координації [48]. Цей метод може бути застосований у ситуаціях, де зона відповідальності чітко визначена та кожне судно знає свої обов'язки, що мінімізує необхідність взаємодії. У наукових дослідженнях запропоновано також систему координації для трьох суден за їх потенційно небезпечного зближення. Система враховує вимоги закону про необхідну різноманітність у рішеннях, сформульованого Ешбі, і включає чотири зони взаємної відповідальності [14]. Це забезпечує перехід від системи взаємодії трьох суден до бінарної системи координації, коли потрібно визначити метод розходження двох суден, спрощуючи процес управління у складних навігаційних ситуаціях. Така система дозволяє враховувати безліч факторів та приймати рішення, оптимальні з точки зору безпеки та ефективності мореплавання.

Метод Ешбі пов'язаний із законом необхідної різноманітності, який часто застосовується для аналізу та управління системами в умовах невизначеності. Закон необхідної різноманітності стверджує, що за ефективного управління системою керуюча нею система має мати щонайменше такий самий рівень різноманітності, як і керована система. У контексті морської навігації це може означати, що система запобігання зіткнень на судні повинна бути здатна адаптуватися до різних ситуацій та мати достатню кількість стратегій для реагування на всі можливі умови та дії інших суден. Стосовно координації руху суден це може означати, що системи управління повинні бути здатні аналізувати та адаптуватися до різних типів траєкторій та маневрів інших суден довкола [49]. Така система допомагає визначити оптимальні маневри для кожного конкретного випадку, забезпечуючи безпеку на воді за рахунок урахування всіх можливих сценаріїв взаємодії суден. Через приріст аварійних ситуацій на морському та річковому транспорті, у тому числі в стандартних ситуаціях зближення суден, виникла гіпотеза створення суден із повним зовнішнім керуванням.

Основні особливості та переваги принципу повного управління процесом відмінності суден зовнішнім керуванням полягають у підвищенні безпеки та ефективності морського руху за рахунок централізованого контролю та координації. Зовнішнє керування, чи то система управління рухом суден чи суднова інформаційна система, забезпечує комплексний моніторинг та аналіз параметрів руху суден, що дозволяє запобігти можливим зіткненням та іншим небезпечним ситуаціям. Використання зон небезпечних значень параметрів руху, таких як курси та швидкості суден, дозволяє зовнішньому керманічу ефективно регулювати маневри суден у складних або обмежених умовах [23, 50]. Такий підхід не тільки зменшує ризик навігаційних інцидентів, але й сприяє раціональнішому використанню морських шляхів, покращуючи тим самим загальну продуктивність і безпеку мореплавання. Даний метод також розглядається у наукових фахових виданнях, при цьому пропонують два різних підходи до управління.

Перший підхід полягає у локально-незалежному управлінні, при якому кожне судно самостійно координує свої маневри, взаємодіючи з іншим судном. Цей метод вимагає взаємної координації між суднами для забезпечення безпеки та уникнення зіткнень, головною ідеєю якого є використання принципу бінарної координації, що допомагає визначити оптимальну стратегію управління суднами за їх небезпечного зближення [51, 52].

Другий підхід до управління розглядає використання зовнішнього керманіча, який повністю контролює систему двох суден, що зближуються. Цей метод дозволяє розрахувати безпечний маневр, змінюючи курс чи швидкість суден залежно від обставин. Для визначення безпечного курсу використовується аналіз небезпечних курсів, а для безпечної зміни швидкості при незмінних курсах застосовується аналіз небезпечних швидкостей [53].

У морській практиці правильний вибір маневру для розходження у стандартних ситуаціях зближення відіграє критично важливу роль у забезпеченні безпеки. Один із головних аспектів, який необхідно враховувати при ухваленні рішень про маневри, це інерційні характеристики судна. Інерція судна значно впливає на його здатність до зміни курсу та швидкості, що, своєю чергою, впливає на вибір методів запобігання зіткнень на морі.

Інерційні характеристики судна залежать від його маси, форми корпусу та розподілу маси [54]. Великі судна, такі як великотоннажні танкери, балкери і контейнеровози, мають високу інерцію, що робить їх менш маневреними порівняно з меншими суднами, такими як яхти, буксири або невеликі суховантажні судна. Це означає, що навігаційним офіцерам великих суден потрібно завчасно планувати свої дії, особливо у щільному трафіку чи обмежених водних просторах.

Під час вибору маневру розходження у стандартних ситуаціях зближення необхідно враховувати такі фактори: поточну швидкість та курс судна, швидкість та курс інших суден, а також вітрові умови та течії [55]. Маневр має бути таким, щоб мінімізувати час перебування суден у

потенційно небезпечній близькості один від одного. Навігаційний офіцер повинен прагнути до того, щоб маневр його судна був передбачуваним для інших моряків, щоб уникнути створення додаткових ризиків. МПЗЗС надають рекомендації з вибору правильних маневрів. При цьому важливо пам'ятати, що кожен маневр має враховувати інерційні особливості судна, щоб не призвести до неконтрольованих ситуацій. Висновки щодо маневрів в умовах зближення часто базуються на симуляціях та досвіді навігаційних помічників. Регулярні тренування та використання симуляторів можуть допомогти штурманському складу краще зрозуміти, як інерційні характеристики їхніх суден впливають на маневреність та як найкраще реагувати у різних навігаційних ситуаціях. Це, своєю чергою, сприяє підвищенню безпеки та ефективності мореплавання як у стандартних, так і в особливих випадках зближення суден.

1.2.2 Аналіз нестандартних ситуацій зближення суден із застосуванням багатозадачних способів і методів для попередження зіткнення

Умовами виникнення нестандартних ситуацій зближення суден у морі є ті випадки, коли група з двох і більше суден потрапляє в ситуації, в яких необхідно вживати низку послідовних розрахованих дій для уникнення та попередження зіткнення. Такі ситуації зараз відбуваються досить часто в районах активного судноплавства, прибережного плавання, під час плавання в системі поділу руху, а також у припортових водах. На практиці навігаційному офіцеру в таких ситуаціях необхідно детально прораховувати першочергові зміни курсу та швидкості судна і як це відобразиться на наступних ситуаціях зближення з іншими суднами.

При вирішенні такого роду ситуацій пріоритетним у виборі маневру все також є дотримання правил МПЗЗС-72, однак часто виникає необхідність

відступитися від правил для забезпечення безпечної розходження з усіма навігаційними перешкодами.

Проблема оптимізації процесу ухилення суден під час зустрічі з кількома суднами / перешкодами є актуальним та складним завданням, що вимагає застосування ефективних маневрів для безпечної розходження. В одному з досліджень представлена математична модель, розроблена на основі теорії оптимального управління, яка сприяє розходженню суден за наявності величезної кількості перешкод [56, 57]. У рамках цього ж дослідження була створена логічна модель, позначена як МПЗЗС-72, яка аналізує початкове положення судна, його перешкоди та параметри їхнього руху. За допомогою спеціально розробленого алгоритму модель виробляє рекомендації щодо вибору безпечних курсів та швидкостей, що дозволяє сформувати оптимальний маневр із використанням методів лінійного програмування для мінімізації ризиків зіткнення [58]. З іншого боку, на розв'язання завдань, де застосовується нелінійне програмування, запропоновано метод нелінійної інтегральної інваріантності. Цей метод дозволяє створити допустимі зони маневру, визначаючи безпечні області для маневрування судна в умовах складної навігаційної ситуації за участі зустрічних цілей. Такий підхід значно покращує безпеку судноплавства, забезпечуючи ефективне та безпечне розходження суден [59, 60].

У районах інтенсивного судноплавства часто виникають ситуації небезпечного зближення між трьома та більше суднами, де потрібна особлива увага до координації їхніх дій. Ці ситуації можуть вимагати різного типу поведінки від кожного судна, включаючи маневрування або збереження поточних параметрів руху для запобігання зіткненню. У таких умовах координаційна система може вимагати від оперуючого судна формування гнучкої стратегії відмінності. Ця стратегія включає пріоритетний маневр, який враховує необхідні дії інших суден, а також резервний маневр на випадок, якщо інші учасники не виконають своїх зобов'язань [61].

Часто для уникнення зіткнень доцільним є маневр зміни курсу судна. Однак для точного розрахунку параметрів ухилення необхідно враховувати відповідність форм траєкторій істинного та відносного руху. У сценаріях, коли курс судна перетинається з курсами двох інших суден / перешкод та загальний маневр розходження є не можливий, стаття пропонує безпечний розподіл двома послідовними маневрами: спочатку зміною курсу для ухилення від першої найближчої мети, потім зміною швидкості щодо другої перешкоди [62].

Для ефективного виконання цих маневрів запропоновано аналітичні вирази та алгоритм розрахунку курсу ухилення, визначення моменту часу початку зниження швидкості активним гальмуванням та швидкості розходження для другого судна / перешкоди. Ці методи демонструються на чисельних прикладах та підкріплюються графічними ілюстраціями, що дозволяє наочно уявити ефективність запропонованих рішень [63, 64].

У наукових дослідженнях було ретельно вивчено форми істинної та відносної траєкторій розходження судна, яке після ухилення повертається на свою початково сплановану траєкторію. Встановлено, що коли швидкість судна вище, ніж у перешкоди, форми істинної та відносної траєкторій збігаються. Однак, якщо швидкість судна нижча за швидкість перешкоди, відносна траєкторія відрізняється від істинної, що вимагає додаткового аналізу для визначення оптимального маневру [65].

Також було досліджено особливості відображення істинної траєкторії ухилення лівобіч у низку різних відносних траєкторій, що дозволяє глибше зрозуміти динаміку руху у різних ситуаціях ухилення [66].

Додатково в іншому дослідженні були розглянуті аналітичні умови для існування різноманітності маневрів розходження судна під час зустрічі з небезпечними перешкодами та за наявності лінійної навігаційної перешкоди, а також обмеження використання аналітичного підходу для розрахунку навігаційних небезпек під час вибору безпечної стратегії для розходження в подібній ситуації [67].

Використання синтезу маневрування в морських умовах за нестандартних ситуацій зближення суден, особливо коли відбувається скупчення двох і більше потенційно небезпечних зближень одночасно [68], обумовлено кількома важливими факторами:

1) комплексність ситуацій. Нестандартні ситуації зближення, коли судна перебувають у положенні близькості один до одного, вимагають складного та швидкого аналізу множини змінних. Це включає в себе швидкості та курси суден, їх розміри та вантажопідйомність, а також поточні метеорологічні умови та течії. Синтез маневрування дозволяє систематизувати та оптимізувати прийняття рішень на основі комплексного аналізу всіх даних;

2) безпека. Під час накопичення кількох суден ризик зіткнення значно зростає. Оптимальні маневри повинні бути розраховані таким чином, щоб мінімізувати ймовірність аварій, забезпечуючи безпечну відстань між усіма суднами у районі руху;

3) ефективність реагування. В умовах високої густини морського трафіку і за умови виникнення множинних зближень, реакція повинна бути не тільки швидкою, а й точно розрахованою. Синтез маневрування забезпечує можливість використовувати попередньо розроблені математичний алгоритми для швидкого та ефективного прийняття рішення;

4) передбачуваність та координація. Важливим аспектом є також передбачуваність дій інших учасників морського руху. Синтезовані маневри дозволяють діяти злагоджено, що особливо критично, коли кілька суден одночасно намагаються уникнути зіткнень;

5) дотримання міжнародних правил. Усі маневри повинні відповідати МПЗЗС. Синтез маневрування забезпечує можливість впровадження цими правилами алгоритмів, що гарантує законність дій капітанів;

6) використання сучасних технологій. У сучасних умовах доступні різні технологічні засоби, включаючи АІС, адаптивні системи управління рухом суден та супутникової навігації. Ці інструменти можуть бути інтегровані в

процес синтезу маневрування для підвищення точності та оперативності прийняття рішень.

Таким чином, синтез маневрування є визначальним елементом в управлінні безпекою судноплавства у складних та потенційно небезпечних умовах. Він дозволяє як мінімізувати ризики, так і підвищити загальну ефективність морських операцій за умов інтенсивного руху. Синтез оптимального управління судном під час забезпечення розходження суден у морі є складним процесом, що вимагає розрахунку безлічі змінних і параметрів [69].

Оптимальне управління не тільки сприяє безпеці мореплавання, а й підвищує ефективність використання судна, скорочуючи час та витрату палива. Основним завданням у цьому процесі є розробка та реалізація стратегії управління, яка дозволяє досягти бажаного результату з мінімальними витратами та ризиками.

На першому етапі необхідно визначити критерії оптимальності, які будуть використовуватись для оцінки ефективності управлінських рішень. Такі критерії можуть включати мінімізацію часу розходження, мінімальну відстань між суднами у найближчій точці зближення, а також мінімізацію змін курсу та швидкості, що дозволяє скоротити витрату палива та знос судового обладнання.

Наступним кроком є моделювання ситуації зближення суден. Це включає аналіз поточних і прогнозованих позицій суден, їх курсів, швидкостей, а також метеоумов і течій. Для цього можуть використовуватись різні навігаційні системи та технології, такі як АІС, радары та системи супутникового моніторингу. На основі зібраних даних застосовуються алгоритми оптимального управління, які дозволяють синтезувати маневри розходження [70, 71]. Ці математичні алгоритми повинні враховувати як миттєві параметри руху суден, так і динамічні характеристики, такі як інерційність і можливості маневреності.

Методи оптимізації, такі як лінійне програмування, динамічне програмування або методи на основі ІАД, можуть застосовуватися для знаходження оптимального рішення. Застосування рішень оптимального управління вимагає також врахування вимог МПЗЗС, які визначають права та обов'язки суден під час зближення. Дотримання цих правил як юридично обов'язкове, так і сприяє зменшенню ризиків на морі. Оптимальне управління має бути адаптивним, здатним до коригування у реальному часі у відповідь на зміни умов середовища та дій інших суден [72].

Використання сучасних систем зв'язку та автоматизації дозволяє синхронізувати дії суднового екіпажу з рекомендаціями алгоритмів управління, покращуючи тим самим координацію та ефективність виконання маневрів. Як результат синтез раціонального управління судном під час розходження суден у морі є багатоаспектним процесом, що включає як технічні, так і навігаційні аспекти. Використання передових технологій та алгоритмів дозволяє не тільки підвищити безпеку мореплавання, а й оптимізувати використання ресурсів судна, роблячи морські перевезення більш ефективними та економічно вигідними.

У наукових дослідженнях було запропоновано методи теорії оптимальних дискретних процесів на розв'язання завдання синтезу управління судном за його розходження. Розглядаються різні критерії оптимальності: прагнення мінімального відхилення судна від його початкового курсу, збереження заданої траєкторії та мінімізація коригувань стерна. Управління судном полягає у зміні його кутової швидкості при фіксованій швидкості пересування. Межі допустимих управлінь встановлюються на основі заданих обмежень кутової швидкості та поточних значень курсу та координат судна [73].

Оскільки явне розв'язання завдання не можливе через складність критеріїв та обмежень, представлено алгоритм чисельного розв'язку. Цей математичний алгоритм використовує методи оптимальних дискретних процесів, включаючи метод можливих напрямів, що реалізується на

комп'ютері. За цим методом спочатку вибирається довільне допустиме керування, після чого, використовуючи ітераційний процес, здійснюється пошук оптимального керування в рамках встановлених обмежень. Щоразу під час оновлення даних завдання переглядається і розв'язується заново. Додатково в інших роботах описано три рівні моделювання, що ґрунтуються на синтезі технологій, спрямованих на уникнення зіткнення з іншим судном, куди включено процедури для перетворення координат і геометричну модель, які формалізують траєкторію руху судна та його параметри, що рухаються. Це дозволяє оцінити ризик зіткнення та визначити параметри маневру відхилення [74].

У рамках управління суднами під час небезпечних зближень одна з інноваційних концепцій передбачає використання зовнішнього керуючого, який координує дії групи суден, що зближуються. Цей керманіч у критичних ситуаціях визначає та призначає загальну стратегію відмінності, координуючи маневри всіх суден у групі для забезпечення їх безпечної розходження, дана система активно використовується в системах розподілу руху, а також у припортових водах, де під управлінням берегового координатора здійснюється контроль безпеки мореплавання.

Для вибору оптимальних стратегій відмінності, які враховують як навігаційні перешкоди у районі маневрування, і динаміку руху базового судна, було розроблено спеціальні підходи. Ці стратегії ґрунтуються на аналізі потенційних ризиків та динамічних параметрів суден, у районі руху. Важливим аспектом є можливість інтеграції та узгодження дій безлічі суден, кожне з яких має свої унікальні характеристики та обмеження.

Для перевірки та оптимізації запропонованих методів було проведено комп'ютерне імітаційне моделювання. Це дозволило як візуалізувати потенційні сценарії небезпечного зближення, а й тестувати різні стратегії управління в контрольованих умовах, що сприяло вибору найефективніших рішень [75, 76].

У даний час, хоча основним методом управління під час небезпечного зближення залишається локально незалежне управління кожним судном, цей підхід з часом може змінитися. Дослідження щодо попередження зіткнення суден все частіше фокусуються на розвитку методів, які дозволяють більш активно використовувати координовані та узгоджені стратегії управління. Це передбачає більш комплексний підхід до безпеки судноплавства, який може запропонувати більш високу ефективність і надійність в управлінні морським трафіком, особливо в умовах високої щільності та складності морських операцій.

Використання гібридної системи координації для попередження зіткнення суден у морі в нестандартних ситуаціях відіграє основну роль у сучасній навігації. Ця система являє собою синтез різних технологічних підходів та методів, які забезпечують комплексне та багаторівневе вирішення проблеми управління та безпеки судноплавства [77]. Гібридна система координації поєднує в собі елементи АІС, радарної технології, супутникового навігаційного обладнання та програмного забезпечення для управління судновим рухом, що дозволяє забезпечити високу точність та оперативність у прийнятті рішень. Основними перевагами гібридної системи координації є:

- 1) підвищення точності даних – гібридна система координації дозволяє використовувати дані з різних джерел для отримання найбільш точної та актуальної інформації про положення суден, їх швидкість і напрямок руху; це критично важливо для запобігання зіткненню, особливо в умовах поганої видимості або високої щільності трафіку;

- 2) оперативне реагування на зміни – система забезпечує можливість швидко реагувати на навігаційні обставини, що змінюються, аналізуючи дані в реальному часі; завдяки цьому можливо вчасно коригувати курс і швидкість суден, мінімізуючи ризик зіткнень;

- 3) інтеграція та координація – гібридна система забезпечує ефективну координацію між суднами та береговими службами управління, що дозволяє

оптимізувати шлях суден, виходячи з поточної обстановки та прогнозованих умов;

4) управління в складних умовах – у районах з високою інтенсивністю руху або в умовах складних гідрометеорологічних факторів гібридна система координації може автоматично запропонувати найбезпечніші шляхи для всіх суден, у районі руху;

5) підтримка прийняття рішень – система не лише надає дані, а й аналізує їх за допомогою алгоритмічних методів, пропонуючи рішення для оптимального маневрування, що суттєво покращує процес прийняття рішень на містку;

6) зменшення людського фактора – інтеграція різних систем допомагає мінімізувати помилки, пов'язані з людським фактором, оскільки автоматизація процесів та надання об'єктивних даних зменшує залежність від суб'єктивної оцінки ситуації екіпажем.

Таким чином, гібридна система координації є важливим інструментом у сучасній морській навігації, забезпечуючи не лише підвищення безпеки судноплавства, а й сприяючи більш ефективному та економічно вигідному використанню суден завдяки оптимізації шляху судна та скороченню часу під час навігаційного переходу. У запропонованій гібридній системі координації МПЗЗС-72 є першим рівнем. Під час небезпечного зближення двох суден їх дії координуються через бінарного координатора, який надсилає їм координаційні сигнали до виконання спільного маневру відмінності. На цьому рівні координатор аналізує взаємне розташування суден, враховує їх статуси та визначає їх взаємні зобов'язання щодо маневрування [78, 79]. У разі небезпечного зближення трьох суден активується другий рівень гібридної системи координації. Цей рівень передбачає формування додаткових координаційних сигналів для управління поведінкою базового судна щодо другого та третього суден, уточнюючи тип необхідної різноманітності маневру. Якщо сигнали координації вказують, що обидва судна повинні поступитися, базове судно організує ухилення або

спільним маневром для обох суден, або двома окремими маневрами, по одному для кожного судна.

Альтернативний метод, який використовується у нестандартних ситуаціях зближення суден у морі, є фузі-метод. Даний метод є важливим доповненням до існуючих систем запобігання зіткненню суден у морі. Цей метод інтегрує інформацію з системи управління рухом суден (СУРС) та АІС до Морської географічної інформаційної системи (MGIS), забезпечуючи тим самим глибший аналіз розташування судна та інерційних сил, що впливають на нього. Інформація, зібрана та оброблена в MGIS, використовується для створення моделі захисного ланцюга та визначення так званого небезпечного індексу, що допомагає оцінити ймовірність зіткнень на основі поточних та передбачених параметрів руху суден. Завдяки аналітичній моделі, вбудованій у систему MGIS, можливе виконання точних прогнозів щодо часу та точного місця потенційного зіткнення суден. Запровадження фузі-методу значно посилює можливості операторів СУРС, надаючи їм розширені інструменти для прийняття своєчасних та обґрунтованих рішень, спрямованих на запобігання зіткненням та підвищення безпеки судноплавства.

У наукових дослідженнях аналізується ситуація небезпечного зближення кількох суден, з урахуванням якого було розроблено алгоритм розрахунку різних аспектів. Цей алгоритм включає врахування інерційних характеристик суден, відповідність вимогам МПЗЗС-72, у частині визначення пріоритетів суден у ситуації небезпечного зближення [80, 81]. Також алгоритм враховує навігаційну обстановку та геометричні співвідношення між суднами. Це дозволяє забезпечити більш високий рівень безпеки шляхом точного визначення пріоритетних дій у складних та потенційно небезпечних морських ситуаціях.

1.2.3. Аналіз аварійних ситуацій зближення суден, у яких застосовується екстрені та радикальні дії для уникнення зіткнення

Виникнення аварійних ситуацій зближення суден у морі здебільшого відбувається через некоректні, несвоєчасні і некваліфіковані дії з боку навігаційного офіцера і зрідка через технічну несправність суднової апаратури. Вибір та застосування екстрених та радикальних дій для уникнення зіткнення в таких випадках має бути миттєвим та негайним. Основними можливими діями для запобігання зіткненню в аварійних випадках можуть бути: екстремальне маневрування, екстрене гальмування або реверсування судновим двигуном, віддача якоря, а також можливе комплексне застосування перелічених методів, щоб уникнути зіткнення.

Один із методів уникнення зіткнення суден під час їх небезпечного зближення полягає у зниженні швидкості суден, при цьому курс залишається незмінним. Цей підхід включає гальмування суден із використанням заздалегідь визначених швидкостей ухилення. Визначальним моментом в цьому випадку є визначення часу, коли необхідно розпочати гальмування, щоб мінімізувати час, втрачений виконання маневру [82]. У рамках цього підходу аналізується процес зниження швидкості двох суден: одне з них виконує активне гальмування, тоді як інше вдається до пасивного гальмування [83, 84]. Це дозволяє гнучко керувати динамікою зближення та забезпечує безпечну відстань між суднами. Було розроблено та отримано аналітичні формули, які допомагають точно розрахувати оптимальні параметри для такого маневру відмінності, враховуючи початкові умови та вимоги до мінімізації часу виконання маневру. Цей метод пропонує ефективний спосіб управління критичними ситуаціями на морі, підвищуючи безпеку та передбачуваність результатів маневрування.

Для формалізації можливих типів взаємодії суден було сформовано процедуру визначення векторного та матричного ситуативних збурень, а

також запропоновано спосіб екстреного розходження суден в умовах надмірного зближення [85].

В альтернативних наукових дослідженнях докладно аналізується стратегія екстреного маневрування судна у випадках, коли відбувається надмірне зближення з іншим об'єктом. Визначено, що найбільш ефективним методом є виконання повороту судна з максимально можливою кутовою швидкістю в протилежному напрямку цілі. Такий маневр триває доти, доки курс судна стане відповідати прямий лінії, що йде від цілі до судна, що дозволяє потім продовжити рух прямо. Цей маневр виконується доти, доки відстань між судном та об'єктом не досягне рівня, який можна вважати безпечним. Цей підхід дозволяє не тільки уникнути зіткнення, а й мінімізувати час, необхідний для повернення судна на безпечну відстань від інших об'єктів, забезпечуючи при цьому контрольоване та передбачуване керування ситуацією [86].

Таким чином, дії, що приймаються в екстрених ситуаціях на морі, вимагають від навігаційних офіцерів швидкого реагування і чіткого розуміння ситуації, щоб ефективно використовувати доступні методи ухилення та мінімізації ризиків. На особливу увагу заслуговує точне та своєчасне застосування тактик гальмування, яке має враховувати швидкості, курси та відносні позиції всіх суден, у зоні руху. Важливість цього підходу підкреслюється ще й тим, що він дозволяє запобігти можливим аваріям, не вдаючись до радикальніших і ризикованіших маневрів, які можуть погіршити ситуацію або призвести до нових проблем.

Створення інтегрованих аналітичних моделей та процедур, що дозволяють оцінювати та оптимізувати процеси управління у критичних ситуаціях, є основним інструментом до підвищення безпеки на морі. Ці моделі повинні бути здатні адаптуватися до різноманітних умов та надавати операторам надійні дані для прийняття рішень. Застосування сучасних технологій та систем навігаційного моніторингу сприяє покращенню цього процесу, роблячи маневрування більш безпечним та передбачуваним.

Систематичне навчання та тренування для навігаційних офіцерів необхідних для розвитку навичок, може значно знизити ймовірність помилок, що призводять до аварійних ситуацій. Підготовка повинна містити сценарні вправи та використання симуляторів, які відтворюють реальні умови та допомагають морякам краще зрозуміти та засвоїти різні стратегії безпечного маневрування та управління у критичних умовах.

1.3 Аналіз причин виникнення ситуацій надмірного зближення та зіткнення суден у морі

Аналіз причин виникнення ситуацій надмірного зближення та зіткнення суден у морі виявив кілька основних факторів, що включають людські помилки, технічні несправності, екологічні умови та порушення міжнародних навігаційних правил.

Людський фактор залишається одним із головних джерел морських інцидентів і включає помилки у прийнятті рішень екіпажем, неправильне використання технологій та ігнорування стандартних процедур безпеки, що часто пов'язане з неадекватною кваліфікацією, втомою чи перевантаженням роботою.

Технічні несправності, такі як відмови в системах керування та навігації, збільшують ризики, особливо якщо судно недостатньо обслуговується або використовує застаріле обладнання.

Метеорологічні фактори, включаючи погану видимість, штормову погоду, льодові умови, можуть серйозно впливати на керування судном і критично обмежити можливості маневрування.

Порушення МПЗЗС продовжує бути значною причиною морських подій. Аналіз ситуацій надмірного зближення та зіткнення суден у морі показав, що

найбільш ефективний і практичний спосіб попередження зіткнення є створення області неприпустимих значень.

У наукових дослідженнях було представлено підхід до формування області неприпустимих значень параметрів ухилення, що дозволяє визначати безпечні значення часу та курсу для маневру ухилення судна. У рамках цієї методики були отримані аналітичні вирази, що дозволяють розраховувати межі області безпечних курсів та часу повороту для виходу на заданий курс [87]. Приклад оперативного визначення параметрів маневру на основі використання даних областей, розрахованих за допомогою комп'ютерної програми, також було продемонстровано.

Стратегії безпечного розходження включають аналіз МПЗС-72 з пропозиціями щодо їх поліпшення, аспекти визначення моментів надмірного зближення суден та формалізації основних понять правил щодо виявлення небезпеки зіткнення та вибору моменту для початку маневру відмінності. У цих роботах запропоновано формульні вирази для розрахунку гранично допустимої дистанції мінімального зближення за умовою зниження видимості та математичне обґрунтування стратегій оптимального керування судном у випадку загрози зіткнення. Один із найбільш значущих напрямів досліджень забезпечення морського транспорту полягає в аналітичному описі взаємодії суден у ситуації небезпечного зближення для розробки стратегій ухилення. Дослідження охоплюють застосування методів оптимальної фільтрації, теорії регулювання та ігрових моделей для аналізу взаємодії, яка може бути інтерпретована як конфліктна або неконфліктна [88, 89].

Також було запропоновано нову систему оцінки ризику зіткнення суден – Neural Fuzzy system [74, 76]. Вона розроблена на основі переваг нейронних мереж fuzzy та пропонує новий підхід порівняно з традиційними методами, демонструючи значні покращення в точності та швидкості обробки даних.

Головною причиною виникнення ситуацій надмірного зближення та зіткнення суден на морі, як показав аналіз досліджень, є затримка у виконанні розрахунків необхідних маневрів для запобігання зіткненню. Такі

затримки можуть бути пов'язані з кількома факторами, включаючи складність навігаційної ситуації, обмеження в обладнанні та людський фактор. Проблема затримок у розрахунках маневрів часто виникає через необхідність швидко аналізувати велику кількість змінних, таких як швидкість, напрямок та дистанція до інших суден, а також їх інерційні та динамічні характеристики. В екстремальних умовах, таких як погана видимість або висока щільність судноплавства, час прийняття рішень істотно скорочується, що збільшує ризик аварійних ситуацій [90-92].

Вплив людського фактора також суттєвий, оскільки навіть досвідчені моряки можуть мати труднощі з прийняттям швидких рішень під тиском. Стрес, втома та перевантаження інформацією можуть призвести до помилкових рішень або уповільнення реакції, що робить своєчасні та точні маневри більш складними.

Технічні обмеження включають застаріле обладнання або системи, які не здатні обробляти дані в реальному часі або надавати точні прогнози для ефективного маневрування. Можливі розв'язання цієї проблеми можуть включати:

- 1) поліпшення технологій – розробка та впровадження більш сучасних навігаційних систем, здатних виконувати розрахунки у часі. Використання ІАД може допомогти в автоматизації розрахунків та наданні рекомендацій щодо маневрування, враховуючи поточну навігаційну ситуацію та передбачення руху інших суден;

- 2) тренування та навчання екіпажу – регулярне навчання навігаційних офіцерів, включаючи використання симуляторів для тренування прийняття рішень у критичних ситуаціях. Це може допомогти покращити навички моряків в інтерпретації складних навігаційних даних та виконанні маневрів під тиском;

- 3) стандартизація процедур – розробка та впровадження стандартизованих процедур для відповіді на екстрені ситуації, які можуть допомогти морякам ефективніше керувати судном у критичних умовах;

4) поліпшення міжнародного співробітництва – співпраця на міжнародному рівні для посилення дотримання навігаційних правил та покращення координації у щільно заселених чи на складних морських шляхах.

Підвищення ефективності запобігання морським зіткненням потребує комплексного підходу, включаючи технологічні інновації, покращення навчання та вдосконалення оперативного управління на судах. Подальше дослідження має зосередитися на розробці ефективніших підходів до навчання та сертифікації морських фахівців, щоб зменшити людські помилки. Також необхідно покращити технічні засоби моніторингу та навігації, щоб знизити ризик технічних несправностей. Дослідження повинні також вивчити вплив екстремальних погодних умов на безпеку судноплавства, розробляючи стратегії для кращої підготовки та адаптації суден до складних умов. Зрештою, важливо забезпечити суворе дотримання навігаційних правил та посилити контроль за їх виконанням на міжнародному рівні. Ці кроки допоможуть скоротити кількість інцидентів на морі та підвищити загальну безпеку мореплавства.

1.4. Висновки по розділу 1 та постановка завдання дослідження

Аналіз літературних джерел щодо розв'язання завдання попередження зіткнення морських суден підкреслюють значний внесок у методики зниження аварійності на морському транспорті, що ґрунтуються на вдосконаленні технологій попередження зіткнень суден.

Головним результатом аналізу літератури є ідентифікація ролі провідних комп'ютерних інформаційних технологій у формуванні стратегій для оптимізації ухилення від зіткнень. Розгляд різних навігаційних сценаріїв дозволив визначити специфічні умови експлуатації суден, а також

запропонувати адаптивні підходи до управління ризиками. Дослідження систем управління суднами виявило важливість інтеграції методів оптимального управління та теорій нелінійної інтегральної інваріантності, що сприяють ефективному реагуванню на складні умови навігації.

Ефективність принципу локально-незалежного управління підтверджено його здатністю оптимізувати процеси прийняття рішень у критичних ситуаціях через застосування теорії оптимальних дискретних процесів.

Основний науковий внесок роботи полягає в розробці нової методики, спрямованої на мінімізацію часу, необхідного для виконання розрахунків маневрів, що запобігають зіткненню. Впровадження ІАД у процеси вибору маневрів значно підвищує ефективність та точність прийняття рішень, забезпечуючи оптимальні рішення в динамічних умовах. Проаналізовано, що покращення якості роботи навігаційних офіцерів може досягатись за рахунок інтеграції ІАД, який аналізує дані в реальному часі та надає обґрунтовані стратегії для безпечного ухилення від зіткнень.

Впровадження даного методу здатне призвести до підвищення загальної безпеки судноплавства, мінімізації ризиків зіткнення та покращення умов роботи екіпажів на морських та внутрішніх водних шляхах.

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Вибір теми наукового дослідження та визначення шляхів досягнення завдань дослідження

Будь-яке дослідження за первинні кроки вбачає вибір теми, постановку завдання та визначення шляхів її досягнення.

Досвід експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту в проекції мінімізації ризиків зіткнення суден дозволив сформулювати такі **апріорі та апостеріорі**:

- ефективність вибору маневру розходження для забезпечення безпеки судноводіння залежить від основоположних принципів МПЗЗС-72, ідентифікації областей неприпустимих значень та оптимізації параметрів маневрування шляхом регулювання курсу та швидкості, а також використання попереднього моделювання траєкторій руху;
- комплексність завдання визначення та розрахунку маневру розходження, що поєднується з обмеженням часом для прийняття оперативних рішень, сприяє зростанню кількості зіткнень суден морського та внутрішнього водного транспорту.

У контексті досліджень, спрямованих на мінімізацію ризиків зіткнення суден морського та внутрішнього водного транспорту, встановлено, що збільшення випадків надмірного зближення суден визначає необхідність застосування сучасних методів управління динамічними характеристиками руху. Основні напрямки, що сприяють мінімізації ризиків зіткнення суден морського та внутрішнього водного транспорту, включають ідентифікацію областей неприпустимих значень та оптимізацію параметрів маневрування за курсом та швидкістю. Ці підходи доповнюються застосуванням техніки попереднього моделювання траєкторій для підвищення точності та безпеки навігаційних рішень. Також актуальною є інтеграція отриманих даних з

алгоритмами інтелектуального аналізу даних, що сприяє автоматизації прийняття рішень в умовах інтенсивного судноплавства, забезпечуючи тим самим підвищену безпеку суден морського та внутрішнього водного транспорту. Враховуючи викладене, була обрана **тема наукового дослідження – мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного зближення.**

Основними підставами, що сприяли вибору теми наукового дослідження, також було визначено, що:

- постійне збільшення кількості суден у морському та внутрішньому водному трафіку веде до частих ситуацій зближення, підвищуючи ймовірність зіткнень та вимагаючи розробку ефективних методик управління рухом судна для запобігання зіткненню суден;

- значні тимчасові витрати на розрахунок та застосування традиційних методів управління рухом суден, які часто не відповідають вимогам безпеки в умовах інтенсивного судноплавства, підкреслюють критичну необхідність впровадження провідних технологій та методик для оптимізації та прискорення розрахунку параметрів маневрування морських суден;

- необхідність виявлення оптимального стандартного маневру розходження шляхом формалізації правил МПЗЗС із застосуванням оптимізованих параметрів маневрування курсом та швидкістю з урахуванням областей неприпустимих значень;

- впровадження технологічного прогресу у сфері ІАД та аналітики даних, зумовленого швидким розвитком технологій, відкриває унікальні можливості для удосконалення систем управління судновим рухом для забезпечення безпеки судноводіння через застосування алгоритмів машинного навчання та аналізу великих даних;

- підтримання необхідних екологічних параметрів шляхом оптимізації маршрутів суден з використанням ІАД сприяє зменшенню екологічних збитків та підвищенню ефективності судноплавства за рахунок точного

налаштування шляхів, зниження витрат палива та мінімізації викидів шкідливих речовин.

