

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Сінюта Катерина Олександрівна

УДК 656.61.052

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ ЗА МАРШРУТОМ

Спеціальність 271 – Морський та внутрішній водний 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

К. О. Сінюта


(підпис)

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор
В.В. Нікольський

Одеса – 2025

АНОТАЦІЯ

Сінюта К. О. Удосконалення систем управління судном за маршрутом.

– Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт (галузь знань 27 – Транспорт). – Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2025.

Дослідження в дисертаційній роботі спрямоване на розв'язання науково – прикладних задач по управлінню судном на маршруті, під час його плавання, включаючи: аналіз елементів руху судна на етапі планування маршруту, аналіз руху судна при обсервації та дослідження руху судна при зміні швидкості. Такий підхід дозволяє досягти оптимального співвідношення між безпекою та ефективністю руху судна. Тому навігаційні системи і пристрої управління повинні забезпечувати своєчасне оновлення інформації та підтримку прийняття рішень судноводієм для безпечної та ефективної навігації.

Головною потребою виконання дослідження є наявність **запиту практики** по управлінню рухом судна на заданому маршруті, зокрема:

- підвищення точності та ефективності прогнозування траєкторії руху судна під впливом зовнішніх факторів;
- розробка адаптивних алгоритмів для стабілізації курсу судна та компенсації збурень на маршруті.

Головним завданням дослідження являється розробка алгоритму оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті.

В результаті проведеного аналізу аварійності флоту України головне завдання структурно представлено у вигляді трьох допоміжних завдань: аналіз елементів руху судна на етапі планування маршруту та розробка графоаналітичного способу визначення цих елементів; аналіз руху судна при

обсервації та розробка алгоритму повернення судна на лінію маршруту з урахуванням модулю та напрямку природнього збурення, отриманого в результаті обсервації; дослідження руху судна при зміні швидкості та розробка алгоритму вибору оптимальної швидкості для повернення в координатну точку маршруту.

У результаті розв'язання головного завдання через виконання допоміжних задач отримано **наукове положення**: безпека процесу управління судном на маршруті забезпечується розробкою та застосуванням інноваційних підходів до оптимізації руху судна. Це охоплює вивчення та аналіз елементів руху на різних етапах плавання, включаючи планування маршруту, обсервацію та зміну швидкості. Шляхом розробки алгоритмів стабілізації та вибору оптимальної швидкості з урахуванням різних факторів, таких як збурення та шляхові обмеження, забезпечується ефективне та безпечне керування судном.

Наукове положення обґрунтовано наступними **науковими результатами**:

удосконалена процедура оптимізації руху судна на маршруті, яка ґрунтується на балансі рухомих сил та сил опору з урахуванням динамічних змін зовнішніх факторів та відрізняється від відомих процедур застосуванням комплексних інноваційних підходів при стабілізації положення судна у просторі та на площині у реальному часі;

удосконалений адаптивний алгоритм корекції траєкторії для повернення на задану лінію шляху, який відрізняється врахуванням поточних даних про модуль та напрямок дії збурюючих чинників таких як вітрові, хвильові та вплив течії;

набула подальшого розвитку методика графоаналітичного розрахунку початкових параметрів руху судна (курсу, швидкості, координат на етапі планування маршруту, яка відрізняється застосуванням векторного аналізу та візуалізації на картографічній основі;

набули подальшого розвитку розрахункові моделі навігаційних розрахунків, які відрізняються застосуванням способу вибору оптимальної швидкості ходу судна для безпечного відновлення руху траєкторії маршруту;

набув подальшого розвитку ефективний спосіб стабілізації руху судна та уникнення загроз безпеці мореплавства, який відрізняється застосуванням

системного (комплексного) підходу до врахування впливу факторів навколишнього середовища на процес судноводіння.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці полягає у розробці надійного, швидкого та точного алгоритму визначення характеристик руху судна, який враховує вектори швидкості, пов'язані із зовнішніми впливами, мінливість умов довкілля та відрізняється застосуванням координатного методу аналітичної геометрії, графоаналітичних підходів до точного визначення параметрів руху судна та підвищенням якості управління на маршруті.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що алгоритми, розрахункові схеми і методики можуть бути використані для створення нових інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, заснованих на використанні існуючих навігаційних приладів, включаючи системи навігації для автоматичного управління судном.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені в науково-дослідну роботу кафедри технічної експлуатації флоту НУ ОМА і експертизах.

Ключові слова: стабілізація руху судна, безпека мореплавства, фактори навколишнього середовища, системи підтримки прийняття рішень, судноводіння, методологія створення, людський фактор, навігаційні системи, методи прийняття рішень, управління судном, контроль судна, навігаційна безпека, поведінка оператора, суднові технічні засоби, контроль траєкторії, навігаційні методи, метеорологічні дані, збір даних, управління, математична модель, гідродинамічні сили

Основні наукові результати дисертаційних досліджень опубліковані в наступних працях.

Статті у наукових фахових виданнях

1. **Сінюта К. О.** Координатний метод визначення шляхової швидкості судна по векторам та переміщенням відносної та переносної швидкостей // Судноводіння: зб. наук. праць – Вип. 30. – Одеса: НУ ОМА, 2020. – С. 117-124.
2. **Сінюта К. О.** Ітераційний метод стабілізації судна на курсі та маршруті // Судноводіння: зб. наук. праць – Вип. 31. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 60-68.
3. **Сінюта К. О.** Управління судном за збуренням при послідовному зчисленні та обсервації руху судна // Судноводіння: зб. наук. праць – Вип. 32. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 86-92.
4. **Голіков В. В.** Основні підходи до управління рухом судна на курсі / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Транспортні системи і технології: зб. наук. праць – Вип. 39. – Київ: ДУІТ, 2022. – С. 