З урахуванням обраної теми наукового дослідження була визначена його **мета – визначення оптимальних методів управління маневруванням суден морського та внутрішнього водного транспорту з використанням сучасних технологій інтелектуального аналізу даних.**

Шляхи досягнення мети дослідження можуть бути визначені за допомогою методу експертної оцінки [93], при цьому визначальними напрямками розв’язання завдання дослідження обираються такі, що найбільш повно відповідають таким критеріям, як:

- 1) актуальність;
- 2) наукова новизна;
- 3) економічна та енергетична ефективність;
- 4) можливість застосування на судах морського та внутрішнього водного транспорту;
- 5) відповідність спеціальності та можливість автономного рішення (без залучення дослідників з інших закладів вищої освіти та фахівців суміжних видів транспорту).

Експертна оцінка можливих варіантів розв’язання головного завдання дисертаційного дослідження, яким є вдосконалення визначення необхідних параметрів розходження суден морського та внутрішнього водного транспорту шляхом оптимізації управління рухом судна із застосуванням ІАД для точного та швидкого розрахунку маневрів ухилення, виконувалась із залученням:

- провідних науковців, кваліфікація яких підтверджується науковими ступенями доктора філософії, кандидата наук та доктора наук за спеціальностями морський та внутрішній водний транспорт, навігація та управління рухом, експлуатація та ремонт засобів транспорту;
- провідних фахівців судноплавних компаній, що забезпечують менеджмент суден морського та внутрішнього водного транспорту;

- суднових інженерів, що мають кваліфікацію суднового механіка або штурмана.

Також під час проведення експертної оцінки були враховані результати інформаційного пошуку, результати наукових спілкувань, що здійснювались під час апробації результатів дослідження на наукових конференціях, а також особистий досвід на морських судах.

Результати проведення експертної оцінки завдань дослідження надані в таблиці 2.1, де позитивній оцінці відповідає знак "+", а негативній – знак "-".

Виконана експертна оцінка значущості досліджень з практичного та аналітичного вдосконалення визначення необхідних параметрів розходження суден, що цей метод відповідає вимогам до актуальності, економічної та енергетичної ефективності та може знайти застосування на судах морського та внутрішнього водного транспорту. Але при цьому використання подібних методів у сучасні часи можливе лише в інформативному аспекті та має необхідність подальшого розвитку для регламентування.

Метод, що пов'язаний зі знаходженням аналітичних виразів, які характеризують умови можливості використання стандартного маневру розходження ухиленням під час небезпечного зближення судна з перешкодою. Згадана умова передбачає можливість забезпечити ухиленням максимальної дистанції найкоротшого зближення, не меншої за гранично допустиму дистанцію зближення. При цьому визначним являється відношення швидкості судна до швидкості перешкоди.

Удосконалення визначення граничних областей неприпустимих значень параметрів руху можна здійснити через впровадження технологій ІАД для швидкої та ефективної обробки великого обсягу даних. Це дозволяє не тільки точніше виявляти аномалії, але й прогнозувати потенційні ризики. Також важливо інтегрувати системи реального часу для моніторингу параметрів і швидкого реагування на критичні зміни.

Таблиця 2.1

Використання методу експертних оцінок для визначення варіантів
розв'язання завдання дослідження

Варіант розв'язання поставленого завдання	Критерії					
	актуальність	наукова новизна	економічна та енергетична ефективність	можливість застосування на судах морського та внутрішнього водного транспорту	відповідність спеціальності та можливості автономного розв'язання	сума балів
1. Знаходження аналітичних виразів, які характеризують умови можливості використання стандартного маневру розходження	+	–	+	+	+	4
2. Формалізація операції попередження зіткнення суден	+	–	–	+	–	3
3. Зміна показників граничних областей розходження	+	+	–	+	+	4
4. Вдосконалення параметрів маневрування судна	+	–	+	+	–	3
5. Застосування технології ІАД у ситуації небезпечного зближення суден	+	+	+	+	+	5

Методика оптимізації параметрів маневрування через регулювання курсу та швидкості не лише забезпечує відповідність вимогам МПЗЗС-72, а й посилює нормативну базу, надаючи зрозумілі рекомендації судноводіям щодо прийнятних маневрів у складних навігаційних умовах.

Застосування ІАД для визначення параметрів стандартного маневру розходження судна призначене для аналізу даних про поточну ситуацію, прогнозування руху суден, розрахунку оптимальних параметрів маневру та надання рекомендацій навігаційному офіцерові.

За результатами експертних оцінок найбільш раціональним слід визнати метод застосування ІАД при виборі стандартного маневру розходження судна в ситуації небезпечного зближення суден. Цей метод відповідає всім висунутим вимогам, тому саме на його вивчення, розвиток та впровадження спрямоване наукове дослідження.

Важливість та актуальність наукових досліджень, пов'язаних із забезпеченням безпеки судноплавства, підтверджується програмою економічних реформ, що проводиться в Україні, а також Транспортною стратегією України на період до 2030 року, у якій як однією із загальних проблем, що потребують розв'язання, визначено технологічне відставання транспорту та інфраструктури, низький рівень впровадження сучасних технологій та реалізації інноваційної політики транспортної галузі; як шляхи, що забезпечують це розв'язання, запропоновані забезпечення розвитку водного транспорту, використання високотехнологічних та ергономічних транспортних засобів, використання паливно-економічних та екологічних транспортних засобів.

Загальна мета Стратегії полягає у визначенні концептуальних основ формування та реалізації державної політики водного транспорту, спрямованих на створення інтегрованого до світової транспортної мережі ефективного транспортного комплексу України, підвищення інвестиційної привабливості морського транспорту, задоволення потреб населення у перевезеннях та покращення умов ведення бізнесу задля стійкого економічного та соціального розвитку країни.

Дослідження, що виконувались з метою досягнення головного та допоміжних завдань дисертаційної роботи, односпрямовані із завданнями **підвищення рівня безпеки судноплавства, а саме:**

- створення національного сегмента системи обміну інформацією про рух суден та діяльність суб'єктів господарювання у сфері морського судноплавства;

- впровадження спільних з ЄС процедур забезпечення безпеки судноплавства, моніторингу руху морських суден, надання допомоги на морі; **підвищення рівня екологічної безпеки на транспорті**, а саме:

- забезпечення пріоритетності вимог екологічної безпеки, обов'язковості дотримання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів під час провадження господарської, управлінської та іншої діяльності;

- здійснення запобіжних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища на судах морського та внутрішньо водного транспорту;

- впровадження новітніх технологій тестування транспортних засобів за екологічними параметрами;

- створення умов для запобігання аваріям на транспортних засобах, які можуть призвести до погіршення екологічного стану водних об'єктів (забруднення), що може шкідливо вплинути на здоров'я людей і стан водних екосистем.

Одночасно з цим дослідження, що виконані в дисертаційній роботі, спрямовані на забезпечення експлуатаційних показників та надійності роботи судових дизелів (двотактних та чотиритактних, головних та допоміжних) – як основного джерела механічної енергії енергетичних установок суден морського та внутрішнього водного транспорту.

Як **об'єкт дослідження** визначено процес навігації суден морського транспорту.

Як **предмет дослідження** прийнято процес безпечного та ефективного маневру розходження морських суден в умовах їх зближення.

2.2. Обґрунтування мети, головного та допоміжних завдань дослідження

Підставою проведення наукових досліджень було постійне збільшення кількості суден у морському та внутрішньому водному трафіку, що призводить до зростання ймовірності зіткнень та потребує використання передових технологій та методики управління рухом суден для оптимізації маневрування та підвищення безпеки мореплавання, а також наявність наступних **запитів практики**:

- вдосконалення визначення необхідних параметрів розходження суден морського та внутрішнього водного транспорту;
- зниження витрат часу на визначення параметрів маневру розходження;
- можливість застосування сучасних інформаційних технологій ІАД в області навігації та маневрування суден.

З урахуванням теми дисертаційного дослідження була сформульована **мета роботи** – визначення оптимальних методів управління маневруванням суден морського та внутрішнього водного транспорту з використанням сучасних технологій ІАД.

Гіпотезою наукового дослідження було прийнято допущення що можливість мінімізації ризику зіткнення суден забезпечується шляхом використання технологій інтелектуального аналізу даних під час вибору оптимального маневру розходження, що враховує вимоги МПЗЗС-72.

Головним завданням наукового дослідження є вдосконалення визначення параметрів розходження суден шляхом оптимізації управління руху судна із застосуванням технологій інтелектуального аналізу даних.

Для розв’язання головного завдання дослідження необхідно розв’язати наступні **допоміжні завдання**:

- 1) формалізація вибору маневрів розходження для зниження ризиків зіткнень суден;
- 2) оцінка можливостей використання інтелектуального аналізу даних під час забезпечення навігації та маневрування суден морського та внутрішнього водного транспорту;
- 3) аналіз застосування інтелектуального аналізу даних для забезпечення мінімізації ризику зіткнення суден під час розходження в ситуації надмірного зближення.

Перше допоміжне завдання полягає у формалізації умов використання стандартного маневру розходження для забезпечення безпечного мінімального дистанціювання між суднами, що базується на відносних швидкостях суден та аналізі необхідності маневру згідно з МПЗЗС-72. Цей аналіз передбачає визначення оптимальних параметрів маневрування через комп'ютерне моделювання, що дозволяє створити множину безпечних стандартних маневрів і вибрати з них найбільш ефективний для конкретної ситуації зближення. Для розв'язання другого допоміжного завдання потрібно розглянути умови застосування ІАД, який включає інтеграцію персоналізованих методів машинного навчання для аналізу та оптимізації параметрів навігації та маневрування суден. Це включає вивчення потенційних ризиків та вироблення методології використання ІАД для обробки та аналізування ситуацій зближення суден, а також визначення практичних аспектів застосування таких технологій в умовах морського та внутрішнього водного транспорту. Третє допоміжне завдання потрібне, щоб реалізувати пропонований метод маневру розходження із застосуванням ІАД, що містить окремі модулі формування стандартної ситуації небезпечного зближення суден, визначення характеристик розходження згідно з вимогами МПЗЗС-72, розрахунку параметрів стандартного маневру розходження з подальшим його програванням. Слід зазначити, що ІАД можна використати для розробки навігаційної інформаційної системи для попередження зіткнень суден.

Під час розв'язання кожного окремого допоміжного завдання передбачається отримання наукових результатів, синтез яких забезпечує розв'язання головного завдання дисертаційного дослідження та подальше визначення наукового положення [94].

2.3. Застосування системного підходу під час планування, проведення та визначення результатів наукового дослідження

При розробці методів контрольованого впливу на різні процеси система управління вважається комплексом взаємопов'язаних елементів, які включають об'єкти дослідження, цілі та завдання, організаційні структури, а також методи та алгоритми управління. Ця система вирізняється цілісністю, структурованістю, а також здатністю до ефективного управління та іншими характеристиками компонентів та підсистем, що відображають унікальні особливості керованого об'єкта і використовуваних методів. З метою детального аналізу та дослідження систем управління, велику популярність здобули методи системного аналізу та теорії ухвалення рішень, що активно використовуються в наукових дослідженнях теоретично та на практиці [95, 96].

У процесі системного аналізу та управління в умовах визначеності виникає завдання створення та аналізу оцінок різних моделей за допомогою оптимізаційних методів. Ці методи дозволяють сформулювати описи моделей функціонування різних об'єктів і систем, базуючись на об'ємних узагальнених даних з експериментів та теоретичних досліджень, та обрати оптимальні управлінські стратегії для цих об'єктів.

Що стосується галузі «транспорт», особливо морського та внутрішнього водного транспорту, системний аналіз часто застосовується в умовах невизначеності. У таких умовах особливо актуальною є розробка методів

керованого впливу та прийняття рішень без повної інформації. У контексті прикладних наукових досліджень та аналітичних розробок точність прийнятих рішень впливає на безліч параметрів, таких як: безпека судноводіння, ефективність систем ІАД в управлінні, а також безпека та стійкість транспортних засобів. Вирішення завдань з мінімізації ризиків зіткнення суден у ситуаціях інтенсивного зближення неможливе без застосування відповідних методів прийняття рішень, особливо при обробці експертних оцінок, аналітичних методів чи експериментальних даних. Важливе місце в цьому процесі займають дані, отримані за допомогою сучасних технологій ІАД, що застосовуються у сферах навігації та маневрування суден, особливо в умовах небезпечного зближення.

Суттєві аспекти наукових досліджень включають методики, які базуються на декомпозиції та агрегуванні. Декомпозиція в науково-прикладних завданнях визначається як процес аналізу, числового обрахунку або експерименту, що включає розбиття складної адаптивної системи або підсистеми на простіші елементи згідно з визначеними критеріями; тоді як агрегація відноситься до методу, що дозволяє об'єднати декілька завдань в одне цілісне завдання [97]. Стосовно виконаного наукового дослідження декомпозиція процесу вдосконалення вибору маневру розходження була виконана наступним чином:

- класифікаційними ознаками, формування ситуації небезпечного зближення судна з ціллю, а також розрахунок параметрів оптимального стандартного маневру розходження ухиленням;
- технологічними ознаками, визначення характеристик маневрування суден згідно з вимогами МПЗС-72;
- функціональними ознаками, за які приймалися формування множини безпечних стандартних маневрів розходження шляхом розрахунку граничних значень їх параметрів, а також визначення пріоритетного маневру розходження, сумісного з використанням ІАД.

Агрегатування процесу забезпечення вибору маневру розходження суден було виконано наступним чином:

- аналіз динамічних параметрів руху суден – збір інформації про поточні положення, швидкості та курси суден для оцінки потенційних точок зближення і розробки безпечних траєкторій уникнення;
- моніторинг і валідація навігаційних систем – оцінка точності та надійності навігаційного обладнання, яке використовується для визначення параметрів маневрування, із забезпеченням точного і своєчасного виявлення потенційних загроз з інтеграцією з ІАД.

Використання методів системного аналізу під час прийняття рішень в умовах невизначеності вимагає розробки методів та формулювання алгоритмів / схем обробки варіантних експертних оцінок відповідно до різноманітних критеріїв.

Стосовно виконаного наукового дослідження, побудова послідовності дослідження в напрямку мета – засоби – результати була виконана як тріадна модель, що включала дерево цілей, дерево засобів та дерево результатів.

Як **дерево цілей** визначались головне завдання наукового дослідження, допоміжні завдання наукового дослідження та наукове положення.

Як **дерево засобів** приймалися експериментальні дослідження, що виконувались в умовах натурних спостережень на морських суднах різного дедвейту.

Як **дерево результатів** були прийняті наукові результати, що були отримані під час розв'язання допоміжних завдань наукового дослідження та результат розв'язання головного завдання наукового дослідження, який був отриманий через синтез розв'язання допоміжних завдань.

З урахуванням викладених принципів, а також загальних принципів системного підходу було розроблено замкнутий цикл наукового дослідження, який представлений у вигляді технологічної карти дослідження, яка наведена на рис. 2.1.

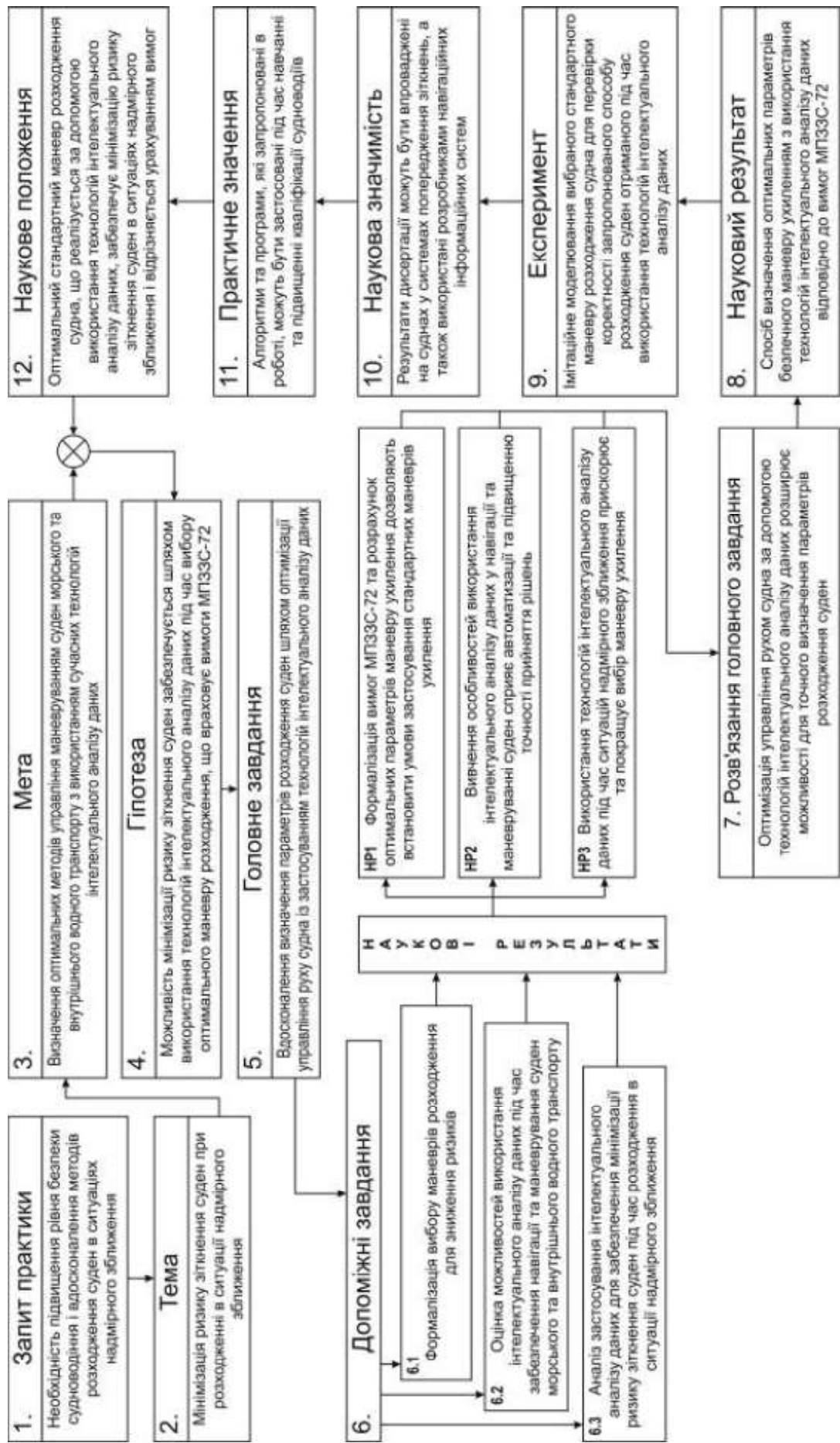


Рис. 2.1.1. Технологічна карта наукового дослідження

2.4. Організація та забезпечення проведення експериментальних досліджень

Експерименти та випробування під час дослідження виконувались відповідно до технічного завдання на їх проведення та погоджувались з відділом докторантури та аспірантури і проректором з наукової та методичної роботи НУОМА (у разі їх виконання в науково-дослідницьких лабораторіях та тренажерних комплексах НУОМА), а також – з відділом морської безпеки судноплавної компанії, якій належало судно (у разі їх виконання на судах морського транспорту).

Відповідно до рекомендацій з організації і проведення наукових досліджень за допомогою методів дедукції було проаналізовано основні напрямки рішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння, що надало можливість обрати основний напрям дисертаційного дослідження.

Перший етап дослідження полягає у формалізації аналітичних виразів, які дозволяють визначити умови застосування стандартного маневру розходження ухиленням при небезпечному зближенні судна з ціллю. Основна увага зосереджена на забезпеченні максимальної дистанції найкоротшого зближення, яка перевищує граничнодопустиму дистанцію. Важливою частиною дослідження є аналіз впливу відносної швидкості судна до швидкості цілі на можливість застосування маневру, особливо в ситуаціях, коли швидкість судна менша або більша за швидкість цілі.

Черговим етапом виконання дисертаційної роботи є розробка способу формалізації вимог МПЗЗС-72 для застосування стандартного маневру розходження, для чого потрібно після аналізу МПЗЗС-72 виділити ті правила, які стосуються відношення до застосування стандартного маневру розходження ухиленням. Слід враховувати, що кожному із виділених правил відповідає конкретна ситуація небезпечного зближення судна з ціллю, що потребує пошуку аналітичних виразів для кожної із виділених ситуацій.

Формалізація вимог МПЗЗС-72 також передбачає визначення характеристик необхідності маневру розходження та характеристик дозволеної сторони ухилення для кожного із суден. Аналіз дослідження надав змогу формування множини безпечних стандартних маневрів розходження, що потребує процедур для визначення верхніх і нижніх меж допустимих значень кожного з параметрів стандартного маневру розходження ухиленням.

Наступний етап дослідження полягає у розробці умов застосування технологій ІАД з особливим фокусом на інтеграції персоналізованих методів машинного навчання для аналізу та оптимізації параметрів навігації та маневрування суден. Дослідження включає оцінку потенційних ризиків, розробку методології для ефективного використання ІАД в аналізі та обробці ситуацій зближення суден, а також визначення практичних аспектів застосування цих технологій у морському та внутрішньому водному транспорті.

Експериментальні випробування з визначення параметрів маневру розходження суден за допомогою використання ІАД та моделювання процесу розходження на радіолокаційному маневреному планшеті перевірялися на коректність розробленого в роботі методу, та визначали ефективність застосування методу з урахуванням вимог МПЗЗС-72.

Експериментальні випробування з визначення параметрів маневру розходження суден, за допомогою використання ІАД виконувались на морських судах Bulk Carrier дедвейтом 64268 тонн та дедвейтом 63404 тонн. Досліджування виконувались за допомогою суднової навігаційної апаратури: радарів Furuno FAR 2228 X-Band, FAR 3230 S-Band та JRC JMR-9272S, JMR 9225X; Gyro Compass Sperry Marine Navigatx MK 1 та Yokogawa CMZ 900; Log Sperry Marine NaviknotIII та JRC JLN-550 ; GPS Furuno GP 170 та JRC JLR-7800 ; AIS Furuno FA-150 та JRC JHS183; ECDIS Furuno FMD 3300 та Transas NS4000.

Під час дослідження з інтеграції використання ІАД для визначення параметрів маневру розходження використовувались програмні застосунки Chat GPT 4 (Generative pre-trained transformer) та платформа Open AI.

Під час проведення випробування на суднах морського транспорту визначались ефективна економія часу при розрахунках ІАД порівняно з навігаційним офіцером та підтверджувалась актуальність та ефективність запропонованих параметрів маневру розходження на практиці.

Усе суднове обладнання та контрольно-вимірювальні прилади, що використовувались під час розрахунків маневру розходження, були схвалені з боку класифікаційних товариств, що забезпечують технічний нагляд над суднами та енергетичними установками. Забезпечення безпечного судноплавства та контролю руху судна виконувалось відповідно до вимог правил МПЗС-72, міжнародних конвенцій SOLAS та STCW а також згідно з системою управління безпекою судноплавної компанії.

Роботи, що були пов'язані з використанням ІАД в області навігації та маневрування, виконувались виключно капітаном далекого плавання Сагіним Сергієм Сергійовичем при погодженні з відділом морської безпеки судноплавної компанії, якій належало судно. Усі проміжні та остаточні результати випробувань доповідались керівнику дослідження та представникам морської безпеки судноплавної компанії.

2.5. Висновки за розділом 2

Як результат досліджень, що виконані в розділі 2, визначимо таке.

1.3 урахуванням галузі наукових знань «транспорт» та наукової спеціальності «морський та внутрішній водний транспорт», на підставі тенденцій розвитку збільшення ситуацій небезпечного зближення морських та річкових суден, враховуючи запити практики, якими є вдосконалення

визначення необхідних параметрів розходження суден морського та внутрішнього водного транспорту, зниження витрат часу на визначення параметрів маневру розходження та можливість застосування сучасних інформативних технологій ІАД в області навігації та маневрування суден, була сформульована тема наукового дослідження – мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного зближення.

2. Використовуючи метод експертних оцінок за критеріями: актуальність, наукова новизна, економічна та енергетична ефективність, можливість застосування на суднах морського та внутрішнього водного транспорту, відповідність спеціальності та можливість автономного рішення (без залучення дослідників з інших закладів вищої освіти та фахівців суміжних видів транспорту) – визначено метод досягнення мети дослідження, яким є визначення параметрів маневру розходження суден, за допомогою використання ІАД.

3. Об'єктом дослідження визначено процес розходження суден в умовах надмірного зближення.

Предметом дослідження прийнято процес визначення безпечного та ефективного маневру розходження.

4. Головним завданням дисертаційного дослідження є вдосконалення визначення необхідних параметрів розходження суден морського та внутрішнього водного транспорту шляхом оптимізації управління руху судна із застосуванням ІАД для точного та швидкого розрахунку маневрів ухилення..

За допоміжні завдання обрано:

- формалізацію операції попередження зіткнення між суднами та розробку методології вибору стратегій маневрування для розходження
- дослідження особливостей застосування ІАД у сфері навігації та маневрування суден морського та внутрішнього водного транспорту

- визначення впливу розрахункових моделей розходження від ІАД на забезпечення судноплавства та мінімізації ризику зіткнення суден в умовах надмірного зближення

Розв'язання головного завдання дослідження виконано шляхом синтезу наукових результатів допоміжних завдань.

5. На основі традиційного філософського методу сходження від «загального» через «часткове» до «особистого», а також на підставі системного підходу розроблена технологічна карта наукового дослідження.

РОЗДІЛ 3. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИБОРУ МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ

Структурування процедур щодо запобігання зіткнень суден та вибір методики для маневру розходження відіграють головну роль в управлінні морською безпекою. Визначення та формалізація методів запобігання зіткненням суден морського та внутрішнього водного транспорту є основним завданням для мінімізації ризиків та загроз зіткнення суден, особливо в умовах інтенсивного судноплавства, в районах обмеженого плавання або в складних метеорологічних умовах.

У рамках міжнародних стандартів, таких як Міжнародні правила запобігання зіткненню суден у морі, проводиться формалізація управління маневрами суден піз час їх зближення. Ці правила надають керівництво та рамки для маневрування суден у морі, але реальна ефективність маневрів залежить від точності, з якою навігаційний офіцер зможе інтерпретувати та застосовувати зазначені правила в реальних умовах [98, 99].

Для вирішення питання забезпечення безпеки судноплавства було розглянуто підмножини ситуацій надмірного зближення суден із різною взаємною відповідальністю та з різним розташуванням суден одне від одного, що регламентуються відповідними вимогами Міжнародних правил запобігання зіткненню суден у морі. Для покращення ефективності та точності у прийнятті рішень з маневрування, усе більшого значення набуває застосування інтелектуального аналізу даних. ІАД може аналізувати великі обсяги даних щодо руху суден у реальному часі, передбачаючи потенційні ризики зіткнення та рекомендуючи оптимальні маневри розходження. Це особливо важливо в складних навігаційних умовах, де традиційні методи можуть не впоратися з динамікою ситуації, що швидко змінюється.

3.1. Аналіз основних динамічних характеристик руху судна та розробка аналітичних залежностей відносного курсу та швидкості судна від параметрів істинного руху групи суден

Ефективність маневрів розходження, залежить від глибокого розуміння процесу динаміки руху суден з боку навігаційного офіцера, а також його здібності мати відмінну здатність до швидкого та точного аналізу ситуації та прийняття рішень для уникнення безпосередньої небезпеки. Особливо це стає важливим у районах з обмеженим водним простором, де необхідно миттєво реагувати на всі наступні зміни у взаємному розташуванні суден, щоб уникнути небезпечного зближення.

Оцінка ключових динамічних характеристик руху судна, включаючи аналіз залежності відносного курсу та швидкості параметрів фактичного руху групи суден, є фундаментальним дослідженням для оптимізації навігаційних стратегій [100]. Це дослідження допомагає визначити, як зміни в русі одного судна впливають на параметри руху інших суден у групі, що є критично важливим для ефективного планування маршрутів і запобігання зіткнень на морі. Розуміння цих взаємозв'язків дозволяє навігаційним офіцерам та ІАД більш точно прогнозувати потенційні ризики та адаптувати маневри в реальному часі для забезпечення безпеки та ефективності руху морського та внутрішнього водного транспорту.

Взаємне розташування та швидкість руху суден у морі залежать від їх конкретних параметрів руху, таких як: курс, швидкість та прискорення кожного з них. Відносний курс – це кутовий вимір, що показує напрямок руху одного судна відносно до іншого. Цей кут розраховується як різниця між напрямком руху власного судна та напрямком, на який вказує цільове судно. Відносна швидкість визначає, з якою швидкістю одне судно наближається до іншого або віддаляється від нього [101, 102]. Ці відносні

показники руху визначаються з урахуванням абсолютних параметрів руху кожного судна у відкритому морі.

Зміни в параметрах істинного руху, такі як зміна курсу, швидкості або прискорення одного або обох суден, – можуть призводити до змін у відносному курсі та швидкості. Це, своєю чергою, може вимагати виконання коригуючих маневрів для забезпечення безпеки та запобігання можливим зіткненням на морі. Розуміння та правильне використання цих динамічних характеристик є головними аспектами морської навігації та потребують ретельного аналізу та прогнозування руху суден для гарантування безпеки на водах.

У рамках аналізу морських навігаційних сценаріїв особливо важливим є вивчення ситуацій потенційно небезпечного зближення суден. Розглянемо ситуацію небезпечного зближення пари суден C_1 та C_2 , які характеризуються параметрами істинного руху курсу першого та другого судна K_1 , K_2 ; швидкістю першого та другого судна V_1 , V_2 та відносною позицією суден D , α , при цьому D – є відстань між суднами C_1 та C_2 , а α – кут напрямку судна C_2 щодо судна C_1 (пеленг), як показано на рис. 3.1. Вважатимемо, що $V_2 \geq V_1$, тобто швидкість судна C_2 більша за швидкість судна C_1 .

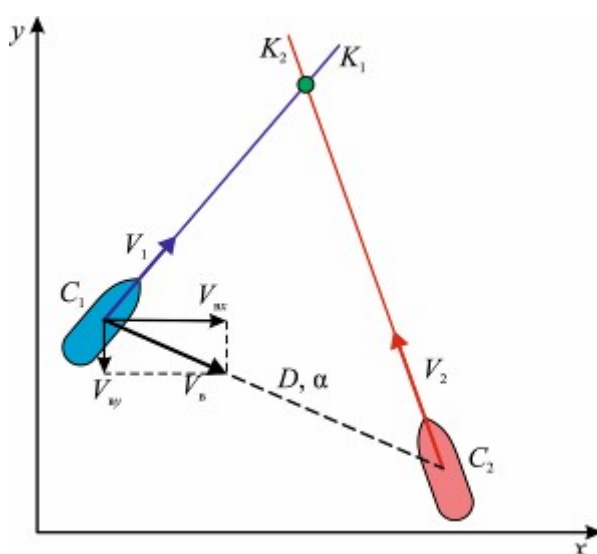


Рис. 3.1. Параметри істинного руху пари суден з небезпечним зближенням

Відносний рух пари суден C_1 та C_2 характеризують параметри V_B , K_B , D , α . Причому пеленг α і дистанція D характеризують відносне положення, а відносна швидкість V_B і відносний курс K_B – відносний рух (рис. 3.2). Параметри істинного руху V_1 , K_1 , V_2 і K_2 утворюють чотиривимірний простір істинного руху, а простір відносного руху представлено параметрами відносного руху V_B і K_B .

Визначимо залежності параметрів відносного руху від параметрів істинного руху, тобто $K_B = f_K(V_1, K_1, V_2, K_2)$ та $V_B = f_V(V_1, K_1, V_2, K_2)$. З цією метою через V_{Bx} та V_{By} позначимо проекції відносної швидкості, як показано на рис. 3.2.

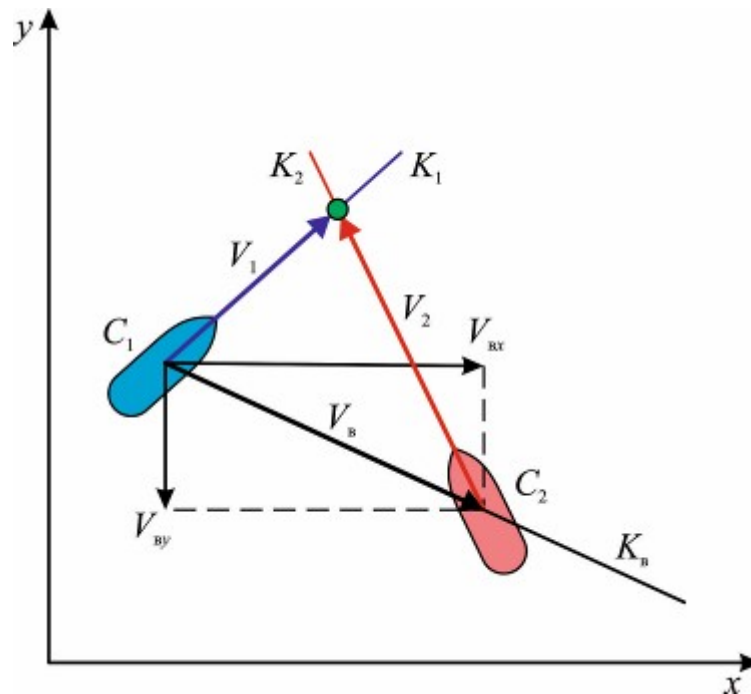


Рис. 3.2. Залежність параметрів істинного та відносного руху пари суден із небезпечним зближенням

З рис. 3.2 випливає:

$$V_{Bx} = V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2, \quad V_{By} = V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2,$$

$$V_B = \sqrt{V_{Bx}^2 + V_{By}^2},$$

або

$$V_B = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos(K_1 - K_2)}.$$

Очевидно, для відносного курсу K_B можна записати

$$K_B = \begin{cases} \psi, & \text{коли } V_{Bx} > 0, V_{By} > 0, \\ \pi + \psi, & \text{коли } V_{By} < 0, \\ 2\pi + \psi, & \text{коли } V_{By} < 0, V_{By} > 0, \end{cases}$$

$$\text{де } \psi = \arcsin \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_B}.$$

Для більш глибокого аналізу динамічної ситуації зближення суден C_1 і C_2 необхідно взяти до уваги, що відносний курс і швидкість між суднами можна виразити через їх справжні курси та швидкості. Відносна швидкість V_B та відносний курс K_B можуть бути обчислені на основі різниці векторів істинного руху обох суден. У цьому контексті, приймаючи судно C_2 за нерухому точку відліку, можна уявити рух судна C_1 щодо C_2 .

Проекції відносної швидкості V_{Bx} та V_{By} на горизонтальну вісь координат дозволяють наочно оцінити, як швидкість та курс судна C_1 змінюються щодо судна C_2 . Ці проекції виражаються як:

$$V_{Bx} = V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2, \quad V_{By} = V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2.$$

Таким чином, відносна швидкість V_B може бути знайдена як величина результуючого вектора цих проекцій:

$$V_B = \sqrt{V_{Bx}^2 + V_{By}^2},$$

Відносний курс K_B який визначає напрямок руху судна C_1 відносно судна C_2 , може бути виражений через арктангенс відношення проекцій:

$$K_B = \arctan 2(V_{By} / V_{Bx}).$$

Ці обчислення допомагають уявити та аналізувати траєкторії руху суден одне щодо одного, що вкрай важливо для прийняття рішень про маневри в умовах, коли виникає небезпека зіткнення. Використовуючи ці дані, можна визначити найбезпечніший та найефективніший спосіб зміни курсу або швидкості судна C_1 для уникнення критичного зближення із судном C_2 . Цей підхід заснований на математичному моделюванні та аналізі руху, який дозволяє судноводіям передбачати та коригувати свої дії на основі точних розрахунків, забезпечуючи таким чином безпеку на морських шляхах.

3.2. Умови можливості застосування стандартного маневру розходження методом ухилення у ситуації надмірного зближення суден у морі

Попередження зіткнення суден, що небезпечно зближуються, істотно залежить від оперативності способу вибору безпечного маневру розходження, яким найчастіше є маневр зміни курсу [103].

Стандартний маневр розходження зміною курсу містить дві ділянки (рис. 3.3): ділянку ухилення з програмної траєкторії руху, який характеризується курсом ухилення K_y та часом початку ухилення t_y , а також ділянку виходу на задану (програмну) траєкторію руху з параметрами K_b – курсом виходу та t_b – час повороту на курс виходу. Заключною характеристикою маневру ухилення є час t_k та курс K_k повороту судна з ділянки виходу на програмну траєкторію та кінцевий програмний курс.

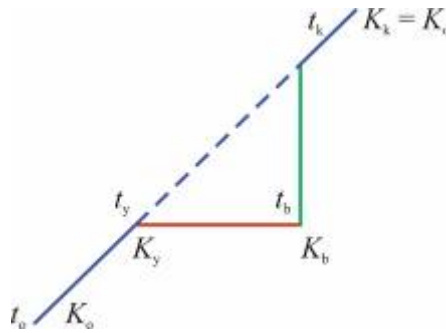


Рис. 3.3. Стандартний маневр ухилення

Розглянемо умову, що визначає можливість застосування стандартного маневру ухилення зміною курсу судна. Для виконання цієї умови судно та перешкода повинні небезпечно зближатися. При цьому підмножина стандартних маневрів розходження існує, якщо є хоча б один курс ухилення, який забезпечує розходження судна та перешкоди на дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ рівною або більшою гранично допустимою дистанцією зближення D_d .

Небезпека зіткнення виникає за умови прогнозованого потрапляння судна в безпечну область (домен) перешкоди, – вона вказує на прийдешню неприпустиму ситуацію завчасно, виходячи з прогнозу зміни відносної позиції судна та перешкоди [47, 73]. Небезпека зіткнення носить умовний характер, тому що на її істинність впливають можливі дії суден до досягнення неприпустимої ситуації [104]. Звичайно, небезпека зіткнення виникає в разі, коли прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ менше значення гранично допустимої дистанції зближення D_d .

Якщо під час наявності небезпеки зіткнення дистанція між суднами перевершує значення D_d та судно може своїм маневром забезпечити максимальне значення дистанції найкоротшого зближення $\max D_{\min}$, для якого $\max D_{\min} \geq D_d$, то воно може застосувати стандартний маневр ухилення. З перебігом часу за умови незмінних параметрів руху суден дистанція між ними скорочується та настає час t_d , коли досягається рівність $\max D_{\min} = D_d$.

При подальшому зближенні суден з програмними параметрами руху $\max D_{\min} < D_d$ судно потрапляє в підмножину неприпустимих позицій, причому ніяким маневром зміни курсу воно не зможе розійтися з перешкодою в дистанції D_d . Тому час t_d потрапляння судна до підмножини неприпустимих позицій визначає можливість використання стандартного маневру ухилення. Причому якщо $t_d > 0$, то застосування стандартного маневру ухилення можливе, в іншому випадку ($t_d \leq 0$) ухилення шляхом використання стандартного маневру не можливе.

Визначимо аналітичний вираз для розрахунку часу, коли судно ухиляється від зіткнення зміною курсу, з огляду на співвідношення швидкостей судна та перешкоди. Спершу розглянемо випадок, коли швидкість судна V_1 більше за швидкість перешкоди V_2 , тобто $\rho = \frac{V_1}{V_2} \geq 1$ (рис. 3.4). У цьому випадку судно може лягти на будь-який відносний курс та час t_d визначається, коли судно досягає межі області неприпустимих позицій перешкоди, при цьому справедлива рівність $D(t_d) = D_d$.

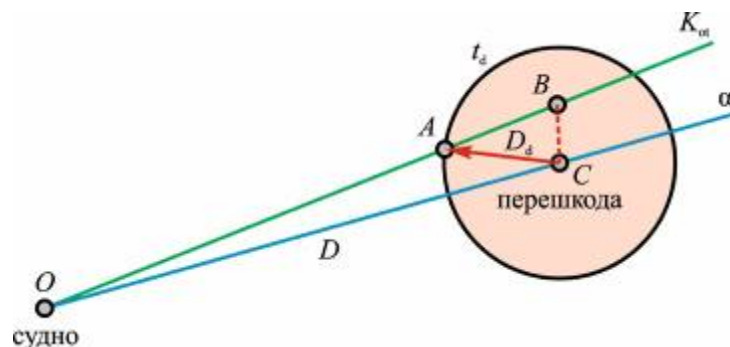


Рис. 3.4. До визначення часу потрапляння судна до підмножини неприпустимих позицій

Залежність поточної дистанції $D(t)$ від часу t за умови незмінних параметрів відносного руху K_B та V_B визначається за виразом

$$D(t) = \sqrt{V_B^2 t^2 + D^2 - 2 D V_B t \cos(K_B - \alpha)},$$

де α і D – початкові значення пеленга та відстані.

Тому можна записати наступне рівняння:

$$D(t_d) = \sqrt{V_B^2 t_d^2 + D^2 - 2DV_B t_d \cos(K_B - \alpha)} = D_d,$$

з якого випливає вираз:

$$V_B^2 t_d^2 + D^2 - 2DV_B t_d \cos(K_B - \alpha) = D_d^2.$$

Останнє рівняння можливо записати як

$$V_B^2 t_d^2 - 2DV_B t_d \cos(K_B - \alpha) + D^2 - D_d^2 = 0$$

або

$$t_d^2 - 2kt_d + q = 0 \quad (3.1)$$

де

$$k = \frac{D \cos(K_B - \alpha)}{V_B}, \quad q = \frac{D^2 - D_d^2}{V_B^2}.$$

Розв'язуючи рівняння (3.1) відносно змінної t_d , отримаємо:

$$t_{d1,2} = k \pm \sqrt{k^2 - q}.$$

Після підстановки значень k та q , знайдемо корні t_{d1} та t_{d2} :

$$k = \frac{D \cos(K_B - \alpha)}{V_B}, \quad q = \frac{D^2 - D_d^2}{V_B^2}.$$

$$t_{d1} = \frac{D \cos(K_B - \alpha)}{V_B} + \sqrt{\frac{D^2 \cos^2(K_B - \alpha) - D^2 - D_d^2}{V_B^2}} =$$

$$= \frac{1}{V_B} \left(D \cos(K_B - \alpha) + \sqrt{D_d^2 - D^2 (1 - \cos^2(K_B - \alpha))} \right)$$

та

$$t_{d2} = \frac{1}{V_B} \left(D \cos(K_B - \alpha) + \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_B - \alpha)} \right)$$

Додатково визначимо, що часу t_d досягнення судном межі області неприпустимих позицій відповідає корінь t_{d2} рівняння (1), – т. А на рис. 3.4. Тому:

$$t_d = \frac{1}{V_B} \left(D \cos(K_B - \alpha) - \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_B - \alpha)} \right)$$

Коректність отриманого аналітичного виразу для розрахунку підтверджується аналізом рис. 3.4, з якого випливає, що

$$t_d = \frac{OA}{V_B}.$$

У свою чергу

$$OA = OB - AB,$$

причому

$$OB = D \cos(K_B - \alpha) OA,$$

$$AB = \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_B - \alpha)}.$$

Отже, формула з розрахунку моменту часу t_d при потраплянні судна в підмножину неприпустимих позицій, у яких воно не може розійтися з ціллю заданої дистанції, є коректною.

У ситуаціях надмірного зближення, коли стандартні маневри стають недостатніми або ризикованими, застосування адаптованих методів ухилення, що ґрунтуються на методиці використання ІАД, може суттєво підвищити безпеку.

ІАД може динамічно аналізувати можливості для маневру, враховуючи поточне положення суден, їхню швидкість та курс, що дозволяє обрати найбільш безпечний та ефективний варіант ухилення.

3.3. Вибір параметрів ухилення судна за допомогою області неприпустимих значень параметрів руху судна

Важливим аспектом у забезпеченні безпеки розходження суден морського та внутрішнього водного транспорту є також розробка алгоритмів, які б враховували області неприпустимих значень параметрів руху [61, 105]. Ці алгоритми допомагають визначити межі, у яких зміна курсу чи швидкості може призвести до небажаних ситуацій. З використанням цього підходу, ІАД може не лише запобігти потенційним зіткненням, а й оптимізувати траєкторії руху судна для забезпечення максимальної ефективності шляху.

Процедура формування області неприпустимих значень параметрів руху судна та її застосування для вибору курсу ухилення розглянуті у роботі, тут же наведемо її основні результати [31, 44].

Як раніше встановили, зближення судна з ціллю, при якій дистанція найкоротшого зближення $\min D$ менша за гранично допустиму дистанцію D_d , є небезпечною. Значення дистанції найкоротшого зближення $\min D$ залежить від пеленга на перешкоду α і дистанції D між судном і перешкодою, а також параметрів руху судна (курсу K_1 , швидкості V_1) і перешкоди K_2 , V_2 . Тому за умови заданих значень α , D , K_2 та V_2 існує безліч поєднань параметрів руху судна K_1 та V_1 , при яких має місце нерівність $\min D \leq D_d$. При розгляді

поєднання K_1 і V_1 як точок (K_1, V_1) координатної площини $K_1 \times V_1$, Ω_d для кожної точки (K_1, V_1) , з якою виконується нерівність $\min D \leq D_d$, є областю неприпустимих параметрів руху судна Ω_d .

Межею області є сукупність точок (K_1, V_1) , кожної з яких досягається рівність $\min D \leq D_d$. У зв'язку з тим, що дана рівність може мати місце при відносному ухиленні судна як правобіч, так і лівобіч, існує дві межі, які звужують область недопустимих параметрів руху судна Ω_d . Якщо точка (K_{1i}, V_{1i}) належить ділянці Ω_d , то зближення судна з ціллю є небезпечним, тому що в цьому випадку $\min D \leq D_d$. В іншому випадку небезпека зіткнення не виникає.

Знайдемо аналітичний вираз для меж області Ω_d , для цього у рівність $\min D \leq D_d$ слід підставити вираз для $\min D$ [4]:

$$\Delta D \sin(\alpha - K_b) = D_d, \quad (3.2)$$

де K_b – відносний курс;

Δ – відносне ухилення.

Рівність (3.2) справедлива для всіх курсів судна K_1 тільки у випадку $V_1 > V_2$, коли зміною курсу судна може бути отриманий довільний відносний курс K_b .

Вочевидь

$$\alpha - K_b = \arcsin \frac{D_d}{\Delta D}, \quad K_b = \alpha - \arcsin \frac{D_d}{\Delta D}.$$

Якщо позначити $\gamma = \alpha \pm \arcsin \frac{D_d}{\Delta D}$, то залежно від знаку Δ отримаємо:

$$\gamma_1 = \alpha - \arcsin \frac{D_d}{\Delta D}, \quad \text{якщо } \Delta > 0;$$

$$\gamma_2 = \alpha + \arcsin \frac{D_d}{\Delta D}, \quad \text{якщо } \Delta < 0.$$

Тому що $K_B = \gamma_{1,2}$, тоді $\operatorname{tg} K_B = \operatorname{tg} \gamma_{1,2}$. Враховуючи

$$\operatorname{tg} K_B = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2} = \frac{\sin \gamma_{1,2}}{\cos \gamma_{1,2}},$$

тому

$$(V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2) \cos \gamma_{1,2} = (V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2) \sin \gamma_{1,2},$$

або

$$V_1 (\sin K_1 \cos \gamma_{1,2} - \cos K_1 \sin \gamma_{1,2}) = V_2 (\sin K_2 \cos \gamma_{1,2} - \cos K_2 \sin \gamma_{1,2}).$$

З останнього виразу випливає

$$V_1 \sin(K_1 - \gamma_{1,2}) = V_2 \sin(K_2 - \gamma_{1,2}),$$

$$\sin(K_1 - \gamma_{1,2}) = \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_{1,2})}{V_1},$$

$$K_{11} - \gamma_{1,2} = \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_{1,2})}{V_1},$$

$$K_{12} - \gamma_{1,2} = \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_{1,2})}{V_1}.$$

Отже:

$$K_{11}^{(1)} = \gamma_1 + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_1)}{V_1},$$

$$K_{11}^{(2)} = \gamma_2 + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_2)}{V_1},$$

$$K_{12}^{(1)} = \gamma_1 + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_1)}{V_1},$$

$$K_{12}^{(2)} = \gamma_2 + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_2)}{V_1},$$

при цьому слід враховувати обмеження на значення швидкості судна V_1 .

Оскільки аргумент $\frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_2)}{V_1}$ під функцією $\arcsin$ не може перебільшувати 1, тоді мінімальне значення швидкості судна в рівняннях меж $K_{11}^{(2)}$ і $K_{12}^{(2)}$ визначається величиною $V_1 \min = V_2 \sin(K_2 - \gamma_2)$, а для меж $K_{11}^{(1)}$ і $K_{12}^{(1)}$ величиною $V_1 \min = V_2 \sin(K_2 - \gamma_1)$. Отже:

$$K_{11}^{(1)} \in \left[\gamma_1 + \frac{\pi}{2}, \gamma_1 + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_1)}{V_{1\max}} \right],$$

$$K_{11}^{(2)} \in \left[\gamma_1 + \frac{\pi}{2}, \gamma_1 + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_1)}{V_{1\max}} \right].$$

Для курсів $K_{12}^{(1)}$ і $K_{12}^{(2)}$ швидкість судна $V_1 \in [V_2 \sin(K_2 - \gamma_2), V_{1\max}]$ та

$$K_{12}^{(1)} \in \left[\gamma_2 + \frac{\pi}{2}, \gamma_2 + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_2)}{V_{1\max}} \right],$$

$$K_{12}^{(2)} \in \left[\gamma_2 + \frac{\pi}{2}, \gamma_2 + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_2)}{V_{1\max}} \right].$$

Тому область неприпустимих параметрів судна як функція курсу від швидкості аналітично виражається при зближенні на зустрічних курсах наступним чином:

$$K_{11}^{(1)} = \gamma_1 + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_1)}{V_1},$$

$$K_{11}^{(2)} = \gamma_2 + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_2)}{V_1},$$

з урахуванням раніше вказаних обмежень на швидкість V_1 .

Так само для попутних курсів:

$$K_{12}^{(1)} = \gamma_1 + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_1)}{V_1},$$

$$K_{12}^{(2)} = \gamma_2 + \pi - \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma_2)}{V_1},$$

3.4. Аналіз оптимізації параметрів маневрування судна шляхом регулювання курсу та швидкості

Методика оптимізації параметрів маневрування через регулювання курсу та швидкості забезпечує найкращу відповідність вимогам МПЗЗС-72. У цьому контексті формалізація вимог та уточнення правил маневрування не

лише посилює нормативну базу, а й надає ясні рекомендації для судноводіїв про те, які маневри є прийнятними у складних навігаційних умовах [105-108].

Аналіз оперативного визначення маневру ухилення є системою прийняття рішень для коригування курсу чи швидкості судна. Цей підхід інтегрує аналіз поточних параметрів навігації для швидкого визначення оптимальної стратегії ухилення від потенційних зіткнень. Метод ґрунтується на точній оцінці динамічних характеристик руху судна та можливих траєкторій інших об'єктів у морській зоні. Використання цієї методики дозволяє ефективно реагувати на зміни ситуації, мінімізуючи ризик та підвищуючи безпеку мореплавання [109-111].

Головна перевага методики полягає в її гнучкості та здатності до масштабування залежно від типу судна та специфічних завдань. Це робить її застосовною як для малих суден, так і для великих морських колосів, які потребують особливо ретельного планування маневрів. Також важливо відзначити, що методика може бути інтегрована з існуючими системами керування судном, покращуючи їх ефективність та надаючи екіпажу потужний інструмент для запобігання аварійним ситуаціям на морі [112, 113].

Безпека процедури ухилення залежить від своєчасного виявлення ситуації ближнього бою та оперативного вибору правильного маневру ухилення залежно від взаємної зони взаємних зобов'язань. Якщо місця достатньо, бажаний маневр ухилення з коригуванням курсу судна. Однак, якщо навігаційні перешкоди перешкоджають такій дії, слід використовувати маневр ухилення зі зниженням швидкості. В умовах тісного зближення в закритих водах наявність навігаційних небезпек може перешкодити зміні курсу та спричинити необхідність маневрування, спрямованого на зниження швидкості за рахунок активного гальмування, яке триває з моменту розвороту до зупинки або знижує швидкість до певного заданого значення, або шляхом пасивного гальмування, що виконується заглушенням двигуна для максимального ефекту опору води [114].

Розглянемо обидва варіанти активного гальмування для забезпечення безпеки маневру ухилення та розробимо метод оперативного вибору правильного маневру ухилення, що дозволяє змінити курс чи знизити швидкість шляхом активного та пасивного гальмування. Як правило, судно, що діє в стандартній ситуації ухилення, буде використовувати маневр, що змінює один параметр руху: курс або швидкість, зберігаючи другий параметр незмінним [115-117]. Тому вибір правильного маневру для судна, що діє з використанням одномірного набору значень параметрів неприйняттого маневрування судна, має сенс. Таким чином, у разі маневру коригування курсу граничні курси множини неприпустимих значень курсів ухилення M_K визначаються з урахуванням постійного значення швидкості судна V_1 :

$$K_{yp} = g_1 + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - g_1)}{V_1},$$

$$K_{ys} = g_2 + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - g_2)}{V_1};$$

де K_{yp}, K_{ys} – граничні значення курсів ухилення;

V_1 – значення постійної швидкості судна;

K_2 – курс судна;

g_1 и g_2 – пеленг і відстань між суднами.

$$g_1 = \alpha - \arcsin \frac{D_d}{D}, \quad g_2 = \alpha - \arcsin \frac{D_d}{D},$$

Отже, $M_K = [K_{yp}, K_{ys}]$ та вибір коригування курсу K_y залежить від умови $K_y \neq M_K$. При маневрі відхилення зі зниженням швидкості сукупність неприпустимих швидкостей M_V , обмежена швидкостями V_1 і V_1 . У ситуаціях активного гальмування швидкість V_{1y} визначається:

$$V_{ly} = \sqrt{\frac{P}{\mu}} \operatorname{tg} \left\{ \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{P}{\mu}} V_1 \right) - \frac{\sqrt{\mu P}}{(1+k)m V_2 \sin K_2} \left(X_1(t) - \frac{\sin \left(K_{\text{отп}} + \arcsin \frac{D_d}{DD_p} \right)}{D_p} \right) \right\}$$

де:

$$X_1(t) = S \sin K_{ly} = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{ly}^2 + \frac{P}{\mu}} \right| \sin K_{ly};$$

$$D_p = \sqrt{(X_1(t) - X_2(t))^2 + (Y_1(t) - Y_2(t))^2}$$

та

$$Y_1(t) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{ly}^2 + \frac{P}{\mu}} \right| \cos K_{ly};$$

$$X_2(t) = D_0 \sin \alpha_0 + V_2 \sin K_2 \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} \left[\operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{\mu}{P}} V_1 \right) - \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{\mu}{P}} V_{ly} \right) \right];$$

$$Y_2(t) = D_0 \cos \alpha_0 + V_2 \cos K_2 \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} \left[\operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{\mu}{P}} V_1 \right) - \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{\mu}{P}} V_{ly} \right) \right].$$

У ситуаціях пасивного гальмування швидкість V_{ly} визначається:

$$V_{ly} = \frac{V_1}{1 + \frac{\mu V_1}{(1+k)m V_2 \sin K_2} \left\{ X_1(t) - \left[\sin \left(K_{\text{отп}} + \arcsin \frac{D_d}{DD_p} \right) \right] / D_p \right\}}$$

де:

$$X_1(t) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{1y}^2} \right| \sin K_{1y};$$

$$Y_1(t) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_1^2}{V_{1y}^2} \right| \cos K_{1y};$$

$$X_2(t) = D_0 \sin \alpha_0 + V_2 \sin K_2 \frac{(1+k)m}{\mu V_0} \left(\frac{V_1}{V_{1y}} - 1 \right);$$

$$Y_2(t) = D_0 \cos \alpha_0 + V_2 \cos K_2 \frac{(1+k)m}{\mu V_0} \left(\frac{V_1}{V_{1y}} - 1 \right).$$

У наведених виразах використано такі позначення:

K_{yp}, K_{ys} – граничні значення курсів ухилення;

V_1 – постійна швидкість судна;

K_2 – курс судна;

P – тяга гребного гвинта;

m – маса судна;

μ – коефіцієнт опору та значення курсу ухилення

$$K_{opt} = \arcsin \frac{V_{1y} \sin K_{1y} - V_2 \sin K_2}{\sqrt{V_{1y}^2 + V_2^2 - 2V_{1y}V_2 \cos(K_{1y} - K_2)}}.$$

Оскільки встановлено, що $M_V = [V_{1y}, V_1]$, швидкість маневру ухилення обирається шляхом застосування вимоги $V_y \neq M_V$. Зазначимо, що оптимальна швидкість маневру ухилення досягається за значенням $V_{1y} = V_1$.

Для цього було розроблено комп'ютерну програму, яка відображає набори M_K та M_V , що дозволяють обрати оптимальний маневр ухилення та перевірити його правильність [23]. Наприклад, розглянемо небезпечну ситуацію зближення суден з вихідними параметрами, $\alpha = 88^\circ$, $D = 10$ миль,

$$K_1 = 45^\circ, V_1 = 23 \text{ вузлів}, K_2 = 315^\circ, V_2 = 20 \text{ вузлів}.$$

Після введення параметрів ситуації небезпечного зближення на моніторі відображаються графічні зображення неприпустимих параметрів для M_K та M_V (червоного кольору) у даний момент часу (рис. 3.5), а вибір M_K ілюструється горизонтальною червоною лінією на осі курсу судна, у даному випадку від 23° до 76° .

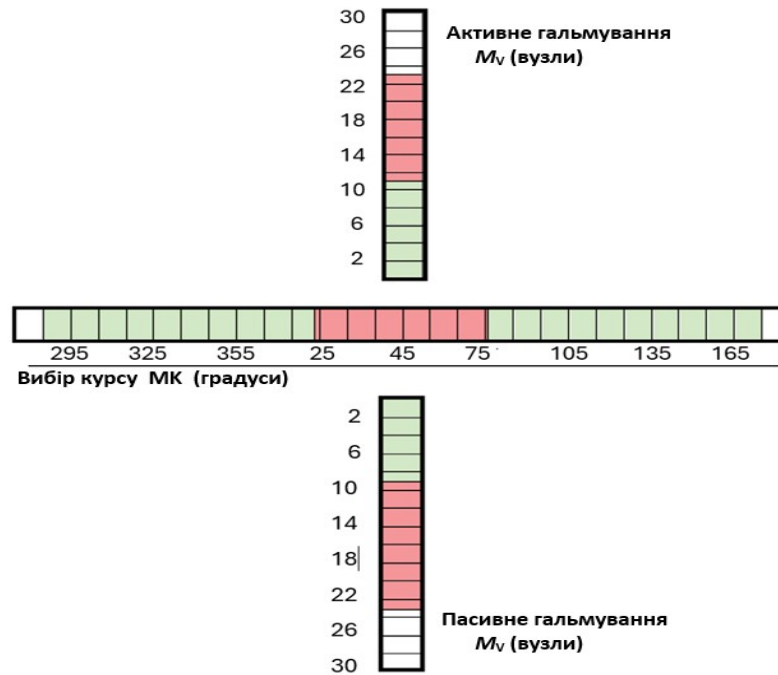


Рис. 3.5. Відображення наборів M_K та M_V

Набір дозволених траєкторій ухилення, що залишився, показаний зеленим кольором. Установка M_V на активне гальмування відображається вертикальним червоним сегментом. У цьому випадку межі набору становлять 23 вузли і 11 вузлів, таким чином, M_V [11, 23]. Вертикальна червона смуга внизу являє собою налаштування M_V у разі пасивного гальмування. Межі набору пасивного гальмування M_V – 23 вузли та 9 вузлів, M_V =[9, 23].

На рис. 3.6 обрано маневр ухилення коригування курсу. Оптимальний курс, який з допомогою смуги прокрутки, є поворот ліворуч, тобто до лівої межі набору M_K , що дорівнює $K_V=23^\circ$.

На рис. 3.7 показані справжні та відносні траєкторії ухилення, позначені червоним та зеленим відповідно для даного курсу ухилення. Відносна траєкторія ухилення є дотичною до кола, що підтверджує оптимальність обраної траєкторії ухилення.

На рис. 3.8 показаний поворотний маневр ухилення праворуч, на оптимальний курс $K_Y=76^\circ$ правій межі сегмента M_K .

На рис. 3.9 показані істинна (червона) і відносна (зелена) траєкторії ухилення для обраного курсу ухилення праворуч, причому відносна траєкторія ухилення проходить по дотичній кругової області, як видно на рис. 3.9.

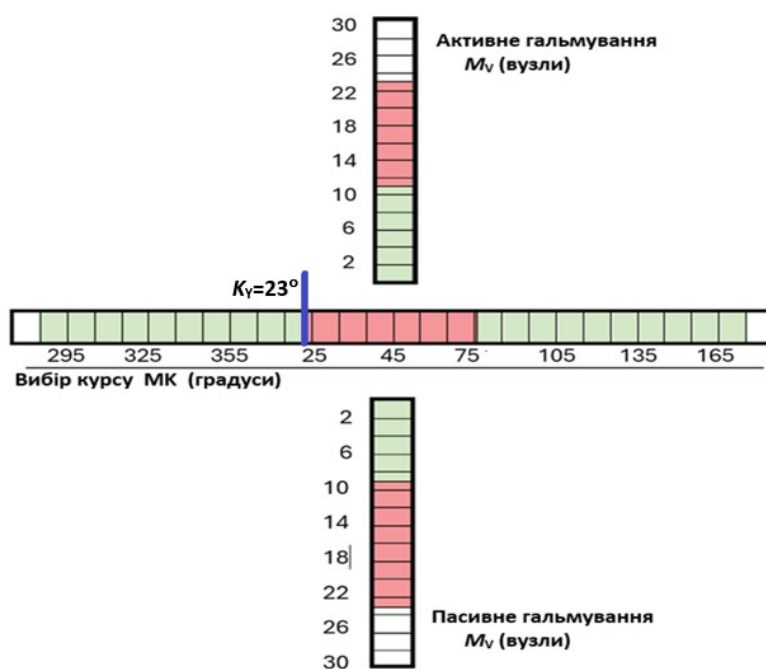


Рис. 3.6. Вибір траєкторії ухилення з відворотом ліворуч

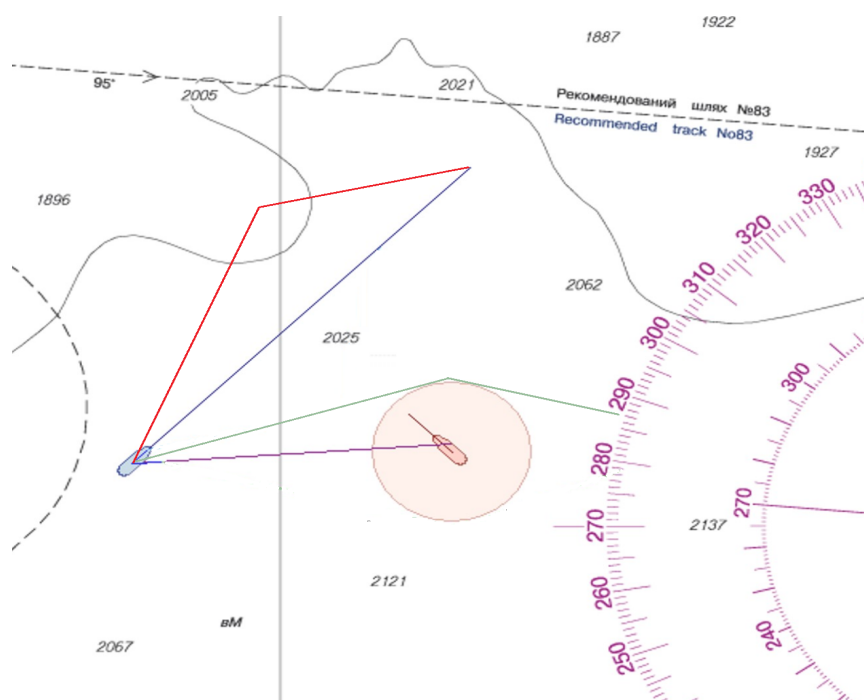


Рис. 3.7. Траєкторія руху судна за рахунок коригування курсу ліворуч

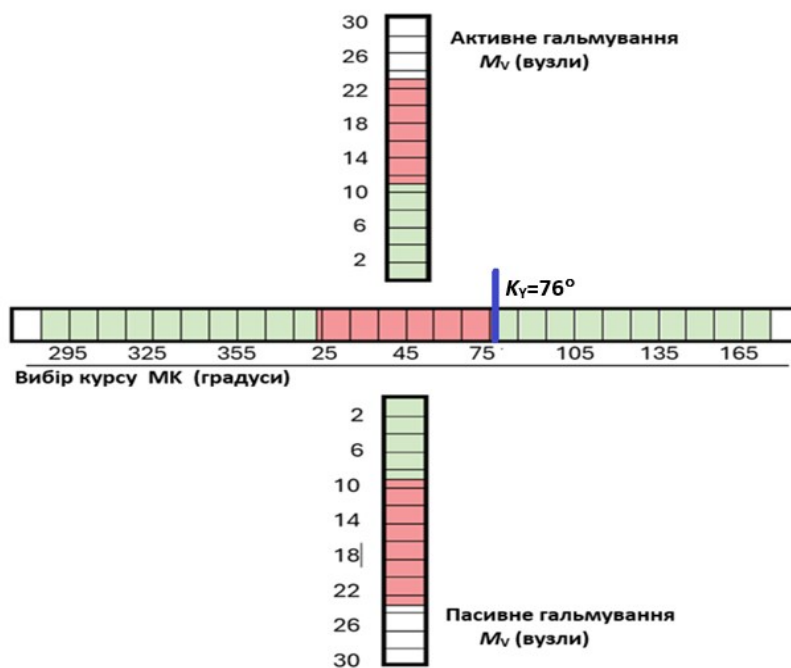


Рис. 3.8. Вибір траєкторії ухилення з відворотом праворуч

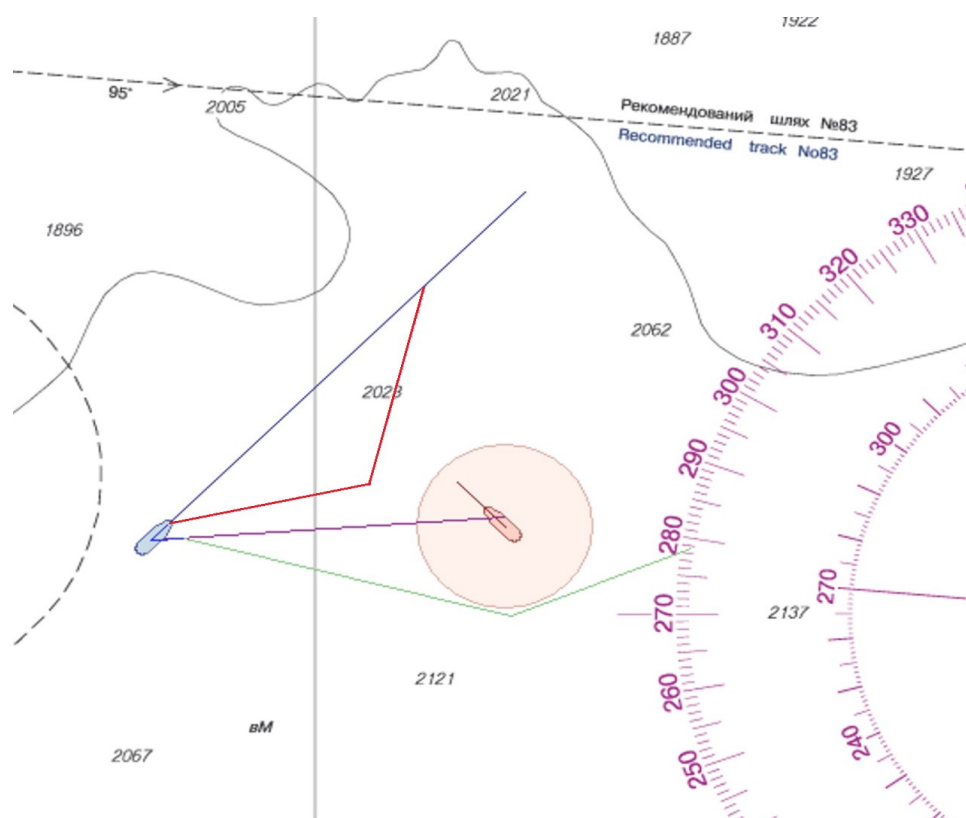


Рис. 3.9. Траєкторія руху судна за рахунок коригування курсу праворуч

Під час визначення маневру ухилення з використанням активного гальмування слід обирати процедуру зниження швидкості на верхній вертикальній ділянці, щоб досягти оптимальної швидкості гальмування $V_Y=11$ вузлів. Правомірність вибору оптимального значення швидкості перевіряється шляхом перевірки траєкторії відносного ухилення, як показано на рис. 3.10. Слід зазначити, що траєкторія відносного ухилення після гальмування є дотичною до межі безпеки судна, що підтверджує оптимальність обраного значення швидкості ухилення.

Під час здійснення маневру ухилення з пасивним гальмуванням слід обирати швидкість нижньої вертикальної ділянки. Оптимальна швидкість пасивного гальмування становила $V_Y=9$ вузлів. Результати перевірки вибору оптимальної швидкості ухилення шляхом пасивного гальмування представлені на рис. 3.11, на якому показана відносна траєкторія ухилення, що стосується кругової області, що підтверджує, що обрана швидкість ухилення оптимальна для запобігання зіткнень.

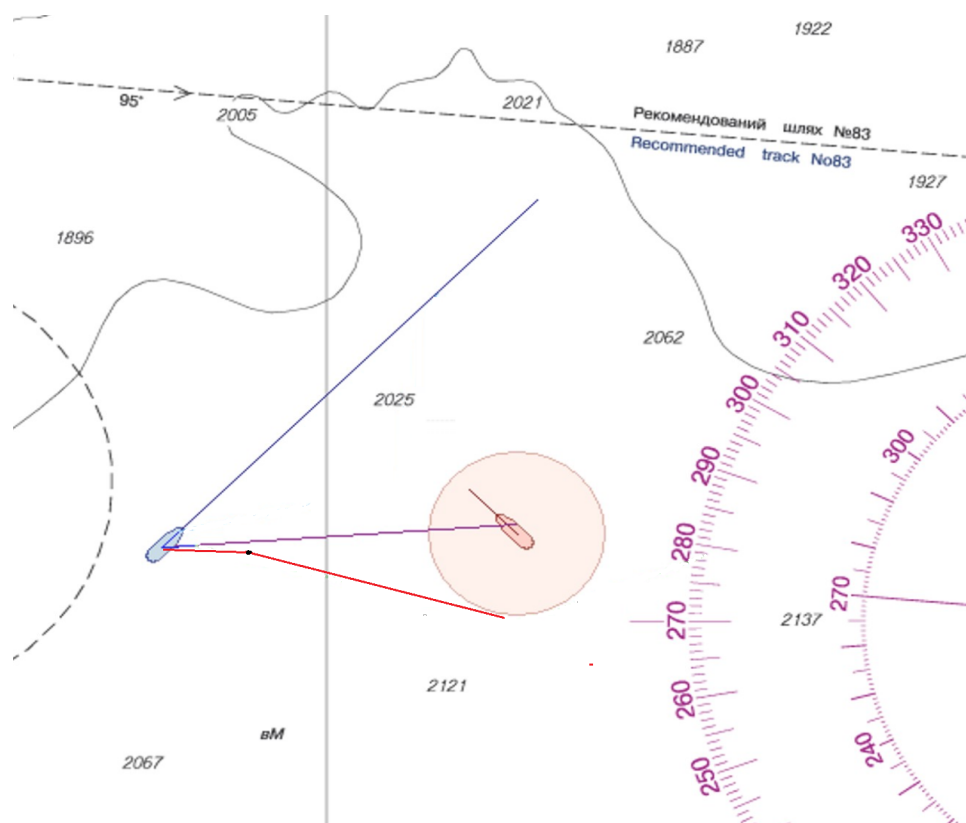


Рис. 3.10. Траєкторія руху судна при активному гальмуванні

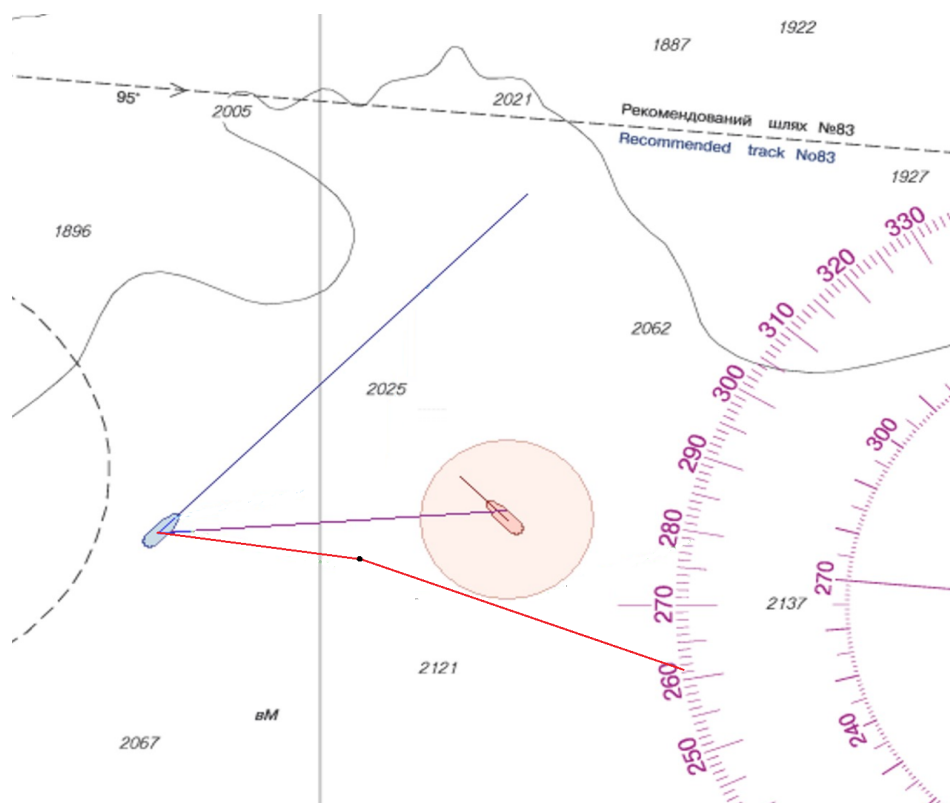


Рис. 3.11. Траєкторія руху судна при пасивному гальмуванні

Запропонована методика вибору оптимального маневру ухилення, яка включає корекцію курсу та зниження швидкості, відрізняється від існуючих підходів тим, що враховує неприпустимі значення цих параметрів. Це дозволяє швидко визначити відповідний маневр для запобігання зіткненням у закритих водах, тим самим мінімізуючи ризики. Аналітичні вирази до розрахунку меж неприпустимих значень курсу і швидкості які допомагають обрати оптимальний маневр, так і обґрунтовують його придатність в умовах, що склалися. Цю методику можна ефективно використовувати разом із технологіями ІАД, який, ґрунтуючись на даних параметрах, може автоматично генерувати рекомендації для маневрування, збільшуючи таким чином безпеку та ефективність навігації.

3.5. Формалізація вимог МПЗЗС-72, та урегулювання вибору маневрів розходження груп суден

З метою погодження маневрів розходження двох суден у МПЗЗС-72 передбачено логічну систему, яка враховує стан видимості. У разі хорошої видимості взаємні обов'язки пари суден поділені залежно від їх статусу (до яких відносяться судна з механічним двигуном, вітрильні судна, рибальські судна, судна, скуті своєю осадкою, судна, скуті в можливості маневрувати, судна, що не можуть управлятися) та характеристик ситуації зближення. Під час зниження видимості вимоги МПЗЗС-72 не передбачають взаємних обов'язків суден – регламентуються дії лише судна, що оперує [118-120].

Розглянемо вимоги МПЗЗС-72 для хорошої видимості. Насамперед зазначимо, що в цьому випадку вимоги полягають у необхідності маневрування кожним із суден для запобігання зіткненню. Іноді вказується необхідна сторона ухилення судна під час маневру. Тому з погляду формалізації вимог МПЗЗС-72 для хорошої видимості доцільно розглянути для кожного судна характеристику необхідності маневрування Man_1 та Man_2 , а також характеристику необхідної сторони ухилення судна Trn_1 та Trn_2 .

Очевидно, що характеристики Man_1 та Man_2 можуть набувати лише двох значень, а саме: 1 – за необхідності маневрування та 0 – у разі необхідності зберігати свої параметри руху. Характеристики Trn_1 та Trn_2 мають три значення, а саме 1 – дозволено ухилення праворуч, 2 – дозволено ухилення ліворуч та 3 – дозволено ухилення в обидві сторони (праворуч та ліворуч).

Характеристики Man_1 , Man_2 , Trn_1 та Trn_2 , що відображають вимоги МПЗЗС-72 для хорошої видимості, є виходом формальної системи МПЗЗС-72, яку позначимо F . Таким чином, вихід Y формальної системи МПЗЗС-72 можна представити у вигляді

$$Y = \{Man_1, Man_2, Trn_1, Trn_2\}.$$

Аналізуючи МПЗЗС-72, робимо висновок, що входом X системи F є ситуація небезпечного зближення суден S_d , яка визначається пеленгом α та дистанцією D між суднами, їх параметрами руху (швидкостями та курсами першого V_1, K_1 та другого V_2, K_2) та статусами r_1, r_2 . Тому можна записати $Y=F(X)$, де система F є відображенням безлічі ситуацій небезпечного зближення суден у безліч характеристик вимог МПЗЗС-72, тобто:

$$\{Man_1, Man_2, Trn_1, Trn_2\} = F(D, \alpha, V_1, V_2, K_1, K_2, r_1, r_2).$$

Множину всіх можливих ситуацій S , що залежать від перелічених параметрів, позначимо через Mn . Оскільки ситуація небезпечного зближення суден S_d можлива лише при їх зближенні, то з множини Mn слід виділити підмножину Mn_1 ситуацій зближення – $Mn_1 \subset Mn$. Очевидно, підмножина Mn_1 містить підмножину Mn_2 ситуацій небезпечного зближення S_d – $Mn_2 \subset Mn_1$, для яких характерно, що прогнозована дистанція найкоротшого зближення менша $D_{\min}$ від гранично допустимої дистанції зближення D_d .

Ситуації S_d , як елементи підмножини Mn_2 , повинні задовольняти умову зближення U_1 та умови U_2 того, що зближення є небезпечним. Умова зближення U_1 залежить від зменшення дистанції D між суднами, тобто $D \rightarrow 0$, а умові U_2 відповідає нерівність $D_{\min} < D_d$.

Отримане за допомогою виконання умов U_1 та U_2 підмножина ситуацій небезпечного зближення містить різні ситуації, що відповідають різним правилам МПЗЗС-72. Насамперед підмножина Mn_2 містить підмножину ситуацій обгону Mn_{ob} , у яких немає значення істотного статусу суден. У цій ситуації судно може бути таким, що обганяється або таким, що обганяє. Тому підмножина ситуацій обгону Mn_{ob} є об'єднанням підмножини ситуацій Mn_{ob}^1 ,

коли судно є таким, що обганяє, та підмножини ситуацій Mn_{ob}^2 , коли судно є таким, що обганяється, тобто.

$$Mn_{ob} = Mn_{ob}^1 \cup Mn_{ob}^2.$$

Відповідно до МПЗЗС -72 судном, яке обганяє у ситуації небезпечного зближення називається судно, що знаходиться у секторі видимості кормового вогню судна з яким зближується, тобто на $22,5^\circ$ ($2\pi/16$ або 2 румба) позаду траверзу.

Знайдемо умову U_3 , яка визначає ситуацію обгону. Для цього необхідно знати курс судна, що обганяє K_1 , курс судна, що обганяється K_2 та пеленг із судна, що обганяє на судно, що обганяється α .

У ситуації, яка наведена на рис. 3.12, а, судно 1, є таким, що обганяє.

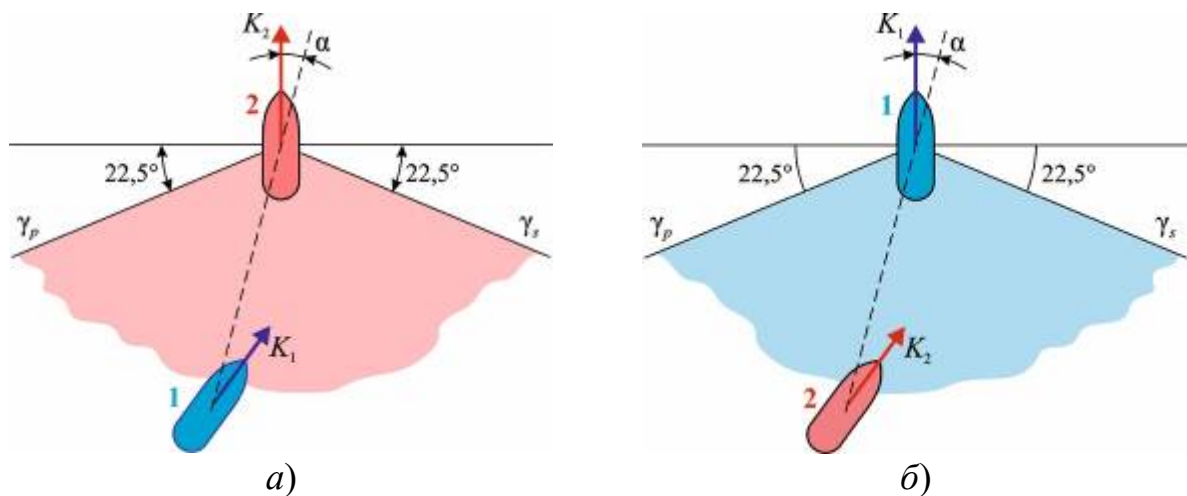


Рис. 3.12. Ситуації обгону:

а – 1 – судно, що обганяє, 2 – судно, що обганяється;

б – 1 – судно, що обганяється, 2 – судно, що обганяє

Така ситуація має місце, коли зворотний пеленг $\alpha + \pi$ укладено між напрямками γ_s і γ_p , що визначають межі видимості кормового вогню, причому

$$\gamma_s = K_2 + \pi - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8} \right), \quad \gamma_p = K_2 + \pi + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8} \right).$$

Аналітично ця ситуація виникає, коли одночасно виконуються умови

$$\sin(\alpha + \pi - \gamma_s) > 0 \text{ та } \sin(\gamma_p - \alpha - \pi) > 0.$$

Якщо в останні нерівності підставити вирази для γ_s і γ_p , то отримаємо умову U_3 для підмножини ситуацій обгону Mn_{ob}^1 , якщо судно 1 обганяє судно 2

$$\sin\left(\alpha - K_2 + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right)\right) > 0, \text{ та } \sin\left(K_2 + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right) - \alpha\right) > 0.$$

На рис. 3.12, б показана ситуація, коли судно 1 є таким, що обганяється судном 2. У цьому випадку пеленг α знаходиться між напрямками γ_s і γ_p , та

$$\gamma_s = K_1 + \pi - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right), \quad \gamma_p = K_1 + \pi + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right)$$

Умовою виникнення такої ситуації є справедливості нерівностей

$$\sin(\alpha - \gamma_s) > 0 \text{ та } \sin(\gamma_p - \alpha) > 0.$$

Таким чином, умова U_3 для підмножини ситуацій обгону Mn_{ob}^2 , якщо судно є таким, що обганяється:

$$\sin\left(\alpha - K_1 - \left(\pi - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right)\right)\right) > 0 \text{ та } \sin\left(K_1 + \left(\pi + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}\right)\right) - \alpha\right) > 0.$$

Усі інші ситуації небезпечного зближення, крім ситуацій обгону, враховують статуси суден, що зближуються, r_1 і r_2 , причому вони складають підмножину Mn_r . Вочевидь, що

$$Mn_r = Mn_2 / Mn_{ob}.$$

Для встановлення відносини пріоритету в МПЗЗС-72 всі судна поділяються на шість рівнів, упорядкованих послідовності пріоритету: судна з механічним двигуном, вітрильні судна, рибальські судна, судна, скуті своєю осадкою, судна, скуті в можливості маневрувати, судна, що не можуть управлятися.

Якщо судна відносяться до одного рівня, то призначення пріоритетів передбачено лише для рівнів: суден з механічним двигуном і вітрильних суден (правила 12, 14 та правило 15 МПЗЗС-72), причому тільки в цьому випадку є вимоги та рекомендації щодо вибору сторони ухилення під час розходження.

Тому підмножина ситуацій Mn_r складається з трьох підмножин: Mn_r^d – судна з різними статусами, Mn_r^1 – судна з механічним двигуном та Mn_r^2 – вітрильні судна. Умова U_4 належності ситуації небезпечного зближення підмножині Mn_r^d виражається співвідношенням $r_1 \neq r_2$, умова U_5 визначає підмножину Mn_r^1 ситуацій небезпечного зближення суден із механічним двигуном і характеризується співвідношенням $r_1 = r_2 = 1$. Підмножину Mn_r^2 небезпечного зближення двох вітрильних суден не розглядатимемо, вважаючи, що транспортне судно не є вітрильним.

Розглянемо підмножину Mn_r^1 ситуацій небезпечного зближення суден із механічним двигуном, які характеризуються правилами 14 і 15 МПЗЗС-72, тобто зближення суден на протилежних курсах та курсах, що перетинаються. Очевидно, підмножина Mn_r^1 містить підмножини Mn_{op} ситуацій зближення суден на протилежних курсах та Mn_{cr} ситуацій зближення суден на курсах, що перетинаються, тобто $Mn_{op} \subset Mn_r^1$ та $Mn_{cr} \subset Mn_r^1$.

Визначимо умову U_6 належності ситуації небезпечного зближення підмножини Mn_{op} , скориставшись схемою, що наведена на рис. 3.13.

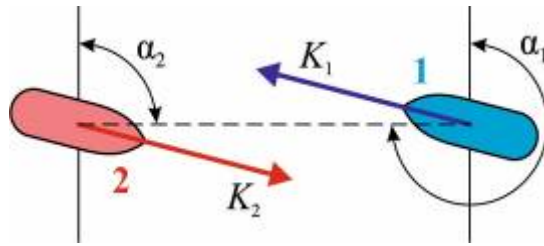


Рис. 3.13. Ситуація зближення суден, що рухаються протилежними або майже протилежними курсами

Протилежними або майже протилежними курсами суден, що зближуються, вважатимемо такі, які відрізняються не більше 5° від пеленга, причому це справедливо для обох суден. Як впливає з рис. 3.13, для цього необхідно, щоб одночасно виконувались нерівності:

$$(\alpha_1 - K_1) \leq 5^\circ \text{ та } (\alpha_2 + \pi - K_2) \leq 5^\circ ;$$

де α_1, α_2 – пеленг з одного судна на інше.

Ця умова має такий математичний вираз:

$$\cos(\alpha_1 - K_1) \leq \cos 5^\circ \text{ та } \cos(\alpha_2 + \pi - K_2) \leq \cos 5^\circ ,$$

що і є умовою U_6 .

Умова U_7 належності ситуації небезпечного зближення підмножині Mn_{cr} , представлена на рис. 3.14.

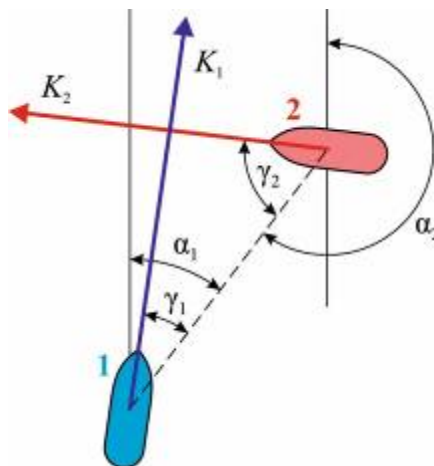


Рис. 3.14 Ситуація небезпечного зближення суден на курсах, що перетинаються

У ситуації зближення суден, що рухаються на курсах, які перетинаються, їх курсові кути γ_1 і γ_2 мають протилежні знаки, тобто

$$\sin \gamma_1 \sin \gamma_2 < 0.$$

Враховуючи, що

$$\gamma_1 = \alpha_1 - K_1, \quad \gamma_2 = K_2 - \alpha_2$$

умова U_7 характеризуватиметься такою нерівністю

$$\sin(\alpha_1 - K_1) \cdot \sin(K_2 - \alpha_2) < 0.$$

При цьому судно 2 знаходиться праворуч або ліворуч від напрямку руху судна 1, тому підмножина Mn_{cr} містить підмножину ситуацій Mn_{crs} , коли судно 2 знаходиться праворуч від судна 1 і підмножину Mn_{crp} , коли судно 2 рухається ліворуч від судна 1. Очевидно, якщо виконується нерівність $\sin(\alpha_1 - K_1) > 0$, то судно 2 знаходиться праворуч від судна 1. У протилежному випадку судно 2 знаходиться ліворуч від судна 1. Отже, умова U_8 належності ситуації небезпечного зближення S_d підмножин Mn_{crs} або Mn_{crp} визначається знаком виразу $\sin(\alpha_1 - K_1)$. Причому, якщо $\sin(\alpha_1 - K_1) > 0$, то $S_d \in Mn_{crs}$, у випадку, коли $\sin(\alpha_1 - K_1) < 0$ має місце $S_d \in Mn_{crp}$.

Як раніше зазначалося, за зниженої видимості згідно з Правилем 19 МПЗЗС-72 не передбачається взаємних обов'язків суден – регламентуються дії тільки судна, що оперує. Тому відображення безлічі ситуацій небезпечного зближення суден у множину характеристик вимог МПЗЗС-72 для зниженої видимості з урахуванням відсутності відмінності суден за статусом має вигляд:

$$\{Man_1 = 1, Trn_1\} = F(D, \alpha, V_1, V_2, K_1, K_2).$$

Значення сигналу ухилення судна Trn_1 залежать від початкової відносної позиції суден, що зближуються. Причому є підмножини ситуацій, у яких обмежуються курси ухилення судна. Для підмножини ситуацій Mn_{v1} , коли перешкода знаходиться попереду траверза судна і не обганяється, не рекомендується зміна курсу судна ліворіч. Для ситуацій, коли перешкода знаходиться на траверзі або за траверзом судна, не можна змінювати курс судна у бік цілі, що означає вимогу неприпустимості ухилення судна праворіч, якщо курсовий кут на перешкоду дорівнює 90° або більше і позитивний, чому відповідає підмножина ситуацій Mn_{v2} . Якщо ж курсовий кут від'ємний і дорівнює 90° або більше, то неприпустима зміна курсу судна ліворіч. Підмножина таких ситуацій позначено Mn_{v3} . Для інших ситуацій, що становлять підмножину Mn_{v4} , немає обмежень на бік ухилення судна.

Таким чином, в умовах зниженої видимості підмножина ситуацій небезпечного зближення розбивається на чотири підмножини $Mn_{v1} \dots Mn_{v4}$. Для кожної з підмножин необхідно записати умову її реалізації $U_{v1} \dots U_{v4}$ і значення сигналу ухилення судна Trn_1 .

Умовою належності ситуації небезпечного зближення до підмножини Mn_{v1} є, по-перше, розташування перешкоди попереду траверзу судна

$$\cos(\alpha - K_1) > 0,$$

і судно не повинне бути обганяючим

$$\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - K_2\right) < 0, \sin\left(K_2 + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - \alpha\right) < 0.$$

Тому умова U_{v1} полягає в одночасному виконанні співвідношень:

$$\cos(\alpha - K_1) > 0, \quad \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - K_2\right) < 0, \quad \sin\left(K_2 + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - \alpha\right) < 0.$$

При цьому сигнал ухилення судна $Trn_1 = 1$.

Ситуація небезпечного зближення належить до підмножини Mn_{v2} у разі, коли перешкода знаходиться на траверзі або позаду траверза

$$\cos(\alpha - K_1) \leq 0$$

і курсовий кут на перешкоду дорівнює 90° або більше і позитивний

$$\sin(\alpha - K_1) > 0.$$

Тому умова U_{v2} передбачає одночасне виконання нерівностей:

$$\cos(\alpha - K_1) \leq 0 \text{ та } \sin(\alpha - K_1) > 0.$$

У цьому випадку $Trn_1 = 2$.

Аналогічно знаходиться умова U_{v2} :

$$\cos(\alpha - K_1) \leq 0 \text{ та } \sin(\alpha - K_1) > 0.$$

якій відповідає $Trn_1 = 1$.

Якщо має місце підмножина ситуацій Mn_{v4} , тобто перешкода знаходиться попереду траверза судна

$$\cos(\alpha - K_1) > 0$$

і обганяється, а судно обганяє

$$\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - K_2\right) > 0, \quad \sin\left(K_2 + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - \alpha\right) > 0,$$

то умова U_{V4} приналежності ситуації небезпечного зближення до підмножини Mn_{V4} визначається наступними виразами:

$$\cos(\alpha - K_1) > 0, \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - K_2\right) > 0, \sin\left(K_2 + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - \alpha\right) > 0.$$

Значення сигналу ухилення судна $Trn_1 = 3$.

У таблиці 3.1 представлені формалізовані вимоги МПЗЗС-72 до характеристики маневру розходження, у ній для кожного правила стандартного маневру розходження ухиленням зазначаються умови реалізації ситуації відповідного правила та характеристики маневру розходження.

Таблиця 3.1

Формалізація вимог МПЗЗС-72

Ситуації, умови реалізації та відповідне Правило	Характеристики маневру
Ситуація обгону, судно що обганяє $\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - K_2\right) > 0,$ $\sin\left(K_2 + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} - \alpha\right) > 0,$ Правило 13	$Man_1 = 1,$ $Trn_1 = 3,$ $Man_2 = 0$
Ситуація обгону, судно що обганяється $\sin\left(\alpha + \pi - \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{8} - K_1\right) > 0,$ $\sin\left(K_1 + \pi + \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{8} - \alpha\right) > 0,$ Правило 13	$Man_1 = 0,$ $Trn_2 = 3,$ $Man_2 = 1$
Судна з різним статусом $r_1 > r_2,$ Правило 18	$Man_1 = 0,$ $Trn_2 = 3,$ $Man_2 = 1$
Протилежні зустрічні курси, $\cos(\alpha - K_1) \leq \cos 5,$ $\cos(\alpha + \pi - K_2) \leq \cos 5,$ Правило 14	$Man_1 = 1,$ $Trn_1 = 1,$ $Man_2 = 1,$ $Trn_2 = 1$

Закінчення таблиці 3.1

Ситуації, умови реалізації та відповідне Правило	Характеристики маневру
Курси, що перетинаються, перешкода праворуч $\sin(\alpha - K_1)\sin(\alpha + \pi - K_2) < 0$, $\sin(\alpha - K_1) > 0$, Правило 15	$Man_1 = 1$, $Trn_1 = 1$, $Man_2 = 0$
Курси, що перетинаються, перешкода ліворуч $\sin(\alpha - K_1)\sin(\alpha + \pi - K_2) < 0$, $\sin(\alpha - K_1) < 0$, Правило 15,16,17	$Man_1 = 0$, $Trn_1 = 1$, $Man_2 = 1$

3.6. Висновки з розділу 3

У результаті досліджень, виконаних у третьому розділі, зробимо такі висновки.

1. Параметрами, що характеризують безпечне розходження суден при надмірному зближенні є відносний курс і відносна швидкість. Визначення їх значень можливе за параметрами справжнього руху групи суден.

2. Вибору оптимальних маневрів ухилення у ситуаціях надмірного зближення суден сприяють оперативні методології з метою оцінки ризиків та аналізу траєкторій зближення суден. При цьому розроблена аналітична методика забезпечує точне визначення критичних часових інтервалів, необхідних для запобігання зіткненням.

3. Визначення аналітичних виразів для розрахунку меж неприпустимих значень параметрів маневру ухилення значно спрощує процес вибору найбільш ефективної дії в обставинах, що склалися. Крім того, запропонований метод управління передбачає інтеграцію із сучасними технологіями моніторингу та контролю, що дозволяє не тільки запобігти

безпосереднім зіткненням, а й оптимізувати маршрути руху суден, знижуючи ризики та підвищуючи загальну безпеку судноплавства.

4. Запропонований підхід до управління рухом ґрунтується на використанні аналітичних моделей, що враховують специфічні умови зближення, та відрізняється впровадженням коригування курсу та швидкості залежно від поточної ситуації.

5. Синтез розробленої методики з технологіями інтелектуального аналізу відомостей забезпечує можливість автоматичного прийняття рішень на основі даних аналітичних розрахунків, що є критично важливим для підтримки високого рівня безпеки в складних та динамічно змінюваних навігаційних умовах. Такий підхід сприяє підвищенню точності у реалізації маневрів, мінімізації ризиків зіткнень та покращенню загальної навігаційної безпеки на морі.

6. Виконання вказаних умов дозволяє ІАД визначити критичні змінні та умови, які необхідно враховувати для ефективного прогнозування та оптимізації навігаційних рішень у складних та динамічних морських умовах.

РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ПІД ЧАС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЇ ТА МАНЕВРУВАННЯ СУДЕН МОРСЬКОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

У сучасному контексті інтелектуальний аналіз даних відіграє істотну роль у морській навігації, являючи собою не тільки потужний інструмент, але й важливий компонент безпеки судноплавства. Технології та можливості ІАД можуть бути застосовані для аналізу складних ситуацій на морі та прийняття стратегічних рішень у реальному часі, включаючи вибір оптимального маневру розходження судна відповідно до МПЗЗС-72. Імітаційне моделювання, що використовує ІАД для вибору стандартного маневру розходження судна з урахуванням МПЗЗС-72, може активно використовуватися під час забезпечення безпеки судноплавства. Цей процес може бути реалізований із застосуванням передових методів машинного навчання та математичних алгоритмів обробки даних, які забезпечують аналіз великих обсягів інформації та прийняття обґрунтованих рішень на основі наданих відомостей. Використання ІАД у рамках імітаційного розрахункового моделювання дозволяє відображати різні сценарії навігації з огляду на різноманітні фактори, такі як погодні умови, щільність трафіку та особливості конкретних суден. Це дозволяє навігаційному офіцерові та системам керування судном приймати обґрунтовані рішення в реальному часі, мінімізуючи ризики зіткнень та забезпечуючи безпеку судноплавства. Таким чином, застосування ІАД в імітаційному розрахунковому моделюванні для вибору маневру розходження судна з урахуванням МПЗЗС-72 є важливою складовою в сучасній морській навігації, що сприяє підвищенню безпеки навігаційних переходів та ефективності експлуатації морського транспорту.

4.1. Аналіз доцільності використання інтелектуального аналізу даних у процесі навігації та маневрування суден

Використання технологій ІАД під час навігації та маневрування суден у морі є перспективним напрямком вивчення для забезпечення безпеки та ефективності морського транспорту. ІАД демонструє високий потенціал у швидкому та точному аналізі ситуацій для попередження зіткнень, виявлення небезпечних умов і розробки оптимальних маршрутів, що сприяє забезпеченню безпеки судноплавства. Використання ІАД також сприяє економії палива та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище, оптимізуючи енергоефективність суден. Крім того, технологія ІАД може бути використана для розвитку систем автономного керування, що робить його корисним у випадках, коли людський екіпаж обмежений або недоступний. Аналіз даних, здійснюваний за допомогою ІАД, дозволяє виявляти тренди та закономірності, що сприяє прийняттю кращих рішень щодо навігації та маневрування.

Забезпечення безпечного маневрування судна значною мірою залежить від своєчасного виявлення ситуації надмірного зближення та оперативного вибору правильного маневру ухилення. Виявлення та вибір маневру ухилення на судах морського транспорту є фундаментальною навичкою та здібністю для навігаційного офіцера. Для координації маневрів розходження двох суден у МПЗЗС-72 запроваджено логічну систему, яка враховує стан видимості. У разі сприятливої видимості взаємні обов'язки пари суден розподіляються залежно від їхнього статусу і характеристики обставин їх наближення, як показано на рис. 4.1. Під час зниження видимості вимоги МПЗЗС-72 не передбачають взаємної відповідальності суден і регламентуються лише діями керманіча судна. Навігаційний офіцер повинен своєчасно визначити ситуацію наближення та вжити відповідних заходів для запобігання зіткненню суден.

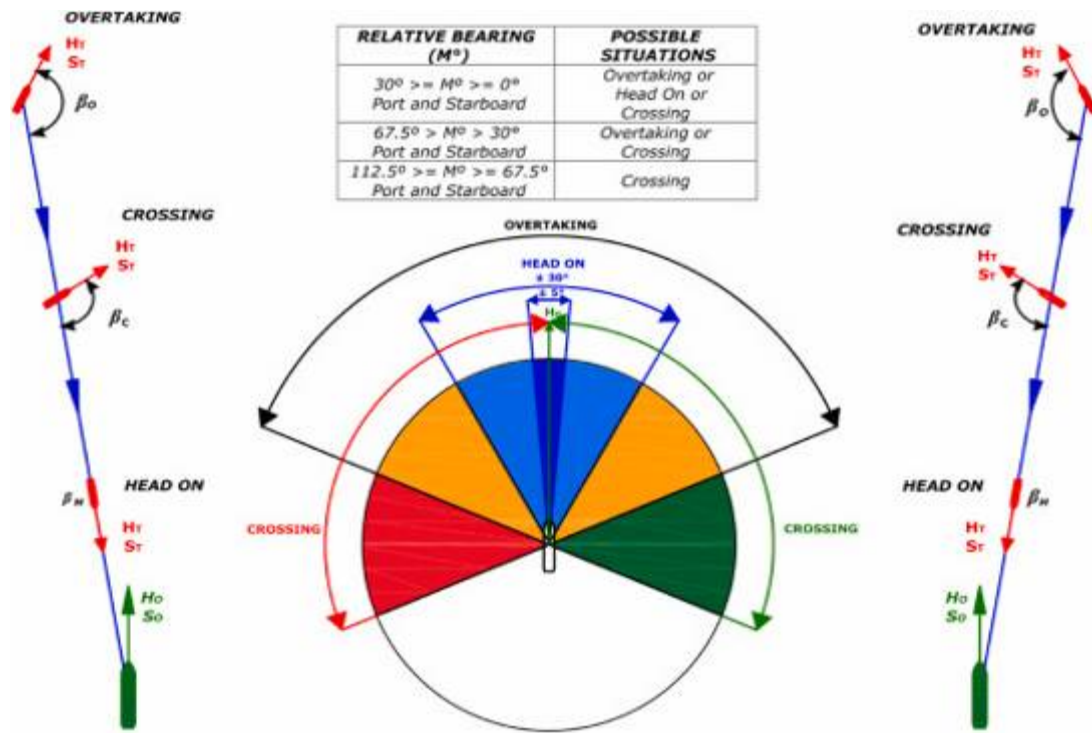


Рис. 4.1. Основні ситуації маневрування суден відповідно до МПЗЗС-72, які знаходяться на виду одне в одного

Згідно з даними Європейського агентства з безпеки на морі та їх щорічним оглядом морських аварій та інцидентів на морі за 2014...2023 роки [121], як показано на рис. 4.2, найбільший відсоток зареєстрованих морських аварій та інцидентів відбувся у зоні «Внутрішніх вод» 51,5 %, за якою йдуть «Територіальні моря» з 24,3 % і «Відкрите море» з 20,8 %. Крім того, підкатегорія «Внутрішні води – портова зона» була територією з більшою кількістю випадків. Ці статистичні відомості можуть свідчити про те, що через збільшення інтенсивності руху суден, особливо в прибережних районах, навігаційному офіцерові часто не вистачає часу для проведення своєчасного аналізу ситуацій, провести визначення пріоритетної цілі та забезпечити безпечний та своєчасний маневр з іншими суднами.

Незважаючи на посилення контролю за безпекою судноплавства з боку систем управління руху суден, удосконалення системи управління безпекою компанії та регулярні курси підвищення кваліфікації для штурманів, зіткнення суден продовжують відбуватися і часто призводять до серйозних екологічних, фінансових і, перш за все небезпечних для життя наслідків.

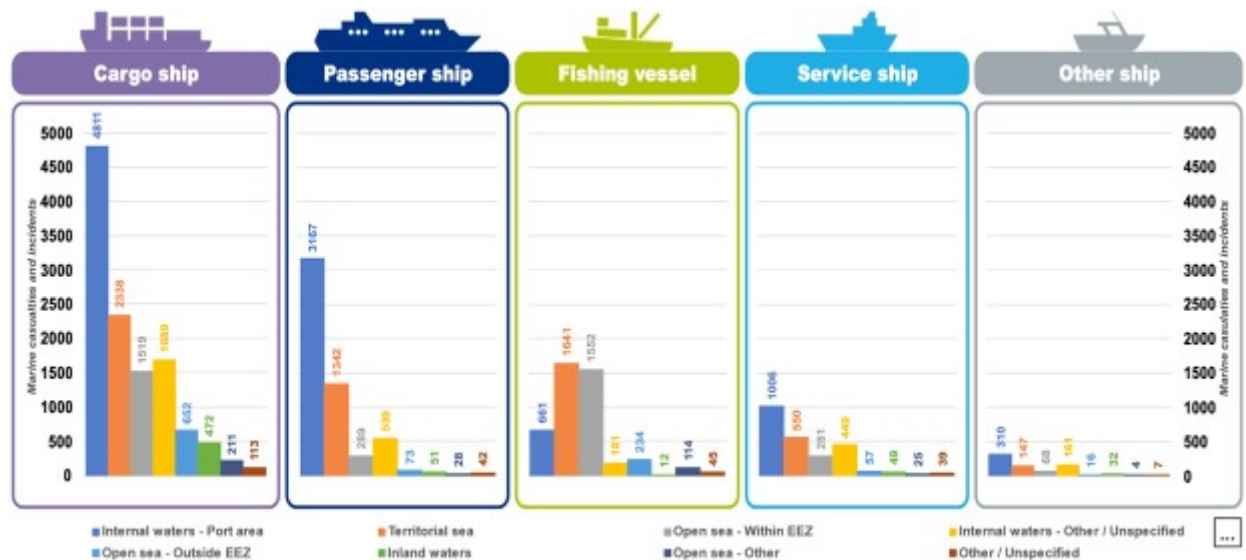


Рис. 4.2. Морські аварії та інциденти за період 2014...2023 рр., упорядковані за районом плавання та типом судна

Відсоток інцидентів на судах за період з 2014 по 2023 рік, представлений на Європейській платформі інформації про нещасні випадки на морі, як показано на рис. 4.3, людський фактор був основним із наслідків нещасних подій з 59,1 % від загальної кількості, за ним йдуть відмови системи/обладнання з 25,3 %, дії іншого судна з 8,4 %, наслідки небезпечного матеріалу з 5,3 % і невідомі з 1,9 % [122, 123].



Рис. 4.3. Відсоток аварійних подій за період 2014...2023 рр. за видами аварійних подій

Основною ідеєю впровадження ІАД та методу взаємодії ІАД з навігаційним офіцером, є зниження помилки людського фактору в ситуаціях надмірного зближення суден. ІАД відноситься до комп'ютерних систем, які можуть виконувати завдання, зазвичай пов'язані з когнітивними функціями людини. У цілому використання ІАД під час навігації та маневрування суден у морі має великий потенціал для підвищення безпеки, ефективності та стійкості морського транспорту.

4.2. Стратегія розробки персоналізованих технологій інтелектуального аналізу даних для забезпечення безпеки судноплавства суден морського та внутрішнього водного транспорту

Рациональне використання персоналізованих технологій ІАД під час навігації та маневрування суден знижує ризик виникнення надзвичайних ситуацій таких, як: небезпечне зближення суден, зіткнення суден, посадка суден на мілину, потрапляння в несприятливі погодні умови, невідповідність до екологічних вимог тощо. Цей інноваційний підхід дозволяє створити унікальні адаптивні системи навігації, які адаптуються до індивідуальних потреб та особливостей кожного судна та його екіпажу. Основні можливості роботи ІАД показані на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Можливості ІАД під час забезпечення експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту

Технологія ІАД здатна забезпечувати інформацію та аналітику, що залежать від контексту, аби допомогти капітану чи навігаційному офіцеру ухвалювати виважені рішення, виходячи з конкретних навігаційних умов і вимог критичних ситуацій.

Основні етапи створення персоналізованих технологій ІАД під час навігації включають:

1) збір усіх необхідних даних з навігації, управління судном, теорії та устрою судна, систематизацію інформації та специфікації навігаційного обладнання, метеорологічних умов, маневрених характеристик судна тощо;

2) аналіз отриманих даних з використанням методів машинного навчання та статистичних моделей для виявлення закономірностей та зразку прийняття рішень;

3) розробку моделі ІАД, яка здатна враховувати індивідуальні особливості та переваги конкретного судна;

4) тестування та навчання – розроблена модель піддається тестуванню в різних симуляторах або реальних умовах навігації з метою оцінки її

ефективності та точності, у процесі тестування ця модель може навчатися нових даних для подальшого поліпшення продуктивності;

5) інтеграція та впровадження після успішного тестування та навчання модель може бути інтегрована у навігаційні системи судна чи інші технологічні платформи для використання у реальних умовах.

В цілому, впровадження персоналізованих технологій ІАД в область навігації не тільки підвищує безпеку та ефективність судноплавства, а й забезпечує більш індивідуальний та адаптований підхід до управління судном, що відповідає сучасним вимогам судновласників та операторів суден.

4.2.1. Методологія використання машинного навчання в системах інтелектуального аналізу даних

Важливим пунктом у створенні персоналізованих технологій ІАД під час забезпечення навігації та маневрування суден морського та внутрішнього водного транспорту є детальний аналіз машинної моделі навчання. Машинне навчання під час забезпечення навігації суден – це застосування методів та алгоритмів для аналізу даних про рух суден, стан довкілля, гідрометеорологічні умови та інші фактори, що впливають на безпеку та ефективність морського транспорту [124]. Замість того, щоб програмувати наявні інструкції, комп'ютерні системи в цих випадках використовують математичні алгоритми машинного навчання на основі великих обсягів даних та виявлення шаблонів та закономірностей у цих даних. Мета ІАД полягає у навчанні системи виконувати складні завдання, які раніше вважалися доступними лише людині. Водночас головна мета машинного навчання полягає в тому, щоб навчити машини аналізувати величезні обсяги відомостей. Для цього застосовуються статистичні моделі, які допомагають

виявляти закономірності даних і робити прогнози ситуацій. Важливо, що кожен отриманий результат має вірогідність правильності чи ступінь достовірності.

Область застосування ІАД охоплює широкий спектр методів, що використовуються для вирішення різноманітних проблем. Сюди входять генетичні алгоритми, нейронні мережі, глибоке навчання, алгоритми пошуку, системи, що ґрунтуються на правилах, а також машинне навчання. Суть машинного навчання полягає в тому, що між будь-якою комбінацією вхідних та вихідних даних існує математична залежність. Модель машинного навчання передбачає знання зв'язку заздалегідь, але може її виявити, якщо є достатньо даних для навчання. Тому кожен алгоритм машинного навчання заснований на математичній функції, що змінюється. Машинне навчання ґрунтується на принципі того, що всі складні дані можуть бути математично пов'язані комп'ютерними системами за наявності достатньої кількості даних та обчислювальних ресурсів для їх обробки. Таким чином, точність вихідних даних залежить від обсягу вхідних даних. У рамках машинного навчання методи можна розділити на дві основні категорії: навчання з учителем та навчання без учителя. Алгоритми навчання з учителем використовують помічені дані (введення та виведення), щоб навчитися розв'язувати завдання. У той час, як навчання без учителя спрямоване на виявлення прихованих закономірностей даних, які не мають маркування.

Машинне навчання з учителем – це процес, у якому фахівці з аналізу даних надають алгоритмам безліч помічених навчальних даних. Ці дані містять пари вхідних та вихідних значень, які допомагають алгоритму зрозуміти кореляцію між ними. Наприклад, якщо ми навчаємо алгоритм розпізнавати ситуацію зближення суден, то надаємо йому набір параметрів зближення суден, кожне з відповідними числовими відмітками (вихідними даними), щоб алгоритм міг навчитися розпізнавати конкретні ситуації зближення відповідно до правил МПЗЗС-72. Переваги машинного навчання з учителем полягають у його простоті та структурній зрозумілості. Ця

методика корисна у випадках, коли необхідно передбачити обмежену кількість можливих результатів, розділити дані на категорії чи об'єднати результати з кількох алгоритмів машинного навчання. Наприклад, якщо необхідно класифікувати ситуації зближення суден у морі як небезпечні та не небезпечні, то можна використовувати систему машинного навчання з учителем для того, щоб навчити алгоритм розрізняти різні ситуації, посиляючись на задані параметри розходження, чи є ситуація зближення суден небезпечною чи ні.

Машинне навчання без учителя – це процес, у якому алгоритми навчання аналізують нерозмічені дані без попередніх міток чи позначок. Вони досліджують ці дані, прагнучи знайти у них важливі закономірності чи шаблони. На відміну від навчання з учителем, де дані мають явні мітки, тут алгоритми намагаються самі виявити структуру даних та згрупувати їх за схожими ознаками. Методи навчання без учителя корисні для різних завдань, таких як виявлення образів, виявлення аномалій та автоматичний поділ даних на категорії. Вони можуть бути використані для очищення даних від зайвих елементів та підготовки їх для подальшого аналізу чи моделювання. Однак, оскільки в такому навчанні дані не розмічені, він не здатний надавати точних прогнозів, а також не може передбачати конкретні типи вихідних даних без явних вказівок.

4.2.2. Методологія складання та застосування розрахункових модулів ІАД для обробки та аналізу ситуацій зближення суден морського транспорту

Одним із важливих компонентів для створення персоналізованих технологій ІАД є правильно складені розрахункові модулі, які дозволяють обробляти дані, специфічні для кожного користувача, та приймати рішення

на основі їх індивідуальних уподобань та поведінки операторів суден. Такі модулі можуть аналізувати дані про інтереси, звички та взаємодії користувача, що допомагає розробити методологію складання та застосування розрахункових модулів ІАД та адаптуватися до його потреб. Це забезпечує більш точну та ефективну роботу ІАД, дозволяючи йому пропонувати персоналізовані рекомендації, оптимізувати процеси та покращувати взаємодію з користувачем. Таким чином, коректно складені розрахункові модулі є ключовим елементом для створення ефективних та адаптивних систем ІАД, здатних задовольняти індивідуальні потреби кожного користувача. Розрахункові модулі ІАД являють собою програмні компоненти, призначені для виконання складних обчислювальних завдань та прийняття рішень на основі аналізу даних. Вони можуть обробляти великі обсяги інформації, аналізувати її, виявляти закономірності та аномалії, а також використовувати ці дані для прогнозування майбутніх трендів та подій.

Одним із ключових аспектів роботи модулів є їхня здатність автоматизувати рутинні та складні завдання, такі як оптимізація процесів та управління ресурсами. Це допомагає знизити навантаження на людський фактор та підвищити ефективність. Розрахункові модулі також можуть застосовувати методи оптимізації, дозволяючи знаходити оптимальні рішення та мінімізувати витрати. Завдяки можливостям самонавчання модулі здатні покращувати свої алгоритми на основі нових даних, що підвищує точність їх прогнозів та рішень.

Технології ІАД містять кілька основних розрахункових модулів, за допомогою якого проводяться розрахунки параметрів маневру розходження. Основними функціями такого модуля є:

- 1) розрахунок траєкторії – модуль може обчислювати оптимальну траєкторію руху, враховуючи поточне положення, цілі, перешкоди та інші обмеження;

2) визначення параметрів маневру – на основі заданих параметрів, таких як кут повороту, швидкість, прискорення тощо, модуль може визначати необхідні параметри для виконання маневру розходження;

3) прогнозування траєкторії інших суден – модуль може аналізувати рух інших суден та передбачати їх майбутні позиції, що допомагає уникати зіткнень та планувати безпечні маневри;

4) управління виконавчими пристроями – отримані параметри маневру можуть бути передані виконавчим пристроям (наприклад, двигунам, кермовим механізмам), щоб здійснити потрібну зміну траєкторії;

5) корекція маневрів – модуль може безперервно коригувати параметри маневру в реальному часі на основі зворотного зв'язку від датчиків і умов навколишнього середовища, що змінюються.

Правильно складений вихідний розрахунковий модуль відіграє важливу роль у забезпеченні ефективної роботи ІАД та у досягненні мінімізації ризику зіткнення суден.

4.3. Оцінка ризиків під час використання інтелектуального аналізу даних

Одним із важливих елементів ефективних систем управління є систематичний підхід до ідентифікації небезпек та оцінки пов'язаних ризиків з метою надання інформації для сприяння прийняттю рішень щодо необхідності впровадження заходів зі зменшення ризиків [125]. Процес оцінки ризиків призначений для ретельного вивчення того, що стосується будь-якої діяльності та може завдати шкоди, щоб можна було прийняти рішення щодо того, чи було вжито достатніх запобіжних заходів, чи потрібно зробити більше, щоб запобігти шкоді.

Під час використання ІАД на судах морського транспорту важливо також аналізувати ризики, пов'язані із застосуванням технологій ІАД. Серед таких ризиків можуть бути питання конфіденційності, безпеки даних, етичні аспекти та можливість помилкових рішень, прийнятих на основі хибних алгоритмів ІАД. Системи управління повинні враховувати ці ризики та розробляти відповідні заходи для їх мінімізації, забезпечуючи таким чином не тільки ефективність, але й безпеку впровадження ІАД під час використання на судах морського транспорту. Процес управління ризиками, спрямований на обмеження загроз до контрольованого рівня, є критично важливим у контексті застосування ІАД. Інтегративний підхід до управління ризиками може значно зменшити або нейтралізувати ризики, пом'якшити наслідки потенційних інцидентів, забезпечуючи критично важливу інформацію для прийняття обґрунтованих рішень або навіть запобігти інцидентам, що можуть призвести до нещасних випадків або спричинити їх [126, 127].

Процес управління ризиком у випадку використання ІАД є важливим інструментом прийняття рішень, який застосовується для підвищення операційної результативності. Цей процес включає ідентифікацію, оцінку та управління ризиками, що дозволяє зменшити потенціал збитків і підвищити ймовірність успішного виконання операцій. Ефективне управління ризиком підвищує здатність операторів компаній приймати обґрунтовані рішення, базуючись на всебічному аналізі потенційних небезпек та їх наслідків [128].

Процес управління ризиком також дозволяє мінімізувати ризики до прийняттого рівня, пропорційного виконанню робіт. Правильне застосування цього процесу сприяє зменшенню нещасних випадків та пов'язаних з ними витрат, що своєю чергою веде до більш ефективного використання ресурсів.

Ідентифікація небезпек включає виявлення потенційних загроз, які можуть вплинути на діяльність, особливо в контексті впровадження технологій ІАД. Оцінка наслідків і ймовірностей включає аналіз ступеня тяжкості можливих наслідків небезпек і частоти/ймовірності їх виникнення.

Впровадження заходів із запобігання та пом'якшення передбачає розробку і реалізацію стратегій для запобігання або зменшення негативних наслідків виявлених ризиків, що є особливо важливим при використанні ІАД у критичних застосуваннях.

Ризик (Р) визначається як функція тяжкості можливих наслідків (Н) небезпеки та частоти/ймовірності виникнення (Ч) цієї конкретної небезпеки. Цей підхід дозволяє систематично оцінювати ризики та приймати обґрунтовані рішення для їх ефективного управління, забезпечуючи таким чином безпеку та стабільність операцій.

$$\text{РИЗИК (Р)} = \text{НАСЛІДКИ (Н)} \times \text{ЧАСТОТА ВИНЯТКЕННЯ (Ч)}$$

З огляду на ці знання оцінений ризик небезпеки може бути використаний для прийняття надійних рішень щодо підвищення безпеки шляхом зменшення ризику, а ризики можна зменшити шляхом зменшення тяжкості наслідків або частоти / ймовірності появи або комбінації два.

Оцінка ризику – це процес розрахунку ризику ідентифікованої небезпеки або гіпотетичного сценарію.

Управління ризиками – це процес використання результатів, отриманих під час оцінки ризиків, і впровадження додаткових заходів запобігання та пом'якшення або альтернативних заходів (контроль ризику або варіанти контролю), щоб зменшити або усунути ризик. Схема цього процесу показана на рис.4.5

Однією з цілей якісної оцінки ризиків під час використання технологій ІАД є розвиток достатнього досвіду застосування процесу, щоб оцінка ризиків стала автоматичною або інтуїтивно зрозумілою частиною методології прийняття рішень. Для формалізації процесу оцінки ризику пропонується використання методології матриці ризиків [129, 130]:

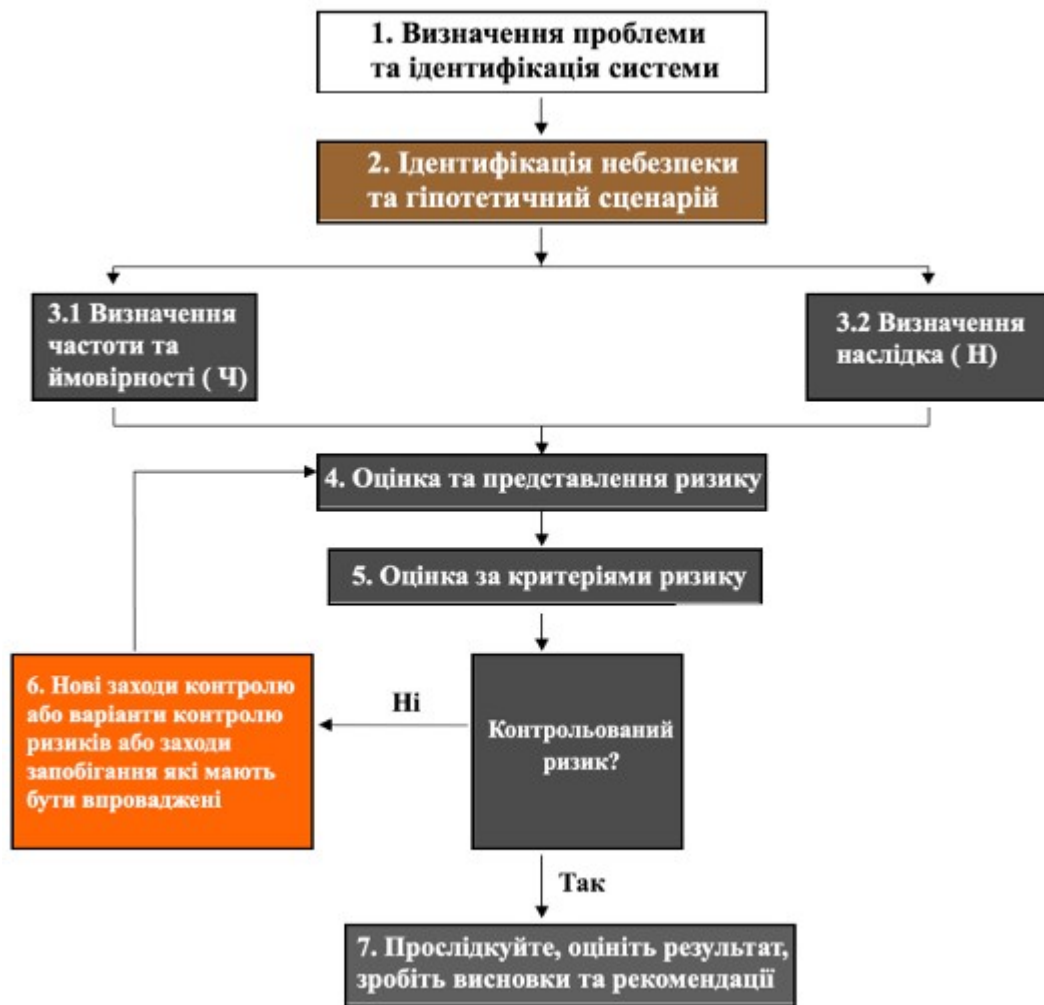


Рис. 4.5. Алгоритм оцінки небезпеки під час управління ризиками

1) визначення проблеми та опис системи. На цьому етапі необхідно визначити судно або діяльність, ризики якої слід оцінити. Перш ніж розпочати оцінку ризиків, усі зацікавлені сторони повинні мати спільне розуміння цілей, методів, які будуть використовуватися, необхідних ресурсів і способів застосування результатів;

2) визначення методу ідентифікації небезпеки або потенційного інциденту. Ідентифікація небезпек здійснюється за допомогою систематичного підходу, зосереджуючись на діях або бездіяльності людини, технологічному обладнанні, приладах і зовнішніх факторах, які можуть спричинити інцидент. Небезпека може існувати в поточній операції або бути результатом змін у ній. На цьому етапі також можна розгорнути детальний гіпотетичний сценарій ризику, що описує послідовність подій, які можуть призвести до інциденту;

3) оцінка ймовірності та наслідків з існуючими заходами контролю. Частотний аналіз використовується для оцінки ймовірності виникнення різних інцидентів або небезпек. Ймовірність визначається на основі послідовності подій у гіпотетичному сценарії. Матриця ризиків визначає п'ять рівнів ймовірності на основі частоти, з якою гіпотетичний сценарій може відбуватися, показано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Описи ймовірностей і частоти виникнення подій

Види ймовірностей		Частота виникнення
5	Часті – можливість повторних інцидентів	Частіше одного разу за рейс
4	Ймовірний – можливість поодиноких інцидентів	Один раз на рік – сценарій нещасного випадку мав місце в минулому та/або очікується, що він відбудеться в майбутньому
3	Час від часу – можливість колись виникнути	Раз на 5 років – може статися сценарій нещасного випадку
2	Віддалений – навряд чи відбудеться	Раз на 10 років – сценарій аварії вважається малоймовірним
1	Дуже малоймовірно – практично неможливо	Один раз на 30 років і більше

Ця методологія дозволяє систематично та всебічно підходити до оцінки ризиків, забезпечуючи їх адекватне управління та мінімізацію потенційних збитків. Оцінка наслідків згрупована за чотирма основними категоріями: здоров'я та безпека працівників, довкілля, економіка / активи та репутація / громадські порушення. Рівень серйозності визначається для кожної з цих категорій на основі наслідків, зазначених у гіпотетичному сценарії.

Оцінка наслідків згрупована за чотирма основними категоріями: здоров'я та безпека працівників, навколишнє середовище, економіка / активи та репутація / громадські порушення. Рівень серйозності визначається для кожної з цих категорій на основі наслідків, зазначених у гіпотетичному сценарії, як показано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Загальна оцінка наслідків ризиків для суден морського транспорту

№	Ознака небезпеки	Вплив на безпеку персоналу	Вплив на довкілля	Категорія витрат	Загальна оцінка
1	Незначна (будь-яка несправність, яка не погіршує загальну продуктивність)	Невеликий дрібні травми (незначний вплив на персонал)	Мінімальне забруднення (10...100 літрів, розлив нафти або інших небезпечних речовин)	Мінімальна вартість / збиток менш за 50000 \$	Нульовий вплив (від мінімального до жодного)
2	Середня (будь-який збій, який призведе до погіршення роботи системи)	Середні травми /медична допомога персоналу	Невелике забруднення (100...1000 літрів)	Невелика вартість або збиток (50000... 300000 \$)	Легкий вплив (незначне порушення)
3	Критична (будь-який збій, який погіршить роботу системи понад прийнятні межі та створить загрозу безпеці)	Серйозні травми персоналу	Помірне забруднення (1000... 10000 літрів)	Помірна вартість або збиток (300000... 1000000 \$)	Значний вплив та значні наслідки
4	Катастрофічна (будь-який збій, який може призвести до втрат людей і/або судна)	Людські втрати / смертельні випадки	Велике забруднення (більше 10000 літрів)	Велика/високі збитки більш за 1000000 \$	Значний вплив на національному та міжнародному рівні

Після ідентифікації небезпек і потенційних нещасних випадків або подій для системи чи процесу, а також оцінки частоти або наслідків цих подій відповідно до існуючих заходів контролю, можна оцінити відносні ризики, пов'язані з цими подіями. Матриця ризиків служить механізмом для розподілу ризиків і прийняття рішень щодо їх прийнятності, використовуючи підхід до категоризації ризиків. Кожна клітинка в матриці ризиків відповідає певній комбінації частоти та наслідків, і їй можна призначити пріоритетний номер.

Відповідальна особа повинна оцінити рівень ризику на основі серйозності та ймовірності оцінених під час процесу аналізу ризиків і класифікувати їх можливі комбінації як високий, середній або низький ризик у матриці ризиків.

Після визначення рівня ризику відповідальна особа може визначити відповідну реакцію, використовуючи таблицю 4.3.

Вищі рівні ризику вимагають більшого рівня реагування. Менеджмент використовує цю таблицю як орієнтир для оцінки рівня ризику за критеріями ризику:

високий / нестерпний ризик – потребує негайних заходів для зниження ризику до принаймні середнього рівня;

середній / допустимий ризик – вимагає визначення та впровадження заходів контролю ризику;

низький / прийнятний ризик – приймається як частина звичайного поточного процесу вдосконалення.

Таблиця 4.3

Категорії ризику та терміни виконання запобіжних дій

Категорії ризику		Терміни виконання запобіжних дій
Низький	Прийнятний (1-3)	Немає необхідності в додаткових засобах контролю/запобіжних і пом'якшувальних діях або альтернативних діях, але слід розглянути економічно ефективні рішення або вдосконалення, які спричиняють мінімальні додаткові витрати або взагалі їх не стягують. Моніторинг необхідний, щоб переконатися, що контроль підтримується. Якщо значення ризику становить 1...3, оцінка припиняється.
Середній	Допустимий (4-9)	Необхідно докладати зусиль для зменшення ризику, але витрати на запобігання слід ретельно вимірювати та обмежувати. Заходи зі зменшення ризику, як правило, мають бути впроваджені протягом визначеного періоду часу.
Високий	Нестерпний (>9)	Роботу не можна розпочинати або продовжувати, доки рівень ризику не буде знижено, а цифри ризику не перейдуть у жовту або зелену зону. Хоча додаткові заходи контролю мають бути економічно ефективними, обов'язок компанії зменшити ризик є абсолютним. Якщо заходи контролю не дозволяють зменшити ризик, навіть за наявності необмежених ресурсів, то роботу не можна починати або вона повинна залишатися забороненою.

Найважливішим етапом у процесі оцінки ризиків є визначення заходів контролю для зменшення або усунення виявлених ризиків. Ризики можна зменшити наступними способами:

- 1) профілактичні заходи – зменшують імовірність виникнення подій або знижують частоту завдяки покращеним процедурам, навчанню тощо;
- 2) заходи пом'якшення – зменшують тяжкість або наслідки подій, запобігаючи аваріям;
- 3) комбіновані заходи – одночасно знижують імовірність і частоту подій, а також пом'якшують їх тяжкість і наслідки;
- 4) пом'якшення обставин – зменшують імовірність виникнення невдач в обставинах, де це можливо;
- 5) альтернативні заходи – передбачають інші способи управління ризиками.

Якщо розглядаються численні заходи контролю, їх необхідно оцінити, щоб визначити, які з них мають найбільший вплив на зниження ризику. Після вибору відповідних нових заходів контролю слід повторити процес ранжування ризику, щоб оцінити, чи знизився ризик з високого до середнього рівня у разі впровадження обраних заходів. Процес слід повторювати до досягнення найнижчої категорії ризику.

Контроль виконання впроваджених заходів для зменшення ризиків є вирішальним етапом управління ризиками. На цьому етапі необхідно:

- 1) провести подальшу оцінку засобів контролю, щоб переконатися, що вони залишаються дієвими та мають бажаний ефект;
- 2) відстежувати зміни, які можуть вимагати подальшої оцінки ризиків;
- 3) вживати коригувальних дій у реальному часі.

Таким чином, систематичний підхід до управління ризиками передбачає не тільки визначення та впровадження відповідних заходів контролю, але й постійний моніторинг їхньої ефективності та адаптацію до нових умов і загроз.

Оцінка ризику під час використання технологій ІАД у навігації є складним процесом, що включає розгляд різних аспектів технології, потенційних загроз і способів їх запобігання. Цей процес містить у собі визначення та оцінку можливих загроз для безпеки та ефективності

використання технологій ІАД, а також встановлення заходів для зниження цих ризиків. Ідентифікація ризиків передбачає визначення потенційних загроз та небезпек, які можуть виникнути внаслідок використання ІАД у навігації.

Основні аспекти оцінки ризику включають:

1) надійність технології – ІАД може виявляти помилки або несправності, що можуть призвести до неправильних рішень або аварійних ситуацій; важливо перевіряти та забезпечувати надійність алгоритмів і розрахункових моделей;

2) доступність даних – точність рішень, прийнятих ІАД, залежить від якості та достовірності вхідних даних; якщо дані неактуальні або неповні, це може призвести до некоректних прогнозів і підвищених ризиків;

3) кібербезпека – використання ІАД пов'язане з ризиками кібербезпеки, атаками на алгоритми, зломом систем або маніпуляцією вхідними даними;

4) інтеграція з людським фактором – під час впровадження ІАД у навігаційні системи важливо враховувати взаємодію з екіпажем та людським фактором; неправильне розуміння або використання ІАД може призвести до конфліктів або неправильних дій;

5) етичні питання – використання ІАД у навігації також порушує етичні питання, зокрема щодо відповідальності за рішення, прийняті алгоритмами, а також за можливі наслідки аварійних ситуацій.

Послідовність оцінки ризиків через використання ІАД під час навігаційних переходів суден морського транспорту, наведена в таблиці 4.4. Урахування цих аспектів дозволяє забезпечити більш безпечне та ефективне впровадження ІАД в навігаційні адаптивні системи, знижуючи ризики та підвищуючи загальну надійність систем.

Врахування зазначених аспектів забезпечує підвищення безпеки та ефективності застосування ІАД для суден морського транспорту. Це сприяє зниженню ризиків і підвищує загальну надійність систем, оптимізуючи процеси управління та забезпечення безпеки судноплавства.

Таблиця 4.4

Оцінка ризиків через використання ІАД під час навігаційних переходів суден морського транспорту

Ідентифікація ризиків			Аналіз ризиків	Початкова оцінка ризику		
№	Небезпека	Потенційні наслідки	Існуючі заходи контролю	Ч	Н	Р
1	Технічна несправність ІАД з обробкою та синхронізацією введених даних.	Надання хибних результатів	Перевірка та надійності алгоритмів і моделей ІАД	4	2	8
2	Не точні отримані результати від ІАД	Негативний вплив на прийняття рішення	Аналіз та корегування отриманих результатів перед використанням	3	2	6
3	Низький рівень інтеграції між судновим персоналом та ІАД	Непорозуміння під час взаємодії із системою	Навчання та тренування у взаємодії між судновим персоналом та ІАД	3	2	6
4	Кібербезпека системи ІАД	Хибний вплив на вхідні на вихідні дані	Блокування сторонніх фаєрволів та можливостей проникнути до системи	2	2	4
5	Переоцінка відповідальності за прийняття рішень	Аварійна загроза	Регламентування між порадами від ІАД та обов'язками навігаційного офіцера	3	4	12
Заходи що для зниження ризиків				Оцінка залишкового ризику		
№	Додаткові заходи контролю ризиків			Ч	Н	Р
1	Застосування сучасного комп'ютерного обладнання з можливістю використання резервного сервера для синхронізації даних			2	2	4
2	Завантаження необхідної інформації для ще більш точних розрахунків			1	2	2
3	Використання базових моделей у комунікації між людиною та ІАД			1	2	2
4	Застосування сучасних систем кібербезпеки			1	2	2
5	Використовувати як допоміжний засіб інформацію щодо забезпечення судноплавства			1	4	4

4.4. Умови та практичне застосування ІАД під час вибору маневру розходження

Величезний обсяг навігаційної інформації, яку навігаційний офіцер повинен проаналізувати за короткий проміжок часу, ІАД може дослідити та надати необхідні стислі відомості та рекомендації за лічені секунди. Ці рекомендації від ІАД можуть враховувати такі фактори, як найбезпечніший і найефективніший маршрут, щоб уникнути потенційних небезпек або оптимізувати роботу судна. Протягом цього процесу ІАД слугує інструментом, який допомагає штурману приймати обґрунтовані рішення щодо маневру розходження. Він може аналізувати величезні обсяги даних і надавати цінну інформацію за короткий час. Отримані результати та рекомендації від ІАД, штурман переглядає та, беручи до уваги власний досвід, знання та знання конкретних обставин, зможе швидше та якісніше проаналізувати та прийняти остаточне рішення щодо маневру розходження, враховуючи не лише рекомендації ІАД, але й будь-які інші важливі фактори, які ІАД міг не врахувати. Час, витрачений на аналіз ситуації, матиме істотне значення в прийнятті рішення щодо маневру розходження суден та вплине на зменшення кількості аварійних подій у морі. Як правило, системи ІАД навчаються, як це робити, обробляючи величезні обсяги відомостей і шукаючи шаблони для моделювання у власному прийнятті рішень, як показано на рис. 4.6. У багатьох випадках оператори контролюватимуть процес навчання ІАД, підкріплюючи правильні рішення та перешкоджаючи хибним.



Рис. 4.6. Процес взаємодії з ІАД

Одним із способів взаємодії ІАД з навігаційним офіцером є використання в реальному часі загальнодоступних програм із забезпеченням ІАД – Open AI, Chat GPT або Chat & Ask AI, які здатні обробляти будь-яке запитання та видавати сформульовану, стислу відповідь у короткий проміжок часу. Використовуючи ІАД у режимі реального часу, він діє як помічник навігаційного офіцера як чат-бот із генеративним алгоритмом аналізу даних, здатний працювати в інтерактивному режимі, аналізувати та керувати ланцюгом подій на основі неймовірної кількості доступної інформації.

Для ефективного використання програм з ІАД у навігаційних системах морських суден можуть застосовуватися різні девайси та апаратні засоби:

1) комп'ютерні системи та сервери:

- морські навігаційні комп'ютери – потужні комп'ютери, спеціально розроблені для роботи на суднах, здатні обробляти великі обсяги даних у реальному часі;

- сервери для обробки даних – використовуються для централізованої обробки даних і роботи складних алгоритмів;

2) мобільні пристрої:

- планшети та смартфони – забезпечують доступ до навігаційних програм з ІАД, дозволяючи навігаційним офіцерам використовувати їх безпосередньо на навігаційному містку;

- ноутбуки – портативні комп'ютери, що дозволяють працювати з навігаційними програмами як на борту судна, так і на суші;

3) інтегровані навігаційні системи:

- електронні картографічні системи ECDIS – інтегрують дані з різних сенсорів і використовують ІАД для аналізу та прогнозування;

- автопілоти з функціями ІАД– автоматичні системи керування судном, здатні використовувати ІАД для прийняття рішень у реальному часі;

4) сенсорні системи та пристрої збору даних:

- радары – високочутливі радари, що надають дані для ІАД;

- ехолоти – пристрої для підводного сканування, що забезпечують дані для ІАД про підводні глибини;

- автоматичні ідентифікаційні системи AIS – збирають дані про інші судна, що використовуються ІАД для оцінки навігаційної ситуації;

- GPS системи, компаси та лог пристрої – надають точні дані про місцезнаходження судна та його динамічні характеристики в реальному часі та для точного аналізу навігаційної ситуації технологіями ІАД;

6) пристрої віртуальної та доповненої реальності (VR/AR):

- VR-гарнітури – використовуються для навчання та симуляції навігаційних сценаріїв, включаючи сценарії з використанням ІАД;

- AR-окуляри – надають додаткову інформацію в реальному часі, допомагаючи навігаційним офіцерам приймати рішення на основі даних ІАД. Використання цих девайсів дозволяє максимально ефективно інтегрувати програми зі ІАД у процеси навігації, підвищуючи безпеку та ефективність морських перевезень.

У подальшому розвитку ІАД на морських суднах затребує розробки власного програмного забезпечення, яке працюватиме з інформацією, що дозволить ще більше наростити швидкість обробки даних та отримувати точніші результати. Однак на сьогодні, враховуючи існуючі програми, можна використовувати ІАД як тестовий і навчальний зразок.

4.5. Висновки за розділом 4

У результаті досліджень, виконаних у четвертому розділі, зробимо такі висновки.

1. Проаналізовано, що адаптивні системи на основі ІАД мають значний потенціал для підвищення безпеки та ефективності морської навігації та маневрування суден. Завдяки здатності швидко обробляти великі обсяги даних ІАД може надавати навігаційним офіцерам стислу і точну інформацію, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень. Використання ІАД для аналізу ситуацій на морі дозволяє вибирати оптимальні маршрути, уникати потенційних небезпек і розробляти ефективні маневри розходження відповідно до МПЗЗС-72.

2. Розвиток технологій ІАД та інтеграція їх у навігаційні системи суден дозволяє зменшити ризики, пов'язані з людським фактором, і забезпечити високу точність прийняття рішень у реальному часі. ІАД також сприяє економії палива та зменшенню негативного впливу на довкілля, таким чином оптимізуючи енергоефективність суден.

3. Впровадження персоналізованих технологій ІАД у навігацію і маневрування суден відкриває нові можливості для вдосконалення безпеки судноплавства. Цей підхід дозволяє створювати адаптивні навігаційні системи, які враховують індивідуальні потреби суден та їхніх екіпажів, підвищуючи безпеку та ефективність морських перевезень, тим самим мінімізуючи виникнення ризиків зіткнення суден і підвищуючи загальну безпеку судноплавства.

4. Оцінка ризику під час використання технологій ІАД в області навігації та маневрування показала, що критичними ризиками при використанні можуть бути, вірогідна технічна несправність технологій ІАД з обробкою та синхронізацією введених даних та хибна переоцінка

відповідальності за прийняття рішень. Втручання додаткових заходів контролю зменшує гіпотетичні ризики до допустимого рівня.

5. Проаналізовано, що ІАД значно підвищує ефективність навігаційних рішень на судах, швидко обробляючи великі обсяги даних і надаючи стислу корисну інформацію. Це дозволяє навігаційним офіцерам приймати обґрунтовані рішення щодо маневрів розходження, знижуючи ризик зіткнень і підвищуючи безпеку морських перевезень. Використання таких пристроїв, як морські навігаційні комп'ютери, сервери, планшети, смартфони, ECDIS, автопілоти з ІАД, радары, ехолоти, AIS, GPS-системи, VR-гарнітури та AR-окуляри, – дозволяє інтегрувати ІАД у процеси навігації, забезпечуючи адаптивність і точність прийняття рішень у реальному часі за швидкий період часу.

РОЗДІЛ 5. ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКУ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН ПІД ЧАС РОЗХОДЖЕННЯ В СИТУАЦІЇ НАДМІРНОГО ЗБЛИЖЕННЯ

Застосування інтелектуального аналізу даних під час визначення параметрів стандартного маневру розходження судна призначено для аналізу даних про поточну ситуацію, прогнозування руху суден, розрахунку оптимальних параметрів маневру та надання рекомендацій навігаційному офіцерові [131-133]. Оператор судна вводить дані про поточне положення та рух судна, а також наявну інформацію про навігаційні перешкоди, після чого технологія ІАД аналізує цю інформацію та пропонує оптимальні параметри маневру розходження, при цьому враховуються різні обмеження, такі як маневрені характеристики судна, правила МПЗЗС-72 та інші регламентовані норми. Після прийняття рішення оператором судна ІАД здатний здійснювати безперервний моніторинг поточної навігаційної ситуації та, за потреби, коригує параметри маневру для забезпечення безпеки та ефективності управління судном у ситуаціях, небезпечного зближення суден [134-137].

5.1. Процедура взаємодії навігаційного оператора з технологією інтелектуального аналізу даних

Управління та взаємодія навігаційного оператора з програмним забезпеченням ІАД здійснюється суворо відповідно до стандартних інструкцій, розроблених для забезпечення ефективності та безпеки судноводіння. Ці інструкції передбачають низку кроків, які мають виконувати оператор для коректного використання технології ІАД у процесі навігації, як показано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Стандартна інструкція щодо використання ІАД під час взаємодії з
оператором судна

№	Дія	Позначення
1	Запуск програми	Запускається програма ІАД на керуючому пристрої або комп'ютері
2	Введення даних	Вводяться необхідні дані про поточну ситуацію, такі як положення вашого судна, його швидкість, курс, а також дані про інші судна, отримані за допомогою натурних спостережень, датчиків або інших систем
3	Запуск аналізу	Відбувається процес аналізу даних, щоб програма оцінила поточну ситуацію та визначила потенційні загрози зіткнення чи необхідність виконання маневру розходження
4	Корекція параметрів	За необхідності проводиться внесення коригування у запропоновані параметри маневру відповідно до переваг оператора судна або специфічних умов ситуації
5	Підтвердження та прийняття рішення	Проводиться аналіз параметрів маневру розходження, запропонованих програмою ІАД, та наступне прийняття обґрунтованих рішень щодо наступних дій на основі отриманих даних
6	Моніторинг ситуації	Проводиться моніторинг та управління рухом судна згідно з встановленими параметрами маневру розходження, а також здійснюється безперервне спостереження за динамікою змін у ситуації зближення суден
7	Корекція під час руху судна	За необхідності коригуються параметри маневру в реальному часі залежно від умов довкілля, що змінюються, або інших факторів
8	Завершення роботи	Після завершення маневру або після вирішення ситуації завершується робота з програмою ІАД

Перший крок включає вхід у систему та автентифікацію користувача для підтвердження його уповноваженості на виконання операцій із використанням ІАД. Після успішного входу операторові доступний інтерфейс програми, через який він може вводити поточні дані про положення судна, його швидкість, курс, інформацію про навігаційні перешкоди та всю додаткову інформацію, яка має значення для конкретних обставин. Далі слідує етап аналізу введених даних у програму ІАД, яка включає розрахунки можливих траєкторій руху судна та ідентифікацію потенційних ризиків на маршруті. Програма надає операторові рекомендації щодо оптимального маршруту та параметрів маневрування, щоб мінімізувати ризики зіткнення та оптимізувати тривалість плавання. Потім оператор оцінює запропоновані програмою параметри маневру і, у разі потреби, коригує їх, спираючись на свій професійний досвід та розуміння поточної ситуації на морі. Важливим аспектом є можливість оператора у будь-який момент перевизначити автоматичні рекомендації програми, якщо він вважає, що це призведе до більшої безпеки плавання.

Після ухвалення рішення про маневр оператор вводить відповідні команди до системи керуванням судном, яка автоматично регулює необхідні параметри руху. У випадку змін у навігаційних умовах або отриманні нової інформації від інших суден чи з берегових станцій програма ІАД швидко адаптується, оновлюючи наявні дані та переобраховуючи необхідні параметри маневрування. Завершальний етап включає документування всіх дій оператора та системи ІАД. Це важливо для аналізу ефективності виконаних маневрів та для майбутнього вдосконалення програмних алгоритмів. Усі дані про маневри, включаючи вихідні параметри, внесені зміни та результати виконання, зберігаються в базі даних для подальшого аналізу та звітності.

Ця стандартна інструкція допоможе операторові судна взаємодіяти з програмою ІАД, щоб ефективно та безпечно визначати та виконувати маневри розходження та відстежувати безпеку їх виконання.

5.2. Практичне застосування інтелектуального аналізу даних у ситуації небезпечного зближення суден

З метою підтвердження коректності запропонованого способу розрахунку параметрів маневру розходження за допомогою ІАД були розглянуті різні приклади з натурних спостережень реального часу, в яких формувалися ситуації небезпечного зближення і розраховувався вибір маневру розходження судна методом ухилення з подальшим імітаційним моделюванням процесу розходження. Для всіх прикладів розраховується зближення судна з метою в умовах хорошої видимості, а дистанція найкоротшого зближення формувалася в діапазоні від 1 до 2 морських миль.

Розглянемо перший приклад змодельованої ситуації зближення суден, що йдуть прямо одне на одного, і порівняємо отримані результати з рекомендаціями щодо розходження, запропонованого ІАД.

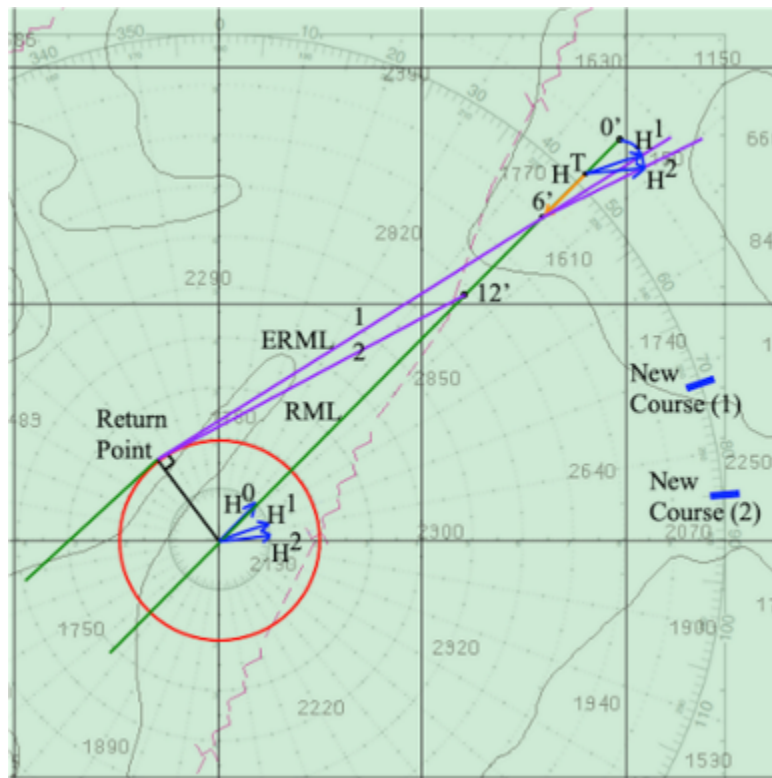


Рис. 5.1. Розрахунок маневру розходження в ситуації зближення суден, що йдуть прямо одне на одного

Початкові дані: судно (1) прямує курсом 045 (H^0) зі швидкістю 10 вузлів, інше судно (2) наближається курсом 225 (H^T) зі швидкістю 12 вузлів. Відстань до зустрічного судна становить 9 морських миль. Необхідно розрахувати курс відхилення для розходження з іншим судном у дві морських милі. Результати, отримані з маневреного планшета, показують, що за умов миттєвих розрахунків, зроблених навігаційним офіцером, на момент шостої (6) хвилини, судну необхідно повернути на 27 праворуч (H^1), як показано на рис. 5.1, щоб безпечно розійтись із судном на необхідній відстані в 2 милі, але за умов реального практичного виконання розрахунків, необхідний маневр буде виконаний лише на 9-ій або 12-ій хвилині.

За допомогою технології ІАД та голосового помічника вводяться початкові вхідні дані та задаються необхідні параметри розходження. Також можливе текстове введення даних, але під час використання голосового помічника досягається суттєва економія часу. Після чого виконується порівняння отриманих результатів із розрахунками з маневреного планшета, як показано на рис. 5.2.

З наведеного вище прикладу можна зробити висновок, що для того, щоб забезпечити безпечне розходження з судном на необхідній відстані, потрібно відхилитися праворуч приблизно на 27°. Результат, отриманий за допомогою розрахунків ІАД, становить 28°, що майже збігається з фактичним розрахунком. Час, витрачений на розрахунки на маневровому планшеті, становитиме від 1 до кількох хвилин, залежно від навичок та досвіду навігаційного офіцера. У випадку з використанням ІАД результат буде отримано протягом кількох секунд, незалежно від досвіду навігаційного офіцера. ІАД може надавати візуалізацію траєкторій обох суден на інтерфейсі, використовуючи розширену графіку та карти, що покращує зорове сприйняття ситуації навігаційним офіцером. Оператор зможе бачити потенційні зони зіткнення та рекомендовані зони безпечного проходження у вигляді графічних індикаторів, що зменшує ризик помилок у розрахунках та прийнятті рішень.

 ChatGPT	
Вхідні дані	- Судно 1 : курс: 45 градусів / швидкість: 10 вузлів - Судно 2: курс: 225 градусів / швидкість: 12 вузлів - Відстань між кораблями: 9 морських миль - Бажана мінімальна відстань для розходження: 2 милі - Розрахувати маневр відхилення
Розрахунки	1. Відносний рух: Спочатку потрібно визначити відносний рух між двома суднами. Оскільки судна рухаються одне до одного прямо (кути відрізняються на 180 градусів), ми розрахуємо відносну швидкість і напрямок. 2. Відносна швидкість: Відносний кут між суднами становить 180 градусів ($225 - 45 = 180$). Оскільки судна наближаються прямо одне на одне, їхні швидкості безпосередньо додаються для розрахунку відносної швидкості. Відносна швидкість = швидкість судна 1 + швидкість судна 2 = $10 \text{ вузлів} + 12 \text{ вузлів} = 22 \text{ вузли}$ 3. Час до найближчого зближення: За умови постійних швидкостей та прямих курсів час до найближчого моменту зближення можна оцінити, поділивши початкову відстань на відносну швидкість. Час до найближчого зближення = відстань / відносна швидкість = $9 \text{ морських миль} / 22 \text{ вузли} \approx 0,41 \text{ години}$ 4. Розрахунок маневру: Щоб забезпечити відстань у 2 милі, розглянемо зміну курсу Судна 1. Найпростіший маневр - це безпосередня зміна курсу правобіч. Давайте розрахуємо приблизну зміну курсу, яка потрібна. Ми прагнемо створити бокову відстань у 2 милі за 0.41 години (24.6 хвилини). Враховуючи швидкість Судна 1, бокову відстань, створену зміною курсу, можна оцінити як: $\text{бокова відстань} = \text{швидкість} \times \sin(\text{Зміна курсу}) \times \text{час}$ Ми хочемо, щоб ця бокова відстань становила 2 милі. Припустимо малий кут зміни курсу для простого розрахунку. Використовуючи синус малих кутів (у радіанах), $\sin(\theta) \approx \theta$ для малих θ, де θ у радіанах. Перетворюючи для θ (у радіанах): $\theta \approx \text{бокова відстань} / (\text{швидкість} \times \text{час})$ $\theta \approx 2 \text{ милі} / (10 \text{ вузлів} \times 0.41 \text{ години}) \approx 0.49 \text{ радіанів}$ Перетворюючи радіани в градуси (оскільки $1 \text{ радіан} \approx 57.2958 \text{ градусів}$): $\text{Зміна курсу} \approx 0.49 \text{ радіанів} \times 57.2958 \approx 28 \text{ градусів}$ Таким чином, судно А повинно виправити свій курс приблизно до 73 градусів (праворуч на приблизно 28 градусів), щоб забезпечити щонайменше 2 милі бокової відстані у момент найближчого зближення.
Результат	Судно 1 повинно змінити свій курс приблизно до 73 градусів (на 28 градусів праворуч), щоб забезпечити розходження на 2 милі. Це спрощена оцінка і її слід коригувати на основі даних реального часу та навігаційних умов.

Рис. 5.2. Рекомендації ІАД щодо розв'язання завдання забезпечення маневру розходження

Розглянемо другий приклад змодельованою ситуації зближення суден, що йдуть на перехресних курсах і порівняємо отримані результати з

рекомендаціями щодо розходження, запропонованого ІАД. Початкові дані, судно (1) прямує курсом 205° (H^0) зі швидкістю 14 вузлів, інше судно (2) наближається з правого борту курсом 155° (H^T) зі швидкістю 13 вузлів. Відстань до зустрічного судна становить 8,1 морських миль. Необхідно розрахувати курс відхилення для розходження з іншим судном у дві морських милі, як показано на рис. 5.3.

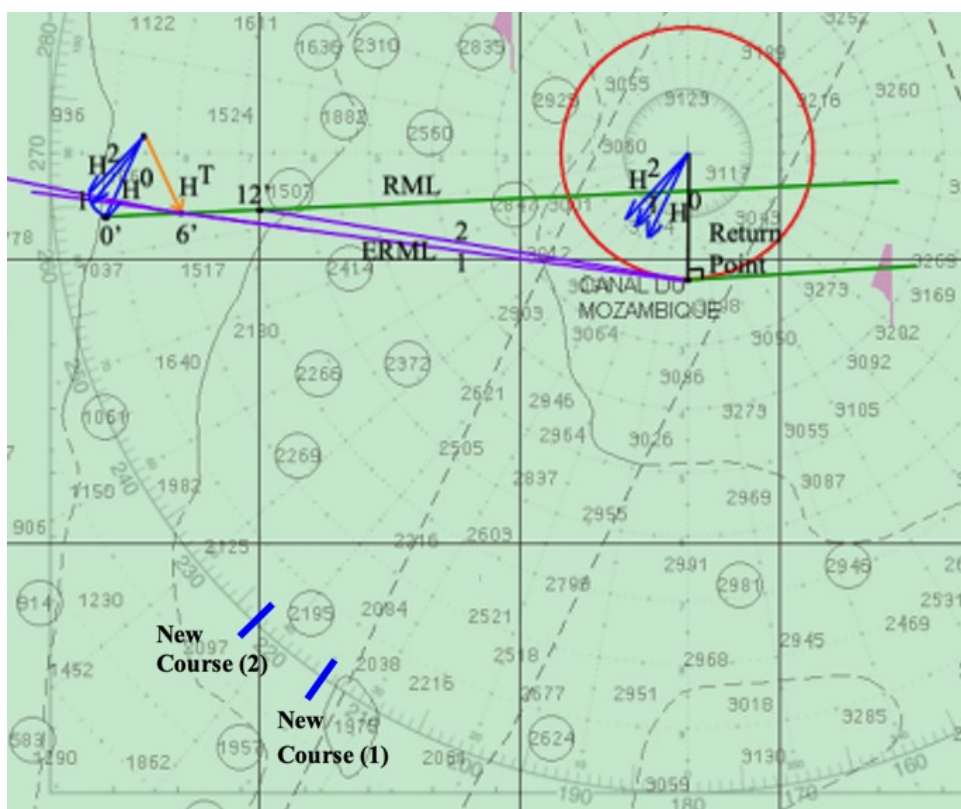


Рис. 5.3. Розрахунок маневру розходження в ситуації зближення суден, що рухаються перехресними курсами

Результати, отримані з маневреного планшета, показують, що за умов миттєвих розрахунків, зроблених навігаційним офіцером, на момент шостої (6) хвилини, судну необхідно повернути на 10° праворуч (H^1) на курс 215° , щоб безпечно розійтись із судном на необхідній відстані в 2 милі. Аналогічним способом, за допомогою програми з ІАД, введемо початкові вхідні дані та задамо необхідні параметри розходження, як показано на рис. 5.4.

 ChatGPT	
Вхідні дані	- Судно 1 : курс: 200 градусів / швидкість: 14 вузлів - Судно 2: курс: 155 градусів / швидкість: 13 вузлів - Відстань між суднами: 8.1 морських миль - Бажана мінімальна відстань для розходження: 2 милі - Розрахувати маневр відхилення
Розрахунки	1.Визначення відносного курсу та швидкості: Відносний курс (кут між напрямками двох суден): $(205 - 155 = 50^\circ)$ градусів. Відносна швидкість визначається за допомогою теореми косинусів, враховуючи кут між напрямками суден. 2. Тригонометричний розрахунок відносної швидкості: $V_{rel} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2 \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot \cos(\Delta \theta)}$ де: $(V_1 = 14)$ вузлів, $(V_2 = 13)$ вузлів, $(\Delta \theta = 50^\circ)$. 3. Розрахунок часу до найближчого зближення: Час до мінімальної відстані можна оцінити, поділивши поточну відстань на відносну швидкість. 4. Визначення курсу відхилення:- Щоб забезпечити розходження на 2 милі, потрібно врахувати курсовий кут, який би створив достатнє бокове зміщення між суднами.- Припустимо, що судно (1) має змінити курс на певний кут правобіч. 5. Розрахунок нового курсу: За умови, що невелике зміщення курсу призведе до значного зміщення в траєкторії, використовуємо простий підхід: змінити курс на приблизно 10 градусів правобіч. Новий курс судна (1) стане $(205 + 10 = 215^\circ)$ градусів.
Результат	Судно 1 повинно змінити курс до приблизно 215 градусів, щоб уникнути зіткнення та забезпечити розходження на 2 милі із судном (2).

Рис. 5.4. Рекомендації ІАД щодо розв'язання завдання забезпечення маневру розходження

Із наведеного вище приклада можна зробити висновок, що для того, щоб забезпечити безпечне розходження із судном на необхідній відстані, необхідно відхилитися праворуч приблизно на 10. Результат, отриманий за допомогою розрахунків ІАД, становить 10, що повністю збігається з фактичним розрахунком.

Розглянемо третій приклад змодельованої ситуації зближення суден, що йдуть на перехресних курсах з перешкодою з лівого борта і порівняємо отримані результати з рекомендаціями щодо розходження запропонованим ІАД. Початкові дані: судно (1) прямує курсом 070 градусів (H^0) зі швидкістю 10 вузлів, інше судно (2) наближається з лівого борту курсом 173 градусів (H^T) зі швидкістю 6,5 вузлів. Відстань до зустрічного судна становить 3,2 морських миль. Необхідно розрахувати курс відхилення для розходження з іншим судном водну морську милю, як показано на рис. 5.5.

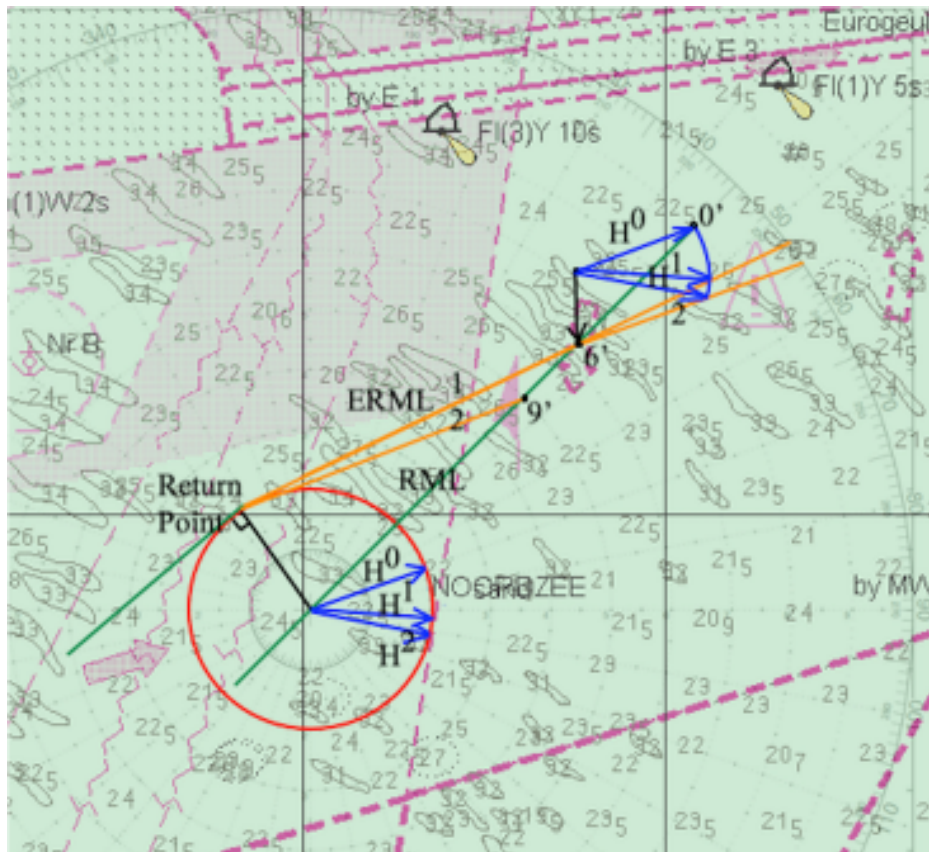


Рис. 5.5. Розрахунок маневру розходження в ситуації зближення суден, що рухаються перехресними курсами з перешкодою з лівого борту

Результати, отримані з маневреного планшета, показують, що за умов миттєвих розрахунків, зроблених навігаційним офіцером, на момент шостої (6) хвилини, судну необхідно повернути на 31 градус праворуч (H1) на курс 101, щоб безпечно розійтись із судном на необхідній відстані в 1 милі. Аналогічним способом, за допомогою програми з ІАД, введемо початкові вхідні дані та задаємо необхідні параметри розходження. У випадках, які потребують визначення пріоритету сторони відхилення, треба уточнювати бажану сторону відхилення у початкових даних, щоб конкретизувати поставлене завдання, як показано на рис. 5.6.

 ChatGPT	
Вхідні дані	- Судно 1 : курс: 070 градусів / швидкість: 10 вузлів - Судно 2: курс: 173 градусів / швидкість: 6.5 вузлів - Відстань між суднами: 3.2 морських миль - Бажана мінімальна відстань для розходження: 1 миля - Розрахувати маневр відхилення праворуч
Розрахунки	<pre> import math # Initial data course1 = 70 # Course of ship 1 in degrees speed1 = 10 # Speed of ship 1 in knots course2 = 173 # Course of ship 2 in degrees speed2 = 6.5 # Speed of ship 2 in knots initial_distance = 3.2 # Initial distance between the ships in nautical miles # Convert courses to radians course1_rad = math.radians(course1) course2_rad = math.radians(course2) # Relative speed components relative_speed_x = speed1 * math.cos(course1_rad) - speed2 * math.cos(course2_rad) relative_speed_y = speed1 * math.sin(course1_rad) - speed2 * math.sin(course2_rad) # Magnitude of relative speed relative_speed = math.sqrt(relative_speed_x**2 + relative_speed_y**2) # Time to reduce distance to 1 nautical mile time_to_one_mile = (initial_distance - 1) / relative_speed # New position of ship 2 after this time position2_x = time_to_one_mile * speed2 * math.cos(course2_rad) position2_y = time_to_one_mile * speed2 * math.sin(course2_rad) # Angle to the new position of ship 2 from ship 1's perspective angle_to_ship2 = math.degrees(math.atan2(position2_y, position2_x)) # Change in course needed for ship 1 to avoid collision course_change = angle_to_ship2 - course1 Course_change - 103 </pre>
Результат	Для уникнення зіткнення з судном 2 і забезпечити розходження на безпечну відстань в 1 морську милю, судну 1 необхідно змінити свій курс на 103 градуси праворуч від початкового курсу. Це дозволить судну 1 безпечно розминутися з судном 2.

Рис. 5.6. Рекомендації ІАД щодо розв'язання завдання забезпечення маневру розходження

Наведений вище приклад описано у форматі розрахункових модулів, з якого можна зробити висновок, що для того, щоб забезпечити безпечне розходження з судном на необхідній відстані, потрібно відхилитися праворуч приблизно на 31°. Результат, отриманий за допомогою розрахунків ІАД, становить 33°, що майже збігається з фактичним розрахунком та може бути взятий за пріоритетний вибір.

Розглянемо четвертий приклад змодельованої ситуації зближення суден – ситуацію обгону судна з лівого борту, і порівняємо отримані результати з рекомендаціями щодо розходження, запропонованого ІАД. Початкові дані: судно (1) прямує курсом 283° (H^0) зі швидкістю 12,5 вузлів, інше судно (2) йде з правого борту курсом 270° (H^T) зі швидкістю 7,5 вузлів. Відстань до зустрічного судна (2) становить 3,3 морських миль. Необхідно розрахувати курс відхилення ліворуч для забезпечення розходження з іншим судном в одну морську милю, як показано на рис. 5.7.



Рис. 5.7. Розрахунок маневру розходження в ситуації обгону судна з лівого борту

Результати, отримані з радіолокаційного маневреного планшета, показують, що за умов миттєвих розрахунків, зроблених навігаційним офіцером, на момент шостої (6) хвилини судну необхідно повернути на 12 ліворуч (H^1) на курс 271° , щоб безпечно розійтись із судном на необхідній відстані в 1 милю. Аналогічним способом, за допомогою програми зі ІАД, введемо початкові входні дані та задамо необхідні параметри розходження. У випадках які потребують визначення пріоритету сторони відхилення, треба уточнювати бажану сторону відхилення у початкових даних, щоб конкретизувати поставлене завдання, як показано на рис. 5.8.

 ChatGPT	
Вхідні дані	- Судно 1 : курс: 283 градусів / швидкість: 12.5 вузлів - Судно 2: курс: 270 градусів / швидкість: 7.5 вузлів - Відстань між суднами становить 3.3 морських миль - Бажана мінімальна відстань для розходження: 1 миля - Розрахувати маневр відхилення ліворуч
Розрахунки	<pre> import math # Updated initial data for the new scenario course1 = 283 # Course of ship 1 in degrees speed1 = 12.5 # Speed of ship 1 in knots course2 = 270 # Course of ship 2 in degrees speed2 = 7.5 # Speed of ship 2 in knots initial_distance = 3.3 # Initial distance between the ships in nautical miles # Convert courses to radians again course1_rad = math.radians(course1) course2_rad = math.radians(course2) # Calculate relative speed components for the new scenario relative_speed_x = speed1 * math.cos(course1_rad) - speed2 * math.cos(course2_rad) relative_speed_y = speed1 * math.sin(course1_rad) - speed2 * math.sin(course2_rad) # Magnitude of relative speed relative_speed = math.sqrt(relative_speed_x**2 + relative_speed_y**2) # Time to reduce distance to 1 nautical mile time_to_one_mile = (initial_distance - 1) / relative_speed # New position of ship 2 after this time position2_x = time_to_one_mile * speed2 * math.cos(course2_rad) position2_y = time_to_one_mile * speed2 * math.sin(course2_rad) # Angle to the new position of ship 2 from ship 1's perspective angle_to_ship2 = math.degrees(math.atan2(position2_y, position2_x)) # Change in course needed for ship 1 to avoid collision course_change_left = course1 - angle_to_ship2 course_change_left </pre>
Результат	Для уникнення зіткнення із судном 2 і забезпечити розходження на безпечну відстань у 1 морську милю, судну 1 необхідно змінити свій курс на 270 градусів, або на 13 градусів ліворуч від початкового курсу. Це дозволить судну 1 безпечно розминутися із судном 2.

Рис. 5.8. Рекомендації ІАД щодо розв'язання завдання забезпечення маневру розходження

Наведений вище приклад описано у форматі розрахункових модулів, з якого можна зробити висновок, що для того, щоб забезпечити безпечне розходження із судном на необхідній відстані, потрібно відхилитися ліворуч приблизно на 12 градусів. Результат, отриманий за допомогою розрахунків

штучного інтелекту, становить 13 градусів, що майже збігається з фактичним розрахунком та може бути взятий за пріоритетний вибір.

У контексті аналізу складних маневрених взаємодій трьох морських суден інтегрована система ІАД застосовує алгоритми для оптимізації та аналізу ризиків з метою формування стратегії маневрування. Система аналізує курс і швидкість кожного судна, а також взаємне розташування суден, що дозволяє здійснювати точне планування маневрів.

Система ІАД також передбачає систему раннього попередження про ризики, яка здійснює моніторинг і видає автоматичні сповіщення про потенційні зіткнення чи необхідність коригування курсу. Ці сповіщення ґрунтуються на автоматичному оновленні даних про позиції суден.

Важливим аспектом є можливість автоматизованої координації маневрів з іншими суднами через цифрові комунікації, що забезпечує синхронізоване маневрування у зонах високої щільності суден, зменшуючи ризики і підвищуючи загальну безпеку навігації морського транспорту.

Розглянемо складний приклад змодельованої ситуації зближення трьох суден – ситуацію небезпечного зближення суден з правого та лівого борту, і порівняємо отримані результати з рекомендаціями щодо розходження, запропонованого ІАД.

Початкові дані, судно (1) прямує курсом 075° зі швидкістю 15 вузлів, інше судно (2) йде з правого борту курсом 002 зі швидкістю 9 вузлів та інше судно (3) йде з лівого борту курсом 193 зі швидкістю 14,2 вузла. Відстань до зустрічного судна (2) становить 7,3 морських миль та до зустрічного судна (3) становить 6,5 морських миль. Необхідно розрахувати курс відхилення праворуч для забезпечення розходження з іншим судном (3) та (2) у 1,5 морські милі, як показано на рис. 5.9.

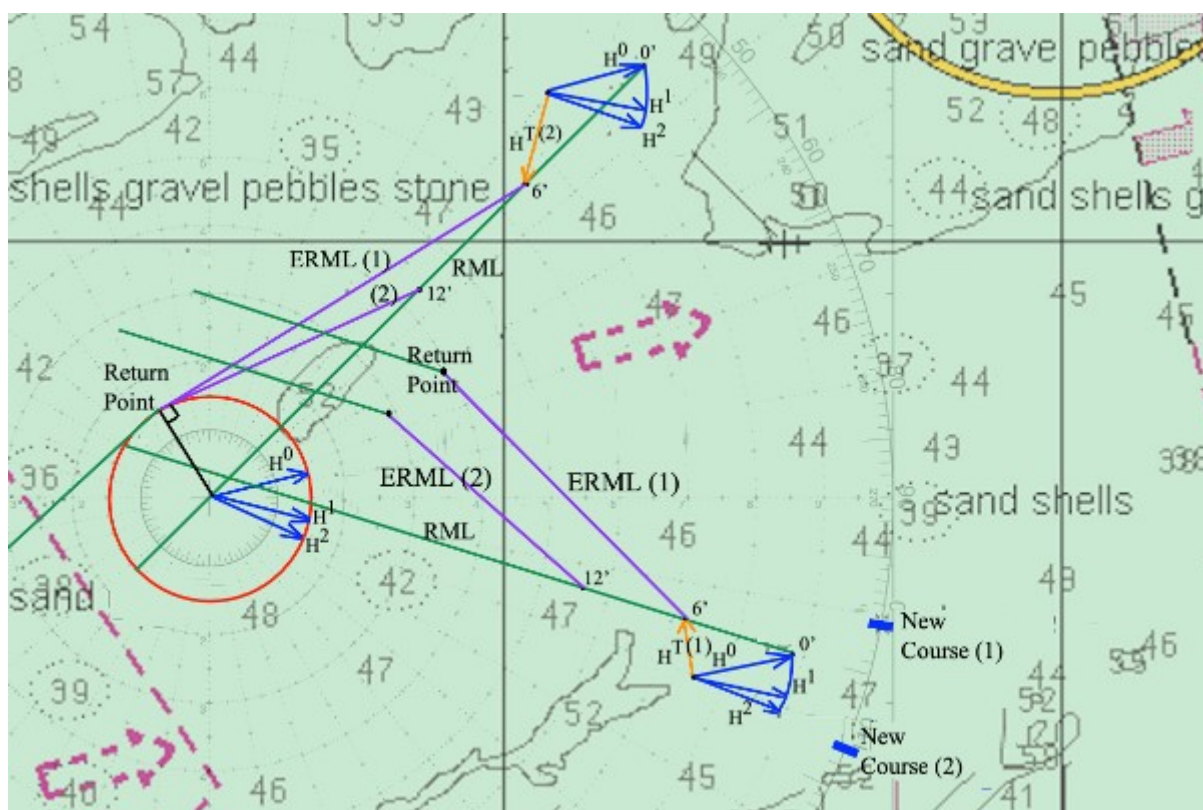


Рис. 5.9. Розрахунок маневру розходження у зближенні трьох суден.

Результати, отримані з радіолокаційного маневреного планшета, показують, що за умов миттєвих розрахунків, зроблених навігаційним офіцером, на момент шостої (6) хвилини, судну необхідно повернути на 26 праворуч (H1) на курс 101° , щоб безпечно розійтись із судном на необхідній відстані в 1,5 милі. Аналогічним способом, за допомогою програми з ІАД, введемо початкові входні дані та задамо необхідні параметри розходження (рис. 5.10). Аналітичний розрахунок маневру розходження для трьох суден у програмі ІАД вимагає ретельного виконання декількох складних кроків. Спочатку, програма ІАД використовує спеціалізовані алгоритми для визначення поточних траєкторій суден і передбачення їхніх майбутніх позицій, після чого ІАД розробляє оптимальні стратегії маневрування для кожного судна, враховуючи не тільки уникнення потенційних зіткнень, але й мінімізацію впливу на загальний графік плавання кожного судна, дозволяючи операторам обрати найбільш прийнятне рішення.

Вхідні дані	<pre>1. **Початкові дані:** - Судно 1 : Курс: 075 градусів / Швидкість: 15.0 вузлів - Судно 2: Курс: 002 градусів / Швидкість: 9.0 вузлів, відстань між судами становить 7.3 морських миль - Судно 3: Курс: 193 градусів / Швидкість: 14.2 вузлів, відстань між судами становить 6.5 морських миль - Бажає мінімально відстань для розходження: 1.5 миль - Розрахувати маневр відхилення праворуч 2. **Определені позиції судів:** Для расчета начальных позиций судов 2 и 3 относительно судна 1 используем их курсы и расстояния. 3. **Переведем курсы в радианы:** - Судно 1: курс 075° = (75° * π / 180) - Судно 2: курс 002° = (2° * π / 180) - Судно 3: курс 193° = (193° * π / 180) 4. **Определені позиції судів 2 и 3 относительно судна 1:** - Судно 2: ((x_2, y_2)) - Судно 3: ((x_3, y_3)) 5. **Переводим векторы скоростей в координаты:** - Скорость судна 1: ((v_x1, v_y1)) - Скорость судна 2: ((v_x2, v_y2)) - Скорость судна 3: ((v_x3, v_y3)) 6. **Рассчитываем безопасное отклонение:** Для обеспечения расхождения на 1.5 морские мили необходимо вычислить новые координаты движения судна 1 относительно остальных судов. Выполним необходимые расчеты. ### Шаг 1: Определение начальных позиций судов Позиции судов 2 и 3 относительно судна 1: - Судно 2: ((x_2 - 7.3 * cos(002° * π / 180), (y_2 - 7.3 * sin(002° * π / 180))) - Судно 3: ((x_3 - 6.5 * cos(193° * π / 180), (y_3 - 6.5 * sin(193° * π / 180))) ### Шаг 2: Определение компонент скоростей Скорости судов в координатах: - Судно 1: ((v_x1 = 15 * cos(075° * π / 180), (v_y1 = 15 * sin(075° * π / 180))) - Судно 2: ((v_x2 = 9 * cos(002° * π / 180), (v_y2 = 9 * sin(002° * π / 180))) - Судно 3: ((v_x3 = 14.2 * cos(193° * π / 180), (v_y3 = 14.2 * sin(193° * π / 180))) ### Шаг 3: Расчет новых координат и скоростей для безопасного расхождения Определим новый курс судна 1, обеспечивающий безопасное расхождение с судами 2 и 3 на расстоянии 1.5 морской мили.</pre>
	<pre>import math # Convert degrees to radians def deg_to_rad(deg): return deg * math.pi / 180 # Initial data course1 = 75 course2 = 2 course3 = 193 speed1 = 15 speed2 = 9 speed3 = 7.3 distance2 = 7.3 distance3 = 6.5 distance3 = 6.5 # Positions of ship 2 and 3 relative to ship 1 x2 = distance2 * math.cos(course2) y2 = distance2 * math.sin(course2) x3 = distance3 * math.cos(course3) y3 = distance3 * math.sin(course3) # Speed components of ships vx1 = speed1 * math.cos(course1) vy1 = speed1 * math.sin(course1) vx2 = speed2 * math.cos(course2) vy2 = speed2 * math.sin(course2) vx3 = speed3 * math.cos(course3) vy3 = speed3 * math.sin(course3) # Function to calculate the new course ensuring 1.5 NM safe distance def calculate_new_course(x2, y2, x3, y3, vx1, vy1, vx2, vy2, vx3, vy3, safe_distance=1.5): angle_rad = deg_to_rad(course1) new_vx1 = speed1 * math.cos(angle_rad) new_vy1 = speed1 * math.sin(angle_rad) t2 = ((x2 * new_vx1 + y2 * new_vy1) == 0) else float('inf') t3 = ((x3 * new_vx1 + y3 * new_vy1) == 0) else float('inf') new_vy1**2)) if (new_vx1 == 0 or new_vy1 == 0) else float('inf') new_vy1**2)) if (new_vx1 == 0 or new_vy1 == 0) else float('inf') d2 = math.sqrt((x2 - new_vx1 * t2)**2 + (y2 - new_vy1 * t2)**2) d3 = math.sqrt((x3 - new_vx1 * t3)**2 + (y3 - new_vy1 * t3)**2) if d2 >= safe_distance and d3 >= safe_distance: return angle, d2, d3 return None, None, None new_course, dist2, dist3 = calculate_new_course(x2, y2, x3, y3, vx1, vy1, vx2, vy2, vx3, vy3, new_course, dist2, dist3) # For ensuring safe distance # 2 and 3) on a distance of 1.5 nautical miles. Ship 1 will deviate to the right on a course of 27 degrees. This ensures a distance of 3.085 nautical miles from ship 2 and 1.572 nautical miles from ship 3. # Such a deviation, the new course of ship 1 should be 27° + 102° = 129°.</pre>
Результат	Для уникнення зіткнення з судном 2 та 3 і розминання на безпечну відстань у 1.5 морської милі, судно 1 необхідно змінити свій курс на 102 градуси, або на 27 градусів праворуч від початкового курсу. Це дозволить судну 1 безпечно розминутися з судном 2 та 3.

Рис. 5.10. Рекомендації штучного інтелекту щодо розв’язання завдання забезпечення маневру розходження

Наведений вище приклад описано у форматі розрахункових модулів, з якого можна зробити висновок, що для того, щоб забезпечити безпечне розходження з судном на необхідній відстані, потрібно відхилитися праворуч приблизно на 26° . Результат, отриманий за допомогою розрахунків ІАД, становить 27° , що майже збігається з фактичним розрахунком та може бути взятий за пріоритетний вибір.

Головною перевагою використання ІАД у ситуації надмірного зближення є значна економія часу на проведення розрахунків. Час, витрачений на розрахунки на радіолокаційному маневровому планшеті, становитиме від 1 до кількох хвилин у стандартних ситуаціях та 3 і більше хвилин у складних, залежно від навичок та досвіду навігаційного офіцера. У випадку із використанням ІАД результат буде отримано протягом кількох секунд, незалежно від сценарію зближення та досвіду навігаційного офіцера. Наведені приклади чітко свідчать про те, що технологія ІАД здатна швидко та ефективно аналізувати різноманітні ситуації зближення суден та якісно розраховувати необхідні параметри розходження за короткий час та надавати корисні рекомендації навігаційному офіцеру.

5.3. Дослідження методів забезпечення екологічної безпеки навігаційних переходів з інтеграцією технологій інтелектуального аналізу даних

Підтримка екологічної безпеки в морському транспорті стала головним завданням для сучасного судноплавства [138-140]. Імплементация ІАД у навігаційні системи суден забезпечує нові можливості для зміцнення екологічної стійкості та підвищення безпеки на морських шляхах. Цей аналіз вивчає основні методики управління екологічною безпекою, їх взаємодію з ІАД та їх застосування в реальних умовах навігації. Моніторинг викидів та запобігання забрудненню водних ресурсів виступають як основні елементи

забезпечення екологічної безпеки в морському секторі. Завдяки сучасним технологіям вдається вести постійний контроль за викидами, використовуючи сенсори та адаптивні системи для автоматизованого аналізу. Впровадження технологій ІАД сприяє підвищенню точності та оперативності моніторингових систем, аналізуючи наявні дані та передбачаючи потенційні викиди на основі актуальних та архівних даних. Екологічна безпека судна розглядається як багатоаспектний показник, що охоплює безпечне управління баластними водами, утримання корпусу судна в безпечному технічному стані та виконання міжнародних конвенцій, які стосуються захисту довкілля від забруднень [141-143]. Особливо важливим є управління екологічною безпекою під час навігаційних переходів, коли судна знаходяться в 12-мильних прибережних зонах, у спеціально визначених екологічних районах та на внутрішніх водах .

Застосування ІАД у процесах екологічного моніторингу значно покращує їх ефективність і точність, зменшуючи ризики та оптимізуючи дотримання екологічних стандартів. Основні екологічні індикатори морського транспорту залежать від викидів оксидів азоту NO_x та оксидів сірки SO_x , які виділяються з випускних газів. Рівні викидів NO_x і SO_x регулюються згідно з Annex VI MARPOL. Максимально допустимі концентрації NO_x у вихлопах залежать від року виготовлення судна та характеристик його двигуна. ІАД аналізує дані про викиди в реальному часі, забезпечуючи точне дотримання лімітів та оперативну корекцію у випадку перевищень. Вміст сірки у судновому паливі, що регулює викиди SO_x , не має перевищувати 0,1 % у зонах спеціального екологічного контролю SECAs та 0,5 % за їх межами згідно з нормами, що набули чинності з 01.01.2020 р. за Annex VI MARPOL, як показано на рис. 5.11. Технологія ІАД контролюють та керують процедурами очищення вихлопних газів, ефективно керуючи роботою скрубєрів та інших фільтраційних систем [144, 145].



Рис. 5.11. Райони SECAs відповідно до вимог ІМО:

1 – SECA Північної Америки, включаючи більшу частину США, узбережжя Канади та Гаваї; 2 – SECA Карибського басейну США, включаючи Пуерто-Ріко та Віргінські острови США; 3 – SECA Північного моря, включаючи Ла-Манш; 4 – SECA Балтійського моря; 5 – усі порти ЄС

Використання палива з високим вмістом сірки (понад 0,5 % за масою, але не більш за 2,7 %) допускається тільки за умови встановлення на судні спеціальних систем очищення випускних газів від сірковмісних сполук, як такі найчастіше використовуються скрубери [146]. Під час екологічного моніторингу навігаційного переходу за допомогою ІАД контролюється співвідношення діоксиду сірки SO_2 (що визначається в ppm) до діоксиду вуглецю CO_2 (що визначається в %) після очищення випускних газів у скрубери, тобто $\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}$. Цей показник не має перевищувати величину 4,1 під час знаходження судна зонах спеціального екологічного контролю SECAs та 21,7 – у випадку знаходження судна поза зон SECAs. ІАД також може оптимізувати маршрути суден, враховуючи екологічні зони та стандарти, що дозволяє зменшити викиди та покращити екологічну стійкість. Вимоги Annex VI MARPOL до контролю емісії оксидів сірки з випускними газами теплових двигунів суден морського та внутрішнього водного транспорту визначені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Вимоги Annex VI MARPOL щодо вмісту оксидів сірки у випускних газах

Район застосування	Характеристики палива щодо вмісту сірки, %	Максимальне можливе значення відношення SO ₂ (ppm)/CO ₂ (%)
За межами ЕСА або порту ЄС, починаючи з 1 січня 2020 року	0,5	21,7
У межах ЕСА або порту ЄС, починаючи з 1 січня 2015 року	0,1	4,3

Підтримка екологічної безпеки енергетичних установок суден морського транспорту можлива за рахунок використання альтернативних палив. Одним з видів екологічно чистого палива є біодизель, що отримують з рослинних жирів та олій шляхом їх обробки метанолом або етанолом. ІАД може керувати процесами використання альтернативних палив, забезпечуючи необхідне дозування альтернативного палива, оптимізуючи роботу теплових двигунів та знижуючи викиди шкідливих речовин з випускними газами [147].

З метою підтвердження можливості використання ІАД для забезпечення екологічності суден морського та внутрішнього водного транспорту було проведено дослідження на морському судні дедвейтом 63246 тонн, призначеному для перевезення навалювальних вантажів. Основні характеристики судна наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Основні характеристики судна

Параметр	Показник
Довжина, м	199,98
Ширина, м	32,26
Осадка, м	13,31
Водотоннажність, тонн	73705
Дедвейт, тонн	63246
Потужність головної енергетичної установки під час номінального навантаження, кВт	1×8050
Потужність допоміжної енергетичної установки під час навантаження, що відповідає 85 % від номінального кВт	3×540

На судні була встановлена сертифікована скруберна система, що дозволяла очищувати випускні гази від оксидів сірки, гарантуючи відповідність суворим екологічним стандартам [148], як показано на рис. 5.12. Система відігравала основну роль у зниженні викидів шкідливих речовин в атмосферу, оскільки дозволяла використовувати паливо з вмістом сірки до 2,7 % за масою. Випускні гази головної та допоміжної енергетичних установок ефективно очищувались від оксидів сірки, зменшуючи вплив судна на довкілля та сприяючи більш чистому і безпечному морському судноплавству.

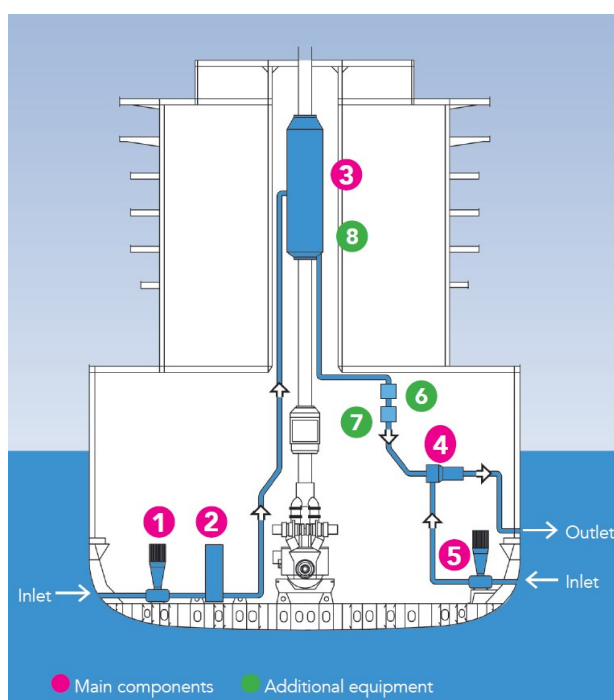


Рис. 5.12. Скруберна система очищення випускних газів суднових дизелів:
1 – насос подачі основного потоку морської води; 2 – фільтр морської води;
3 – тарілчастий скруббер; 4 – змішувач додаткової морської води та води після скрубера, ; 5 – насос подачі додаткової морської води; 6 – блок видалення залишків газів; 7 – блок остаточної фільтрації; 8 – блок охолодження випускних газів

Очищення випускних газів суднових дизелів (головного та трьох допоміжних) проводилося за допомогою системи відкритого типу. Гази з двигунів спрямовувались у скруббер 3. Для очищення в скруббері використовувалась морська вода, яка подавалась через насос морської води 1

та фільтр 2. Продуктивність насоса 1 адаптувалася від 200 до 550 кг/год залежно від вмісту сірки в паливі, потужності головного двигуна і кількості активних допоміжних двигунів. Температура газів у скрубєрі підтримувалася між 200 та 300°C. У разі перевищення цієї температури газу охолоджувались за допомогою охолоджувача 8. Вода після проходження через скрубєр потрапляла у блок дегазації 6 та блок фільтрації 7, де відбувалося відділення газів і твердих частинок. Потім ця вода зливалась за борт. Для підтримки необхідного рівня кислотності води (рівень якої знаходився в межах $\text{pH}=6,8\ldots7,0$) у воду, що зливалась за борт, додавалася забортна вода за допомогою змішувача 4, який працював від буферного насоса 5. Продуктивність цього буферного насоса коливалася в межах від 200...300 кг/год. Усі компоненти системи контролюються автоматично, включаючи підтримку оптимального співвідношення $\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}$, що досягається за допомогою автоматичного регулювання продуктивності забортного водяного насоса 1 [149-151].

ІАД у системі може відповідати за автоматизоване управління всіма елементами, зокрема за підтримку необхідного співвідношення $\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}$. Алгоритми ІАД аналізують різні параметри, такі як вміст сірки у паливі, потужність двигунів, район знаходження судна, і на основі цих даних регулює продуктивність насосів та температуру газів для забезпечення ефективної роботи системи очищення та дотримання екологічних норм. Система також автоматично фіксує місцезнаходження судна, навантаження на головний та допоміжні двигуни, параметри морської води в очисному контурі, а також актуальне значення співвідношення $\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}$. Ці дані реєструються кожні 3 хвилини. Фрагмент таблиці із зареєстрованими параметрами роботи системи представлено на рис. 5.13.

Дата та час UTC	Довжина			Широта			Навантаження, %				Показники води, що скидається за борт			Відношення SO ₂ /CO ₂ , ppm/%
	°	/	//	°	/	//	ГД	ДД №1	ДД №2	ДД №3	Об'єм, м ³ /год	Температура, °C	Рівень кислотності, pH	
18/08 /2023 10:12	59	29	79	1,5	30	88	74	67,5	0	0	168	26	6,8	2,37
18/08 /2023 10:15	59	29	79	1,5	29	88	74	54,5	0	54,0	304	25,5	6,9	2,41
18/08 /2023 10:18	59	29	79	1,5	28	88	74	54,5	0	54,0	308	25,5	6,9	2,48
18/08 /2023 10:21	59	29	79	1,5	27	88	73,5	54,5	0	54,0	305	26	6,8	2,43

Рис. 5.13. Реєстрація показників системи очищення випускних газів навалювального судна дедвейтом 63246 тонн (ГД – головний двигун; ДД – допоміжний двигун)

Під час дослідження судна здійснювало навігаційний перехід між портами Огініш (Ірландія) та Таллінн (Естонія). З проміжним заходом до портів Скаген (Данія), Калундборг (Данія), Гдиня (Польща). Під час руху з порту Огініш (Ірландія) до порту Скаген (Данія) судно заходило до Балтійської SECA. План навігаційного переходу наведено на рис. 5.14. Характеристики навігаційного переходу наведено у таблиці 5.4.

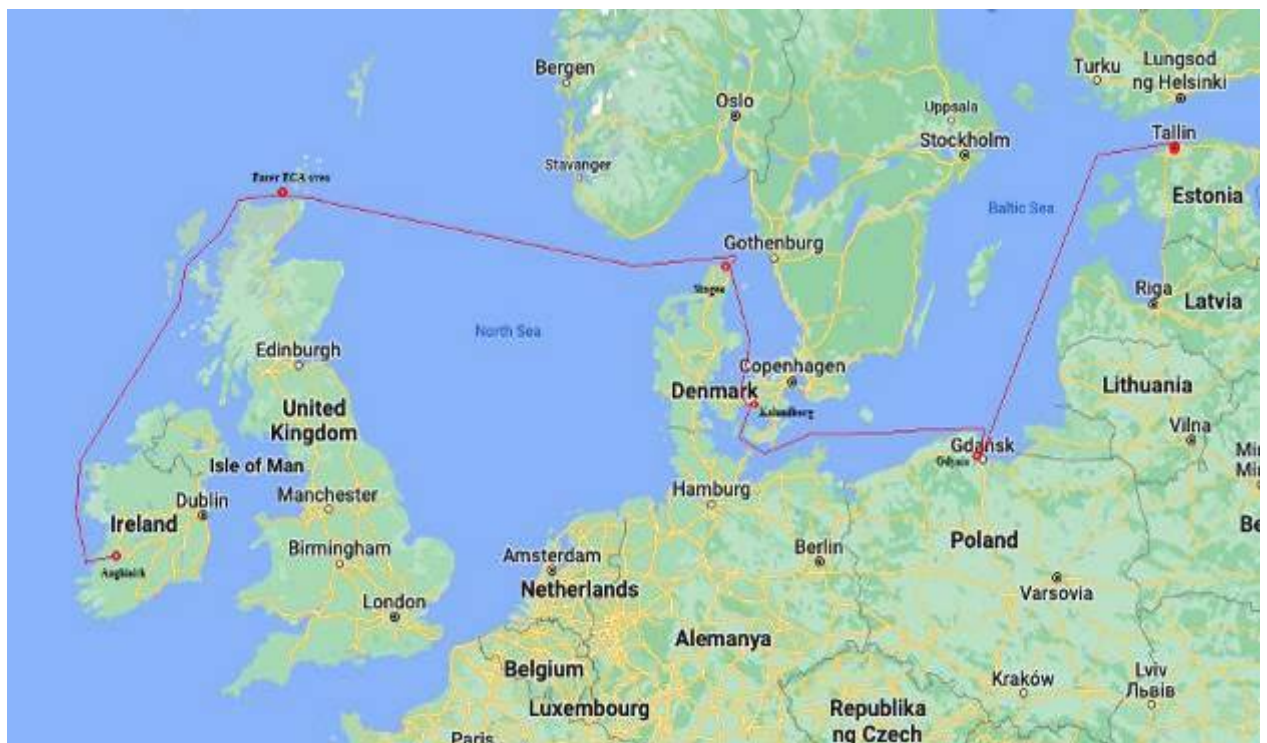


Рис. 5.14. Навігаційний перехід Огініш (Ірландія) – Таллінн (Естонія)

Таблиця 5.4

Основні показники навігаційного переходу Огініш (Ірландія) – Таллінн (Естонія)

Порт відправлення	Порт прибуття	Відстань, морські милі	Витрачений час, год
Огініш (Ірландія)	Вхід до Балтійської SECA	518	46
Вхід до Балтійської SECA	Скаген (Данія)	509	45
Скаген (Данія)	Калундборг (Данія)	156	15
Калундборг (Данія)	Гдиня (Польща)	398	37
Гдиня (Польща)	Таллінн (Естонія)	418	39

Програма спостереження та контролю роботи скруберної системи забезпечувала моніторинг її параметрів (відповідно до рис. 5.13). З наведених показників для оцінки ефективності скруберної системи виконувався аналіз зміни співвідношення $\frac{SO_2}{CO_2} = f(t)$ за часом, динаміка зміни цього відношення наведена в таблиці 5.5. Значення відношення $\frac{SO_2}{CO_2}$ моніторилися системою через кожні 3 хвилини. З метою зменшення кількості інформації у таблиці 5.5 показано значення кожні 5 годин під час роботи за межами SECA та кожні 10 годин під час роботи в SECA.

Таблиця 5.5

Динаміка зміни відношення $\frac{SO_2}{CO_2}$ під час проведення експерименту

Робота поза Балтійською SECA		Робота в Балтійській SECA			
Час, години	відношення SO_2/CO_2	Час, години	відношення SO_2/CO_2	Час, години	відношення SO_2/CO_2
5	7,22	50	2,51	50	2,51
10	6,82	60	2,48	60	2,48
15	6,94	70	2,48	70	2,48
20	7,74	80	2,45	80	2,45
25	7,78	90	2,47	90	2,47
30	7,62	100	2,49	100	2,49
35	6,53	110	2,48	110	2,48
40	6,55				
45	6,46				

Ефективність методу управління екологічною безпекою можна оцінити за виразом

$$E_{co}^{+} = \frac{\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{\max} - \left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_t}{\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{\max}} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

що відповідає екологічній стійкості судна під час проведення скрубберного очищення випускних газів від домішок сірки.

У рівнянні (5.1):

$\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{\max}$ – максимальне для умов роботи судна (в SECA або поза

SECA) значення відношення $\frac{SO_2}{CO_2}$;

$\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_t$ – значення $\frac{SO_2}{CO_2}$ у будь-який момент часу t .

Зі збільшенням значення E_{co}^{+} збільшується віддаленість $\frac{SO_2}{CO_2}$ від максимально допустимого значення залежності $\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{\max}$, що сприяє підвищенню екологічної стійкості судна та екологічній безпеці навігаційного переходу.

Розрахунок значення E_{co}^{+} , виконаний за виразом (5.1), наведено у таблиці 5.6.

Керування екологічною безпекою під час навігаційних переходів є основною складовою діяльності морського транспорту. Зокрема, це актуально для Північної Європи, де існують спеціалізовані екологічні райони для контролю викидів оксидів сірки. Оптимізацію керування екологічною безпекою доцільно виконувати за допомогою технологій ІАД.

Таблиця 5.6

Розрахунок значення Eco+ під час навігаційного переходу навалювального судна дедвейтом 63246 тонн за маршрутом Aughinish – Tallinn

Робота поза Балтійською SECA		Робота в Балтійській SECA			
Час, години	Eco+, %	Час, години	Eco+, %	Час, години	Eco+, %
5	66,73	50	41,63	50	42,56
10	68,57	60	42,33	60	42,33
15	68,02	70	42,33	70	42,56
20	64,33	80	43,02	80	43,26
25	64,15	90	42,56	90	46,75
30	64,88	100	42,09	100	45,58
35	69,91	110	42,33	110	46,05
40	69,82				
45	70,23				

У рамках другого дослідження проводилися експерименти на морському судні Bulk carrier дедвейтом 62625 тонн з судновими допоміжними дизелями Daihatsu Diesel 5DC-17A, яке здійснювало переходи між портами в Південній Америці та Карибському басейні.

Основний фокус дослідження був спрямований на коригування планів морських переходів із застосуванням ІАД для керування використанням біодизельного палива. Це вимагало точного визначення необхідного обсягу палива при бункеруванні та налаштуванні аналізу даних для оптимізації роботи суднових дизельних установок на суміші біопалива та дизельного палива.

Перспективи використання ІАД включають розробку алгоритмів для моніторингу енергоспоживання та емісії забруднюючих речовин, що забезпечить більш ефективне та екологічно безпечне використання біодизельного палива в морських умовах.

У процесі планування морських переходів між різними портами велика увага приділялася питанню бункерування судна біопаливом. Складовою цього процесу була адаптація роботи суднових дизелів для ефективної роботи на суміші традиційного дизельного палива та біопалива. Важливим аспектом експерименту стала взаємодія з технологіями ІАД, що дозволило визначити оптимальну пропорцію біодизелю в паливній суміші. Це виявилось ключем до максимізації зниження емісії оксидів сірки, азоту та вуглецю, сприяючи покращенню екологічних показників суден морського транспорту.

Під час експерименту двигуни судна працювали у двох режимах: паралельному та індивідуальному. В паралельному режимі двигуни працювали одночасно, що дозволяло здійснювати глибокий аналіз впливу біопалива на загальну продуктивність. У індивідуальному режимі кожен двигун тестувався окремо під заданим навантаженням, що давало можливість контролювати і порівнювати ефективність кожного з них. Результати з кожного режиму порівнювались із запропонованими показниками рівня змішування палива від ІАД, дозволяючи виявити оптимальні умови роботи для кожного двигуна. Це сприяло рівномірному розподілу експлуатаційного навантаження та забезпеченню стабільного та ефективного функціонування механізмів.

Маршрут експерименту охоплював різні порти, включаючи транзитні точки для бункерування. Зокрема, переходи здійснювались між такими портами: Сан-Паулу (Бразилія) – Ріо-де-Жанейро (Бразилія) – Сальвадор (Бразилія) – Форталеза (Бразилія) – Порт-оф-Спейн (Трінідад і Тобаго) – Пуерто-Кабельо (Венесуела) – Кінгстон (Ямайка) – Гавана (Куба), як показано на рис. 5.15. Зворотний перехід із Гавани до Сан-Паулу здійснювався у баласті.

Експеримент дозволив не лише підтвердити теоретичні припущення про переваги біодизелю, але й забезпечити практичні рекомендації для судноплавних компаній щодо економічної ефективності, корегування навігаційного плану переходу шляхом інтегрування технологій ІАД [152-153].



Рис. 5.15. Навігаційний перехід Сан-Паулу – Гавана – Сан-Паулу

У продовж навігаційних переходів, у яких здійснювався контроль параметрів навантаження суднових дизель-генераторів та розрахунку витрат біодизельного палива, здійснювалося коригування навігаційних переходів з використанням систем ІАД, шляхом вимірювання витрати палива та часу роботи дизелів на обраних режимах, як наведено у таблиці 5.7. Алгоритми ІАД дозволили мінімізувати похибку вимірів до 1,5%. Визначені значення збігаються з показниками, зазначеними в інструкції з експлуатації дизеля, що підтверджує високу точність та надійність системи.

Сумарна витрата біопалива, яка необхідна для забезпечення переходів між портами та при стоянці в портах, може бути точно визначена та оптимізована завдяки інтеграції систем на основі технологій ІАД. Це дозволяє не лише покращити екологічні показники судна, а й скоротити витрати на паливо за рахунок більш точного планування морського переходу.

Таблиця 5.7

Скоригована схема навігаційного переходу Сан-Паулу – Гавана – Сан-Паулу

Морський перехід	Витрата біопалива під час проходження, кг/гол	Споживання біопалива під час стоянки в порту, кг/гол	Стан переходу	Загальна витрата біопалива між бункеруванням, кг/гол
Сан-Паулу – Ріо-де-Жанейро	385	373	бункерування, морський перехід, вантажні операції	4379
Ріо-де-Жанейро – Сальвадор	1376	497	морський перехід, вантажні операції	
Сальвадор – Форталеза	1468	280	морський перехід, вантажні операції	
Форталеза – Порт-оф-Спейн	3045	–	бункерування, морський перехід	4102
Порт-оф-Спейн – Пуерто-Кабелло	715	342	морський перехід, вантажні операції	
Пуерто-Кабелло – Кінгстон	1266	249	бункерування, морський перехід, вантажні операції	3433
Кінгстон – Гавана	1358	560	морський перехід, вантажні операції	
Гавана – Кінгстон	1358	–	бункерування, морський перехід	2624
Кінгстон – Пуерто-Кабелло	1266	–	морський перехід	
Пуерто-Кабелло – Порт-оф-Спейн	715	435	бункерування, морський перехід, вантажні операції	4195
Порт-оф-Спейн – Форталеза	3045	–	морський перехід	
Форталеза – Сальвадор	1468	–	бункерування, морський перехід	3229
Сальвадор – Ріо-де-Жанейро	1376	–	морський перехід	
Ріо-де-Жанейро – Сан-Паулу	385	–	морський перехід	

ІАД відіграв визначальну роль оптимізації цих процесів, аналізуючи і адаптуючи параметри роботи двигунів залежно від поточних екологічних умов і складу палива. Застосування ІАД дозволило як підвищити точність у роботі двигунів, так і коригувати плани морських переходів у час для досягнення максимальної ефективності. Системи на базі ІАД здійснювали регулювання навантаження на дизелі, що працюють як у паралельному, так і в індивідуальному режимах, забезпечуючи рівномірний розподіл роботи та мінімізацію зношування, що сприяло підтримці високої екологічної ефективності та економічної ефективності перевезень.

Аналогічний метод використовувався під час забезпечення навігаційного переходу між портами Клайпеда (Литва) - Гетеборг (Швеція) і далі між портами Гетеборг (Швеція) - Есб'єрг (Данія) - Бремерхафен (Німеччина) - Роттердам (Голландія) – Антверпен (Бельгія) – Дувр (Великобританія) – Онфлер (Франція) – Брест (Франція), як показано на рис. 5.16. Характеристики навігаційного переходу наведено в таблиці 5.8.

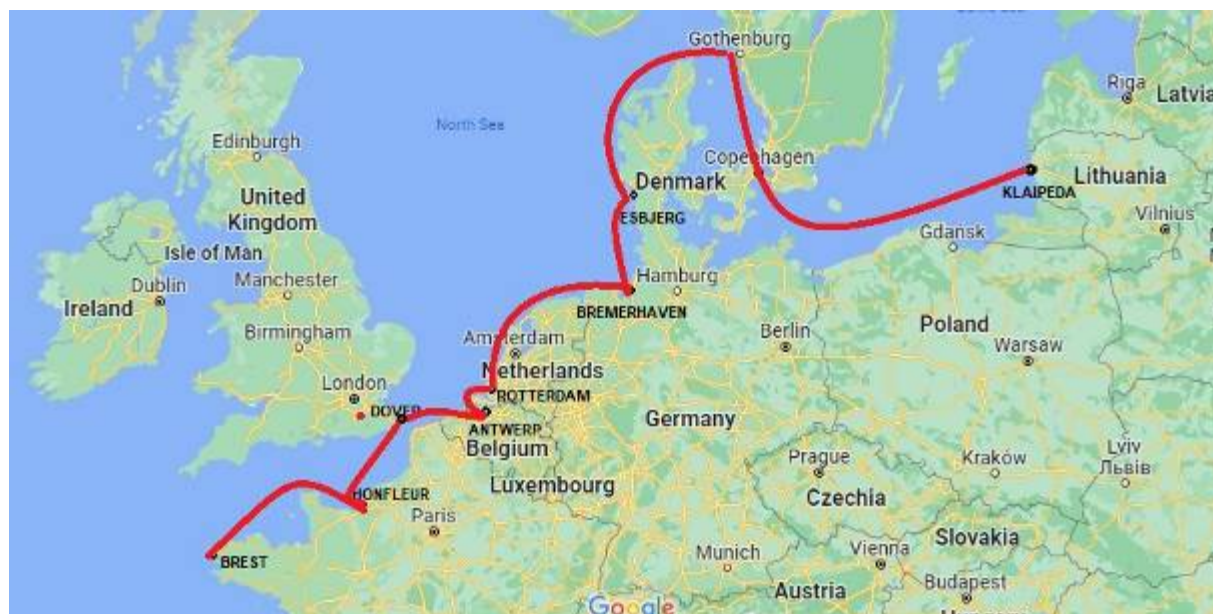


Рис. 5.16 Навігаційний перехід Клайпеда – Брест

Таблиця 5.8

Основні характеристики навігаційного переходу Клайпеда – Брест

Порт відправлення	Порт прибуття	Відстань, морські милі	Витрачений час, год
Клайпеда (Литва)	Гетеборг (Швеція)	430	43
Гетеборг (Швеція)	Есб'єрг (Данія)	418	42
Есб'єрг (Данія)	Бремерхафен (Німеччина)	220	22
Бремерхафен (Німеччина)	Роттердам (Голландія)	238	24
Роттердам (Голландія)	Антверпен (Бельгія)	89	9
Антверпен (Бельгія)	Дувр (Великобританія)	260	26
Дувр (Великобританія)	Онфлер (Франція)	207	21
Онфлер (Франція)	Брест (Франція)	237	24

Застосування ІАД у морському транспорті при аналізі емісій діоксиду сірки SO_2 та діоксиду вуглецю CO_2 , а також для коригування навігаційного переходу на основі параметрів та навантажень дизель-генераторів дозволяє значно підвищити ефективність екологічного управління. У рамках морських експериментів з використанням біопалива, особливо в суворо регульованих екологічних зонах, ІАД забезпечував точний моніторинг та контроль за рівнями SO_2 та CO_2 , що є критично важливим для дотримання міжнародних екологічних норм.

Завдяки адаптації паливної суміші з біодизелем, що гарантує вміст сірки до 0,1 %, системи ІАД сприяють підтримці викидів SO_2/CO_2 у межах встановлених стандартів для екологічних зон. Це дозволяє як ефективно управляти рівнем забруднення, так і оптимізувати маршрути переходів, пристосовуючи їх під поточні екологічні та операційні вимоги.

У ході експерименту, контроль за емісією оксидів сірки здійснювався за стандартизованим співвідношенням SO_2/CO_2 , при цьому значення не перевищували максимально допустимих 21,7 ppm $\text{SO}_2/\%V \text{ CO}_2$ поза зонами

SO_x-ECAs і 4.3 ppm SO₂/%V CO₂ всередині зон SO_x-ECAs, що також визначалось у системі ІАД.

Таким чином, застосування біодизельного палива в комбінації з розвитком та впровадженням технологій ІАД значно підвищує ефективність та екологічність морського транспорту, сприяючи досягненню міжнародних стандартів щодо скорочення шкідливих викидів та оптимізації використання ресурсів.

5.4. Висновки за 5 розділом

У результаті досліджень, виконаних у п'ятому розділі, зробимо такі висновки.

1. Проаналізовано, що система, заснована на ІАД, значно допомагає навігаційному офіцерові в аналізі поточної ситуації, прогнозуванні руху суден та розрахунку оптимальних параметрів маневру розходження з огляду на різні обмеження та нормативи.

2. У результаті розгляду різних прикладів, з натурних спостережень реального часу, у яких формувалися ситуації небезпечного зближення і розраховувався вибір маневру розходження судна шляхом ухилення, було визначено, що точність розрахунків параметрів розходження отриманих за допомогою ІАД на 99 відсотків збігаються з фактичними розрахунками.

3. Досліджуваний спосіб взаємодії навігаційного офіцера з технологіями ІАД довів ефективність та перевагу в швидкості обчислення. Аналіз та розрахунок даних для попередження зіткнення скорочується у годинному етапі у 10...20 разів порівняно з людськими розрахунками.

4. ІАД має змогу аналізувати дані викидів випускних газів у реальному часі, що забезпечує дотримання екологічних норм та оперативне реагування при перевищенні допустимих значень. Інтеграція ІАД дозволяє покращити моніторинг та управління екологічною безпекою, запобігти забрудненню

водних ресурсів, підвищити точність та оперативність систем контролю та знизити екологічні ризики.

5. Ефективність корегування морського переходу під час використання біодизельного палива може точно розраховуватися за допомогою використання технологій ІАД, похибка вимірів становить до 1,5 %.

6. Інтеграція ІАД до системи управління морським транспортом відкриває нові можливості для забезпечення екологічної безпеки. Оптимізація маршрутів, контроль за викидами, управління системами моніторингу – це лише деякі з напрямків, у яких ІАД може значно покращити екологічну стійкість морського транспорту. Подальші дослідження та розробки допоможуть створити більш безпечну та екологічно чисту систему морських перевезень, що відповідає сучасним вимогам.

ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – підвищення безпеки судноводіння шляхом вдосконалення визначення параметрів розходження суден та оптимізації управління рухом судна.

Забезпечення безпеки судноплавства в ситуаціях надмірного зближення суден вимагає застосування інноваційних технологій інтелектуального аналізу даних з метою точного та автоматизованого управління маневруванням судна з урахуванням існуючої навігаційної обстановки, що забезпечує їх безпечне та оптимальне розходження.

Головним науковим результатом дисертаційної роботи є доведена та практично підтверджена теза, що мінімізація ризику зіткнення суден забезпечується шляхом використання технологій інтелектуального аналізу даних під час вибору оптимального маневру розходження, що враховує вимоги МПЗС-72.

Основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження:

1. Основний науковий внесок цієї роботи полягає у розробці методики, яка за допомогою інтелектуального аналізу даних значно скорочує час розрахунку маневрів ухилення і дозволяє швидко та точно визначати оптимальні маневри у складних навігаційних умовах зближення суден.

2. Практичне значення результатів визначення оптимального маневру ухилення в ситуаціях надмірного зближення суден полягає в застосуванні оперативних методологій для аналізу ризиків та траєкторій зближення, де аналітичний підхід дозволяє точно встановлювати критичні часові інтервали.

3. Запропонований метод визначення аналітичних виразів для меж неприпустимих значень параметрів маневру ухилення значно спрощує процес вибору безпечного маневру розходження. Використання даного методу разом із технологіями ІАД забезпечили точність визначення меж

неприпустимих значень на рівні похибки у $\pm 0,5 \dots 1^\circ$ під час вибору курсу відхилення та $\pm 0,1 \dots 0,3$ вузла під час визначення швидкості гальмування.

4. Запропонований підхід до управління рухом суден базується на аналітичних моделях, які адаптуються до умов зближення та включають автоматичне коригування курсу і швидкості. Цей підхід інтегрований з технологіями інтелектуального аналізу даних для автоматизованого прийняття рішень, забезпечує високий рівень безпеки та точність маневрування в динамічних навігаційних умовах.

5. Проаналізовано, що системи ІАД ефективно підвищують безпеку та ефективність морської навігації, швидко обробляючи великі обсяги даних і надаючи навігаційним офіцерам точну інформацію для обґрунтованих рішень, оптимального вибору маршрутів та ефективних маневрів ухилення, що знижує ризики від людського фактора та підвищує точність у критичних ситуаціях згідно з вимогами МПЗЗС-72.

6. Як результат оцінки ризиків, пов'язаних із використанням технологій ІАД у сфері навігації та маневрування, виявлено, що критичними ризиками можуть бути технічні несправності обладнання ІАД, пов'язані з обробкою та синхронізацією даних, та неправильна оцінка відповідальності за прийняття рішень. Втручання додаткових контрольних заходів дозволяє знизити ці ризики до прийняттого рівня.

7. Практичне застосування технологій ІАД оптимізує аналіз поточних критичних ситуацій із надмірним зближенням суден, гарантуючи точність розрахунків на рівні 99 % та прискорюючи у 10...20 разів час проведення розрахунків порівняно з традиційними методами.

8. Практичне застосування технологій ІАД дозволяє коригувати навігаційні переходи в реальному часі для забезпечення екологічних стандартів, аналізуючи викиди випускних газів, оперативно реагуючи на відхилення, покращуючи моніторинг і контроль забруднення довкілля, та знижуючи екологічні ризики з точністю вимірів до 1,5%.

9. Інтеграція ІАД у систему управління морським транспортом відкриває нові можливості для забезпечення екологічної безпеки. Оптимізація маршрутів, контроль за викидами, управління системами моніторингу – це лише деякі з напрямків, у яких ІАД може значно покращити екологічну стійкість морського транспорту.

Наукові результати, що отримані в дисертаційному дослідженні, теоретично обґрунтовані та підтверджені під час проведення експериментів у забезпеченні безпеки судноводіння і вдосконаленні методів розходження суден у ситуаціях надмірного зближення.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении / А.С. Мальцев // Одесса: Морской тренажерный центр. – 2002. – С.208.
2. Мальцев А.С. Выбор оптимального курса для расхождения судов при криволинейном движении / А.С. Мальцев, Линь Май Ба // Судовождение. – №7. – 2004. – С. 47-57.
3. Ворохобин И.И. Разработка теории и методов оценки повышения надежности судовождения: монография / И.И. Ворохобин / – Одесса: НУ «ОМА». – 2019 – 252 с.
4. Бурмака И.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения/ И.А. Бурмака, Г.Е. Калиниченко, М.А. Кулаков // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 26. – Одесса. – 2015. – С. 35-41.
5. Ponomaryova V. Devising an approach for the automated restoration of shipmaster's navigational qualification parameters under risk conditions / V. Ponomaryova, P. Nosov, A. Ben, I. Popovych, Y. Prokopchuk, P. Mamenko, S. Dudchenko, E. Appazov, I. Sokol // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2024. – № 1(3(127)). – P. 6–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296955>
6. Гончарук І.П. Оцінка навігаційної безпеки в обмежених умовах та районах інтенсивного судноплавства / І.П. Гончарук, А.І. Головань // Водний транспорт. – 2023. – № 1(37). – С. 136-143. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.15>
7. Бурмака И.А. Условие существования множества маневров расхождения судов изменением скоростей / И.А. Бурмака // Судовождение: Сб. научн. Трудов ОНМА, Вып. 27. – Одесса. – 2016 – С. 32 – 37.

8. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С. – 2015. – С. 312.

9. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков // LAP LAMBERT Academic Publishing – Саарбрюккен (Германия). – 2016. – С.585.

10. Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден / С.С. Сагін, С.В. Сагін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.

11. Ворохобин И.И. Применение метода максимального правдоподобия для оценки эффективных координат судна / И.И. Ворохобин // East European Scientific Journal, No2 (42) – 2019, volume 1. – С. 10 – 16.

12. Ворохобин И.И. Оценка навигационной безопасности при плавании судов в стесненных водах / И.И. Ворохобин, Ю.В. Казак, В.В. Северин – LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2018. – 240 с.

13. Пятаков Э.Н. Способ определения безопасного маневра расхождения судна изменением курса в ситуации опасного сближения с двумя целями/ Э.Н. Пятаков, В.Э. Пятаков, Т.Ю. Омельченко // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2018. – Vol. 18. – Iss. 158. – P. 72 - 75.

14. Пятаков Э.Н. Формирование системы бинарной координации судов с учетом закона необходимого разнообразия Эшби / Э.Н. Пятаков // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ "ОМА". – С. 75 – 78.

15. Бурмака И.А. Выбор безопасного курса судна с учетом его инерционности/ И.А. Бурмака // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ "ОМА". – С. 17 – 21.

16. Ворохобин И.И. Повышение точности управления судном минимизацией ковариационной матрицы векториальной погрешности его поворота /

И.И. Ворохобин // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ «ОМА». – С. 29 – 32.

17. Пасечнюк С.С. Учет инерционных характеристик судов при формировании области недопустимых значений параметров их движения /С.С. Пасечнюк // Austria - science, Issue: 16. – 2018. – С. 38-43.

18. IMO SOLAS 2020 Consolidated Edition. – IMO. – 2020. – 574 с.

19. Петриченко Е.А. Разработка судовой информационной системы предупреждения столкновений / Е.А. Петриченко, О.А. Петриченко// Судовождение: Сб. научн. трудов. НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ». – 2018 – С. 120-130.

20. Бурмака И.А. Методы внешнего управления судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака, М.А. Кулаков, Г.Е. Калиниченко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2017. – № 2(17). – С. 4-14.

21. Волков А.Н. Формирование процесса расхождения судна в ситуации опасного сближения методом виртуальных областей / А.Н. Волков, А.Ю. Булгаков, А.А. Голиков // East European Scientific Journal, № 11 (27). – 2017. – part 1. – С. 4-13.

22. Vorokhobin I. Determination of the Law of Probability Distribution of Navigation Measurements / I. Vorokhobin, A. Golikov, O. Haichenia, V. Sikirin, V. Severin / Kaunas, Lithuania. – 2020.– P. 707-710.

23. Burmaka I. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed / I. Burmaka, I. Vorokhobin, O. Melnyk, O. Burmaka, S. Sagin // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.

24. Бурмака И.А. Оценка вероятности степени опасности сближения судов /. И.А. Бурмака, А.В. Янчецкий // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 30. – Одеса : НУ«ОМА». – С. 27-33. DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.27-33.

25. Бурмака А.И. Имитационное моделирование процесса расхождения судов экстренным уклонением при чрезмерном сближении / А.И. Бурмака, В.В. Калюжный // Судноводіння: науково-технічний збірник. – 2019. – Вип. 29. – Одеса : НУ«ОМА». – С. 37-46. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.37-46.

26. Pavić I. Analysis of Crowdsourced Bathymetry Concept and It's Potential Implications on Safety of Navigation/ I. Pavić, J. Mišković, J. Kasum, D. Alujević // TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation – 2020. – Vol. 14, No. 3, P. 681-686.

27. Ворохобин И.И. Влияние закона распределения погрешности бокового отклонения на вероятность безопасного прохождения судном стесненного маршрута / И.И. Ворохобин // East European Scientific Journal, No5 (33). – 2018, volume 1. – С. 30 – 36.

28. Hornaue S. Trajectory Planning with Negotiation for Maritime Collision Avoidance / S. Hornauer, A. Hahn, M. Blaich, J. Reuter // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2015. – Vol. 9. – No. 3.– P. 335-341.

29. Пятаков Э.Н. Определение областей взаимных обязанностей судов при опасном сближении / Э.Н. Пятаков, С.В. Капанский // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 26. – Одесса.– 2015 – С. 137-143.

30. Пятаков Э.Н. Локально независимое управление процессом расхождения судов / Э.Н. Пятаков, Т.Ю. Омельченко, Е.Л. Волков .// Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2017. – № 2(17). – С. 79 - 87.

31. Волков Е.Л. Использование областей недопустимых значений параметров движения судна при локально – независимом управлении процессом расхождения / Е.Л. Волков // East European Scientific Journal, № 11 (27). – 2017. – part 1. – С. 14-23.

32. Пятаков Э.Н. Выбор стратегии расхождения при локально-независимом управлении судов в ситуации опасного сближения /

Э.Н. Пятаков, С.С. Пасечнюк, Т.Ю. Омельченко // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132. – 2017. – С. 78-81.

33. Бурмака И.А. Предупреждение столкновений судов методами внешнего управления процессом расхождения / И.А. Бурмака, Г.Е. Калиниченко, М.А. Кулаков // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132. – 2017. – С. 56-60.

34. Волков Е.Л. Выбор маневра расхождения судна изменением курса с помощью области недопустимых параметров движения / Е.Л. Волков // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2017. – Vol. (14). – Iss. 132. – P. 97 - 101.

35. Калініченко Т.В. Маневр повернення судна на задану траєкторію руху після розходження з ціллю / Т.В. Калініченко, О.Н. Тимошук, Г.Г. Томчаковський // “Судноводіння / Shipping & Navigation”. Науково-технічний збірник. – 2023. – №34. – С. 59-65. DOI: 10.31653/2306-5761.34.2023.59-65.

36. Бурмака И.А. Выбор стратегии расхождения группы судов методами внешнего управления/ И.А. Бурмака // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2017. – Vol. 16. – Iss. 148. – P. 66 - 70.

37. Viljanen Mika. (2023). How to Ensure Safe Navigation: Navigation Safety Regulation in MASS. 10.1007/978-3-031-24740-8_8.2.

38. Yuan X. Unmanned Vessel Collision Avoidance Algorithm by Dynamic Window Approach Based on COLREGs Considering the Effects of the Wind and Wave / X. Yuan, C. Tong, G. He, H. Wang // J. Mar. Sci. Eng. – 2023. – 11, 1831. <https://doi.org/10.3390/jmse11091831>.

39. Wu Y. Review of Path Planning Methods for Marine Autonomous Surface Vehicles / Y. Wu, T. Wang, S.A. Liu // J. Mar. Sci. Eng. – 2024. – 12, 833. <https://doi.org/10.3390/jmse12050833>.

40. Kim D. Ship Collision Avoidance by Distributed Tabu Search/ D. Kim,

K. Hirayama, T. Okimoto // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2015. – Vol. 9. – No. 1. – P. 23-29.

41. Ворохобин И.И. Универсальный способ стохастического описания случайных погрешностей навигационных измерений / И.И. Ворохобин, В.Г. Алексишин, И.Ю. Фусар // Судноводіння: Зб. наук. праць / НУ «ОМА». Вип. 28. – Одеса: «ВидавІнформ». – 2018 – С. 42 – 47.

42. Hwang T. Development of a Graph-Based Collision Risk Situation Model for Validation of Autonomous Ships' Collision Avoidance Systems / T. Hwang, I.-H. Youn // J. Mar.Sci. Eng. – 2023 – 11, 2037. <https://doi.org/10.3390/jmse11112037>.

43. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров движения судов для безопасного расхождения / И.А. Бурмака, Э.Н. Пятаков // Austria - science, Issue: 11. – 2018. – С. 34-38.

44. Петриченко О.А. Использование областей недопустимых параметров расхождения для предотвращения столкновения судов / О.А. Петриченко // Austria - science, Issue: 26. – 2019. – С. 28-34.

45. Wang J. Collision-Free Formation-Containment Tracking of Multi-USV Systems with Constrained Velocity and Driving Force / J Wang, Q. Shan, T. Li, G. Xiao, Q. Xu // J. Mar. Sci. Eng. – 2024. – 12, 304. <https://doi.org/10.3390/jmse12020304>.

46. Пятаков Э.Н. Учет линейной навигационной опасности при выборе маневра расхождения судна / Э.Н. Пятаков // Austria - science, Issue: 23. – 2019. – С. 43-47.

47. Бурмака И.А. Определение предельно-допустимой дистанции сближения при эллиптической форме судового домена / И.А. Бурмака // Austria - science, Issue: 23. – 2019. – С. 36-42.

48. Пятаков Э.Н. Способ расхождения судна с двумя опасными целями последовательными уклонениями / Э.Н. Пятаков, В.Э. Пятаков, О.А. Петриченко // Austria - science, Issue: 16. – 2018. – С. 44-48.

49. Бурмака И.А. Выбор совместной стратегии расхождения судов изменением параметров движения при их внешнем управлении. / И.А. Бурмака, С.С. Пасечнюк // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2018. – Vol. 18. – Iss. 158. – P. 41- 46.

50. Кулаков М.А. Использование областей опасных скоростей для выбора маневра расхождения судов/ М.А. Кулаков, Г.Е. Калиниченко, Е.А. Петриченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ "ОМА". – С. 62 – 65.

51. Пасечнюк С.С. Использование маневра снижения скорости одного из судов при внешнем управлении процессом расхождения / С.С. Пасечнюк // East European Scientific Journal, № 5 (33) – 2018. – part 1. – С. 25 - 29.

52. Омельченко Т.Ю. Оценка минимальной допустимой дистанции сближения судов / Т.Ю. Омельченко, К.С. Мартыненко // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 27. – Одесса. – 2017. – С. 137-142.

53. Бурмака И.А. Способ аналитического расчета оптимального маневра расхождения пары судов изменением скоростей / И.А. Бурмака // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ "ОМА". – С. 9-14.

54. Бурмака И.А. Учет инерционно-тормозных характеристик при выборе маневра расхождения изменением скоростей судов / И.А. Бурмака // Austria - science, Issue: 16. – 2018. – С. 34-37.

55. Lisowski J. Analysis of Methods of Determining the Safe Ship Trajectory / J. Lisowski // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 10, № 2. – 2016, P. 376-381.

56. Бажак О.В. Удосконалення методу оцінки показників надійності обладнання засобів водного транспорту / О.В. Бажак // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 148-159. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.

57. Тимощук О.М. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу / О.М. Тимощук, О.В. Мельник // Водний

транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.

58. Петриченко О.А. Способ оперативного определения параметров маневра расхождения судна / О.А. Петриченко, Н.Н. Цымбал // Austria - science, Issue: 23. – 2019. – С. 48-53.

59. Волков А.Н. Использование виртуальных областей при плавании судна в стесненных водах / А.Н. Волков, А.А. Голиков, А.Ю. Булгаков // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132. – 2017. – С. 56 - 60.

60. Бородулин А.В. Область недопустимых значений курсов судов при использовании домена прямоугольной формы / А.В. Бородулин // Austria - science, Issue: 26. – 2019. – С. 15-21.

61. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров для предупреждения столкновений судов при их внешнем управлении / И.А. Бурмака, М.А. Кулаков, С 40-47.

62. Омельченко Т.Ю. Отображение траектории расхождения судна уклонением вправо в множество форм относительных траекторий / Т.Ю. Омельченко, Э.Н. Пятаков, Е.Е. Тюпиков // East European Scientific Journal, № 11 (27). – 2017. – part 1. – С. 58-69.

63. Wang X. Maritime Search Path Planning Method of an Unmanned Surface Vehicle Based on an Improved Bug Algorithm / X. Wang, Y. Yin, Q. Jing, // J. Mar. Sci. Eng.– 2023 – 11, 2320. <https://doi.org/10.3390/jmse11122320>.

64. Shi X. Integrated Method for Ship Heading Control Using Motion Model Prediction and Fractional Order Proportion Integration Differentiation Controller / X. Shi, P. Chen, L.An Chen // J. Mar. Sci.Eng. – 2023. – 11, 2294. <https://doi.org/10.3390/jmse11122294>.

65. Кулаков М.А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов / М.А. Кулаков // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 27. – Одесса. – 2016 – С. 112-118.

66. Омельченко Т.Ю. Взаимосвязь форм истинной и относительной траекторий расхождения / Т.Ю. Омельченко // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences.* – 2017. – Vol. 16. – Iss. 148. – P. 82 - 84.

67. Гончарук І.П. Особливості управління безпекою маневрування при виконанні швартових операцій до борту судна / Гончарук І.П., Головань А.І., Шумило О.М., Шамов О.В. // *Розвиток транспорту.* – 2023. – No 1(16). – С. 69-78. <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.06>.

68. Бурмака И.А. Маневр последовательного расхождения с двумя целями изменением курса и пассивным торможением / И.А. Бурмака, Э.Н. Пятаков // *East European Scientific Journal*, № 5 (33). – 2018. – part 1. – С. 19-24.

69. Петриченко Е.А. Сложный маневр выхода судна на программную траекторию после уклонения от опасной цели / Е.А. Петриченко, В.В. Калюжный // *East European Scientific Journal*, № 4 (44). – 2019. – part 1. – С. 31 - 36.

70. Кулаков М.А. Выбор оптимальных скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения / М.А. Кулаков // *Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб.* – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ "ОМА". – С. 51-56.

71. Пятаков Э.Н. Формирование полной стратегии расхождения судов / Э.Н. Пятаков, Т.Ю. Омельченко // *Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб.* – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ "ОМА". – С. 77-83.

72. Hao G. The Analysis of Intelligent Functions Required for Inland Ships / W. Xiao, L. Huang, J. Chen, K. Zhang, Y. Chen // *J. Mar. Sci. Eng.* – 2024. – 12, 836. <https://doi.org/10.3390/jmse12050836>.

73. Бородулин А.В. Определение предельно-допустимой дистанции сближения судов для доменов эллиптической и сложной формы / А.В. Бородулин // *East European Scientific Journal*, № 4 (44). – 2019. – part 1. – С. 37 - 42.

74. Brcko T. Decision Support System Using Fuzzy Logic for Collision Avoidance in Multi-Vessel Situations at Sea/ T. Brcko, B.A Luin. // J.Mar. Sci. Eng. – 2023 – 11, 1819. <https://doi.org/10.3390/jmse11091819>.

75. Nosov, P. S. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers / Nosov, P. S., Zinchenko, S. M., Popovych, I. S., Ben, A. P., Nahrybelnyi Y. A., Mateichuk, V. M. // Radio Electronics, Computer Science, Control, (1), 146–161, 2020. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-1-15>.

76. Xing Y. Adaptive Fuzzy Quantized Control for a Cooperative USV-UAV System Based on Asynchronous Separate Guidance / Y. Xing, G. Zhang, J. Li // J. Mar. Sci. Eng. – 2023. – 11, 2331. <https://doi.org/10.3390/jmse11122331>.

77. Liu Z. Model for Identifying Regional Collision Risk and Depicting Its Geographical Distribution. / Z. Liu, Z. Wu, Z. Zheng, X. Yu, X. Bu, W. A. Zhang, Domain-Based // J. Mar. Sci. Eng. .–. 2023. – 11, 2092. <https://doi.org/10.3390/jmse11112092>.

78. Бурмака И.А. Выбор оптимального вектора управления судами изменением курсов для безопасного расхождения / И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 29 – 33.

79. Ворохобин И.И. Плотность распределения векториальной позиционной погрешности при избыточных измерениях и ее применение. / И.И. Ворохобин // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(22), Issue: 186. – 2018. – С. 95 – 99.

80. Ворохобин И.И. Зависимость вероятности безопасного прохождения судном стесненного района от закона распределения погрешности смещения / И.И. Ворохобин // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 30. – Одеса : НУ«ОМА». – С. 58-66. DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.58-66.

81. Ворохобін І.І. Спосіб департаментизації електронної карти при зовнішньому управлінні розходження суден в зоні відповідальності СУРС /

І.І. Ворохобін, І.О. Бурмака, М.О. Кулаков, О.О. Петриченко // Судноводіння: науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 32. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 26-33. DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.

82. Ворохобин И.И. Преобразование векториальной погрешности в погрешность бокового отклонения / И.И. Ворохобин, В.В. Северин // Судноводіння: 36. наук. праць / НУ «ОМА». Вип. 27. – Одеса: «ВидавІнформ». – 2017. – С. 71 – 76.

83. Калиниченко Г.Е. Формирование области опасных курсов судов с учетом их динамических характеристик / Г.Е. Калиниченко, С.С. Пасечнюк // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ "ОМА". – С. 44-50.

84. Ворохобин И.И. Анализ возможности применения ортогонального разложения плотности смешанных законов распределения погрешностей полиномами Эрмита / И.И. Ворохобин, И.Ю. Фусар, Б.М. Алексейчук // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(18), Issue: 158. – 2018. – С. 84 – 88.

85. Ворохобин И.И. Повышение точности обсервации судна при избыточных измерениях / И.И. Ворохобин, И.Ю. Фусар // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2018. – Вып. 24. Одесса: НУ «ОМА». – С. 27 – 33; ISSN 1819-3293.

86. Кулаков М.О. Гибридная система управления взаимодействием судов в ситуации их опасного сближения / М.О. Кулаков, О.Ю. Козаченко, В.В. Степаненко // Судовождение: Сб. научн. трудов. НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатІнформ». – 2017 – С. 103-108.

87. Бужбецкий Р.Ю. Формализация взаимодействия судов при опасном сближении / Р.Ю. Бужбецкий // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 27. – Одесса. – 2016. – С. 26-31.

88. Алексейчук Б.М. Идентификация закона распределения погрешностей измерений / Б.М. Алексейчук, С.С. Пасечнюк //

Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса. – 2016 – С. 10-15.

89. Ворохобин И.И. Определение места судна при избыточных измерениях применением ортогонального разложения плотности распределения погрешностей навигационных измерений / И.И. Ворохобин, Д.В. Астайкин // Austria - science, Issue: 11. – 2018. – С. 39 – 44.

90. Алексишин А.В. Выбор курса уклонения судна с учетом закона распределения векториальной погрешности/ А.В. Алексишин, А.И. Бурмака, А.Р. Цагикян // Судовождение: Сб. научн. трудов. НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ». – 2018 – С. 10-15.

91. Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Д.В. Астайкин, В.Е. Сикирин, И.И. Ворохобин, Б.М. Алексейчук // Saarbrücken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing.– 2017. – С.274.

92. Сикирин В.Е. Описание навигационных погрешностей с помощью обобщенного распределения Пуассона/ В.Е. Сикирин // Судовождение: Сб. научн. трудов./ОНМА, Вып. 26. – Одесса. – 2016 – С. 152 – 156.

93. Голіков В.А. Методологія наукових досліджень : навчальний посібник / В.А. Голіков, М.А. Козьмініх, О.А. Онищенко. – Одеса : ОНМА.– 2014. – С. 164.

94. Панкратова Н.Д. Системний аналіз. Теорія та застосування : підручник / Н.Д. Панкратова. – Київ : Наук. Думка. – 2018. – 347 с.

95. Коваленко І.І. Вступ до системного аналізу : навчальний посібник / І.І. Коваленко, П.І. Бідюк, О.П. Гожий. – Миколаїв : МДГУ ім. П.Могили. – 2004. – 148 с.

96. Катренко А.В. Системний аналіз : підручник / А.В. Катренко. – Львів : Новий Світ – 2000, 2011. – 396 с.

97. Чорней Н.Б. Теорія систем і системний аналіз : навчальний посібник / Н.Б. Чорней. – Київ : МАУП. – 2005. – 256 с.

98. Бурмака І.О. Формалізація області небезпечних курсів і швидкостей судів при зовнішньому управлінні їх процесом розходження/ І.О. Бурмака, С.С. Пасечнюк // Судовождение: Сб. научн. трудов. НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ». – 2018 – С. 16-23.

99. Пятаков Э.Н. Формализация ситуации опасного сближения судов/ Э.Н. Пятаков // East European Scientific Journal, № 2 (42). – 2019. – part 1. – С. 4- 9.

100. Омельченко Т.Ю. Формы истинной и относительной траекторий расхождения судов/ Т.Ю. Омельченко, В.В. Калюжный, А.В. Бородулин // Судовождение: Сб. научн. трудов. НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ». – 2017 – С. 109-119.

101. Бурмака А.И. Учет угловой скорости судна при расчете параметров маневра расхождения в ситуации чрезмерного сближения / А.И. Бурмака, Волков А. Н. // East European Scientific Journal, № 4 (44). – 2019. – part 1. – С. 19-23.

102. Ворохобин И.И. Траекторная погрешность поворота судна и способы снижения ее величины / И.И. Ворохобин, Ю.В. Казак, В.В. Северин // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132. – 2017. – С.101 – 104.

103. Волков Е.Л. Оперативный способ предупреждения столкновения судов с помощью области недопустимых параметров движения / Е.Л. Волков // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ "ОМА". – С. 21-24.

104. Gao W. Research on Method of Collision Avoidance Planning for UUV Based on Deep Reinforcement Learning / W. Gao, M. Han, Z. Wang, L. Deng, H. Wang, J. Ren // J. Mar. Sci.Eng. – 2023. – 11, 2245. <https://doi.org/10.3390/jmse11122245>.

105. Бурмака А.И. Формы относительных траекторий расхождения при уклонении судна влево / А.И. Бурмака, Т.Ю. Омельченко // Austria - science, Issue: 26. – 2019. – С. 22-27.

106. Ворохобин І.І. Векторіальні погрешності, що виникають при повороте судна / І.І. Ворохобин, Ю.В. Казак // Судноводіння: Зб. наук. праць / НУ «ОМА». Вип. 26. – Одеса: «ВидавІнформ». – 2016. – С. 60 – 64.

107. Ворохобин І.І. Эффективность применения полиномов Эрмита для ортогонального разложения плотностей распределения навигационных погрешностей / І.І. Ворохобин, В.Е. Сикирин, І.Ю. Фусар // East European Scientific Journal, No11 (27). – 2017, volume 1. – С. 25 – 31.

108. Дакі О.А. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах / О.А. Дакі, Л.Л. Пліта, І.В. Трофименко, В.М. Федунів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.

109. Бурмака І.А. Учет динамики судов при автоматическом выборе маневра расхождения уклонением одного судна и пассивным торможением другого / І.А. Бурмака, І.І. Ворохобин, Д.Б. Федоров // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 31. –С. 80-88. DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.

110. Li S.J. Distributed coordination for collision avoidance of multiple ships considering ship maneuverability / S.J. Li, J.L. Liu, R.R. Negenborn // Ocean Eng. – 2019. – № 181. – P. 212-226. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.03.054>.

111. Сагін С.С. Determination of the boundary values of the course alteration/ Сагін С.С. // Наукова теоретично конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології», 18.11.2021 – 19.11.2021.– Одеса: Національний університет «Одеська морська академія»; 2021. – С. 83-86.

112. Сагін С.С. Визначення параметрів маневру ухилення під час забезпечення безпечного розходження морських суден / С.С. Сагін, І.І. Ворохобін // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023)», 24-25 травня 2023 р. – Херсон : ХДМА. –2023. – С. 127-130.

113. Мальцев А.С. Динамічне позиціонування судна при відхиленнях параметру управління, величина якого порівняна з похибками його визначення // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон : Херсонська державна морська академія. – 2020. – № 1(20). – С. 44-54.

114. Омельченко Т.Ю. Учет динамики судна при повороте/ Т.Ю. Омельченко // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 26. – Одесса:. – 2015 – С. 120-126.

115. Петриченко Е.А. Имитационное моделирование процесса расхождения судов в стесненных водах / Е.А. Петриченко // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 27. – Одесса. – 2016 – С. 143-148.

116. Астайкин Д.В. Идентификация законов распределения навигационных погрешностей смешанными законами двух типов / Д.В. Астайкин, Б.М. Алексейчук // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. – С. 3 – 9.

117. Ворохобин И.И. Проверка статистических гипотез распределения по- грешностей измерения навигационных параметров / И.И. Ворохобин // East European Scientific Journal, No4 (44) – 2019, volume 3. – С. 11 – 18.

118. Сагін С.В. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження / С.В. Сагін, С.С. Сагін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.

119. Ворохобин И.И. Определение эффективных координат судна при из- быточных измерениях / И.И. Ворохобин // Автоматизация судовых техниче- ских средств: науч.-техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ «ОМА». – С. 25 – 29.

120. Ворохобин И.И. Влияние способа расчета координат судна при избы- точных измерениях на их точность / И.И. Ворохобин, И.Ю. Фусар // Austria – Science, Issue: 26. – 2019. – С. 3 – 8.

121. EMSA: Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2023. URL: <https://safety4sea.com/emsa-annual-overview-of-marine-casualties-and->

incidents-2023/ (дата звернення: 25.10.2023).

122. Marine transportation occurrences in 2021. URL: <https://www.tsb.gc.ca/eng/stats/marine/2021/ssem-ssmo-2021.html>.

123. Accident Investigation Publications. URL: <http://www.emsa.europa.eu/accident-investigation-publications/annual-overview.html>.

124. Bernard Marr. Artificial Intelligence in Practice./ Marr Bernard, Ward Matt. TJ International Ltd, Padstow, Cornwall, UK, 2019. – 333 p.

125. Malić E.A Method and a Model for Risk Assessment of GNSS Utilisation with a Proof-of- Principle Demonstration for Polar GNSS Maritime Applications/ E. Malić, N. Sikirica, D. Špoljar, R. Filjar // TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation. – 2023. – Vol. 17, No. 1, P. 43-50.

126. Xu J. Research on Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System for Ships Operating in Seasonal Sea-Ice Covered Waters / J. Xu, S Xu. L. Ma, S. Qian. X. Li // J.Mar. Sci. Eng. – 2024. – 12, 827. <https://doi.org/10.3390/jmse12050827>.

127. Wang Z. Risk Identification Method for Ship Navigation in the Complex Waterways via Consideration of Ship Domain / Z. Wang, Y. Wu, X. Chu, C. Liu, M. Zheng // J. Mar. Sci. Eng. – 2023 – 11, 2265. <https://doi.org/10.3390/jmse11122265>.

128. Мальцев А.С. Системы принятия решений по управлению движением судна : монографія / А.С. Мальцев, А.П. Бень. – Херсон : ХГМА, 2019. – 240 с.

129. Мальцев А.С. Маневрування суден під час розходження / А.С. Мальцев, Тюпіков Е.Е., І.І. Ворохобін, І.Л. Сурінов. – Одеса : НУ «ОМА», 2021. – 178 с.

130. Майданевич С.Б. Суб'єкти та принципи міжнародного морського права / С.Б. Майданевич, О.М. Тимощук // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.

131. Тимощук О.М. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови / О.М. Тимощук, О.А. Дакі, О.А. Бойко, Т.А. Карадобрій // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13>.

132. Пятаков Э.Н. Координация безопасного расхождения трех судов/ Э.Н. Пятаков, С.В. Копанский, Е.Л. Волков // Судовождение: Сб. научн. трудов. ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ». – 2017 – С. 185-193.

133. Пятаков Э.Н. Согласование маневров расхождения нескольких судов. / Э. Н. Пятаков, В.Э. Пятаков, К.Я. Станкевич // Судовождение: Сб. научн. трудов. НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ». – 2018 – С. 152-158.

134. Пятаков В.Э. Маневр расхождения судна с двумя опасными целями / В.Э. Пятаков, О.А. Петриченко, В.В. Калюжный // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2018. – Вып. 24. Одесса: НУ "ОМА". – С. 81-87.

135. Пятаков В.Э. Имитационное моделирование процесса расхождения судна с двумя целями / В.Э. Пятаков // Austria - science, Issue: 26. – 2019.– С. 35-42.

136. Melnyk O. Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control / O Melnyk, O. Onishchenko, S. Onyshchenko, A. Voloshyn, Y. Kalinichenko, O. Rossomakha, G. Naleva, O. Rossomakha // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2022. – Vol. 16, No. 3, P. 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18.

137. Maltsev A. Improving the navigational preparation of a bridge crew for entering/leaving a port, including activities in case of emergency / A. Maltsev, I. Surinov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021 – № 3(3(111)). – С. 42-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235092>.

138. Sagin S.V. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel / S.V. Sagin, S. Karianskyi, S.S. Sagin,

O. Volkov, Y. Zablotskyi, O. Fomin, V. Píšťek, P. Kučera // *Applied Ocean Research* – 2023. – Vol. 140. – P. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

139. Sagin S.V. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport / S.V. Sagin, S.S. Sagin, O. Fomin, O. Gaichenia, Y. Zablotskyi, V. Píšťek, P. Kučera // *Renewable Energy*. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.

140. Тимощук О.М. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі / О.М. Тимощук, М.В. Боріна // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.

141. Sagin S.V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport / S.V. Sagin, S.S. Sagin, V. Madey // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

142. Побережний Р.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту / Р.В. Побережний, С.В. Сагін // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 5-9. DOI : [10.31653/smf340.2020.5-9](https://doi.org/10.31653/smf340.2020.5-9).

143. Sagin S.V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport / S.V. Sagin, S.S. Sagin, V. Madey // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33-42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

144. Kuropyatnyk O.A. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NO_x Emissions from Marine Diesel Engines / O.A. Kuropyatnyk, S.V. Sagin // *Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology*. – 2019. – Vol. 66(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>.

145. Сагін С.С. Вдосконалення взаємодії елементів суднового пропульсивного комплексу під час забезпечення маневру розходження

морських суден / С.С. Сагін // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 108-121. doi : 10.31653/smf47.2023.108-121.

146. Sagin S. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe / S. Sagin, O. Kuropyatnyk, A. Sagin, I. Tkachenko, O. Fomin, V. Píštěk, P. Kučera // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.

147. Sagin S. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels / S. Sagin, V. Madey, A. Sagin, T. Stoliaryk, O. Fomin, P. Kučera // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

148. Sagin S.V. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines / S.V. Sagin, O.A. Kuropyatnyk // Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology. – 2018. – Vol. 65(2). – P. 78-86. doi.org/10.17818/NM/2018/2.3.

149. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids / S.V. Sagin // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna. – 2018. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.

150. Sagin S.V. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels / S.V. Sagin, A.A. Kuropyatnik // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.

151. Сагін С.В. Аналіз екологічної стійкості та енергетичної ефективності використання скрубберного очищення випускних газів дизелів суден морського транспорту / С.В. Сагін, В.В. Мадей, С.С. Сагін, В.І. Чимшир, Р.О. Разінкін // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 157-171. doi: 10.31653/smf47.2023.157-171.

152. Мадей В.В. Корегування навігаційного переходу під час забезпечення екологічних показників роботи суднових дизелів / В.В. Мадей, О.М. Волков, С.С. Сагін // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. - техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 52-66. <https://doi.org/10.31653/1819-3293-2023-1-28-52-66>

153. Мадей В.В. Забезпечення екологічності морських суден під час їх експлуатації в спеціальних екологічних районах північної Європи / Мадей В.В., Волков О.М., Сагін С.С. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2023 – 23.03.2023.– Одеса: Національний університет «Одеська морська академія» – 2023. – С. 87-90.

ДОДАТОК

Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження



MV ROBERTA

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

окремих результатів дисертаційної роботи на здобуття
наукового ступеню доктора філософії

Сагіна Сергія Сергійовича

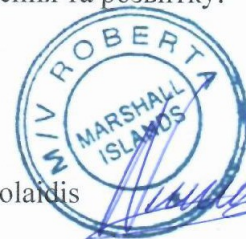
«Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного
зближення»

Цей акт складений 12.07.2023 р. свідчить, що окрема технологічна розробка, яка запропонована у дисертаційному дослідженні «Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного зближення» **Сагіним Сергієм Сергійовичем** (а саме метод використання технологій інтелектуального аналізу даних під час розрахунку меж неприпустимих значень параметрів маневру ухилення) була застосована на на судні “MV Roberta”, що має дедвейт 63404 тонн, під час навігаційного переходу Algeciras (Spain) – Abidjan (Cote D’Ivoire) – Freetown (Sierra Leone) – Aughinish (Ireland). Результати впровадження даного методу забезпечили точність визначення меж неприпустимих значень на рівні похибки у $\pm 0,5...1^\circ$ під час вибору курсу відхилення, та $\pm 0,1...0,3$ вузла під час визначення швидкості гальмування.

Результати випробувань були погоджені з відділом безпеки суднохідної компанії “StarBulk S.A.” та запропоновані для використання на інших судах компанії, а також рекомендовані для подальшого вивчення та розвитку.

QHSE Marine Superintendent

Capt. Nikolas Nikolaidis





Olive Shipmanagement Inc.

G. Kondyli 16675, Glyfada , Athens, Greece

MV AQUAVITA TRUST

АКТ ВПОВАДЖЕННЯ

окремих результатів дисертаційної роботи на здобуття
наукового ступеню доктора філософії

Сагіна Сергія Сергійовича

«Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного
зближення»

Цей акт складений 26.05.2024 р. свідчить, що застосування технології інтелектуального аналізу даних під час вибору маневру ухилення в ситуаціях надмірного зближення суден, що запропонована **Сагіним Сергієм Сергійовичем** в дисертаційної роботі «Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного зближення» була випробувана та впроваджена під час навігаційного переходу Maputo (Mozambique) – Cape Town (South Africa) – Flushing (Netherlands) – Santarem (Brazil) на судні “Aquavita Trust”, що має дедвейт 62625 тонн

Результати впровадження даного методу забезпечили точність вибору маневру ухилення на рівні 99 % з одночасним прискоренням у 10...20 разів час проведення розрахунків порівняно з традиційними методами.

Результати випробувань були погоджені з відділом безпеки суднохідної компанії “Olive Ship Management” та запропоновані для використання на інших судах компанії, а також для подальшого вивчення та розвитку.

QHSE Marine Superintendent



Capt. Stelios Chavredakis



INTERUNITY MANAGEMENT CORPORATION S.A.
69 Ethnikis Antistaseos Str., 15231 Athens, Greece

АКТ

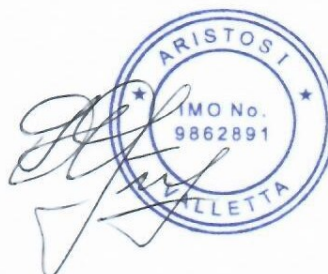
щодо використання результатів дисертаційної роботи на здобуття
наукового ступеню доктора філософії
Сагіна Сергія Сергійовича

**«Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації
надмірного зближення»**

Цей акт засвідчує, що запропонований у дисертаційному дослідженні «Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного зближення» Сагіним Сергієм Сергійовичем метод аналітичного визначення критичних часових інтервалів в ситуаціях надмірного зближення за допомогою технологій інтелектуального аналізу даних, був використано під час навігаційного переходу Everett (USA) – Singapore (Singapore) – Mesaieed (Qatar) на судні “Ariatosi”, класу General Cargo дедвейтом 15600 тонн.

Це забезпечило своєчасне та ефективне уникнення потенційних ситуацій надмірного зближення суден. Запропонована методика дозволила покращити встановлення часових інтервали для зміни курси або швидкості на рівні точності у 94% в ситуаціях з початковою дистанцією до 6 морських миль та на рівні точності у 98 % в ситуаціях з початковою дистанцією до 10 морських миль.

Капітан m/v “Ariatosi”



Е. Платов
17.01.2023



SAFESHIP MANAGEMENT INC.

2 Eptanisou Street, 15231 Halandri, Greece

про використання результатів дисертаційної роботи
Сагіна Сергія Сергійовича

**«Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації
надмірного зближення»**
(спеціальність 271 – річковий та морський транспорт)

Цей акт складений у тому, що застосування технології інтелектуального аналізу даних під час корегування навігаційними переходами, запропонована у дисертаційному дослідженні «Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного зближення» **Сагіним Сергієм Сергійовичем**, була використана на на судні “Gaz Supplier”, що має дедвейт 32707 тонн.

Практичне застосування технологій інтелектуального аналізу даних дозволяє коригувати навігаційні переходи в реальному часі для забезпечення екологічних стандартів, оперативно реагуючи на відхилення, покращуючи моніторинг і контроль забруднення довкілля, та знижуючи екологічні ризики з точністю вимірів до 1,5%.

Капітан
т/х “Gaz Supplier”



Д. В. Данилов
07.05.2022



10, Bunina str.,
Marine Business Center,
off. 5, 9, 1st floor,
Odessa, 65026, Ukraine
tel. +380 482 30 78 30
+380 482 30 78 85
+380 482 30 77 34
info@mcm-company.com;
crew@mcm-company.com
www.mcm-company.com

Товариство з обмеженою відповідальністю
МАРІН КРЮ МЕНЕДЖМЕНТ

65026, Україна,
м. Одеса, вул. Буніна, 10,
Морський бізнес центр,
офіс 5, 9, 1-ий поверх
тел. +380 482 30 78 30
+380 482 30 78 85
+380 482 30 77 34
info@mcm-company.com;
crew@mcm-company.com
www.mcm-company.com

АКТ

щодо використання результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового
ступеню доктора філософії
Сагіна Сергія Сергійовича
**«Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації
надмірного зближення»**

Цей акт складений 14.10.2022 р. у том, що застосування технології інтелектуального аналізу даних під час аналізу та оцінки ризиків в ситуаціях надмірного зближення суден, що запропонована **Сагіним Сергієм Сергійовичем** в дисертаційної роботі «Мінімізація ризику зіткнення суден при розходженні в ситуації надмірного зближення» була випробувана та впроваджена під час виконання рейсових завдань на судні класу Bulk Carrier дедвейтом 37620 тонн. В ході випробувань було зібрано та проаналізовано дані з різних переходів, які підтвердили високу ефективність використання технології інтелектуального аналізу даних для оцінки та управління ризиками. Запропоновані додаткові заходи контролю, дозволили зменшити гіпотетичні ризики до допустимого рівня. Отримані результати свідчать про доцільність впровадження цієї технології в практику морської навігації.

Директор «Marine Crew Management»



Теофанов І.В.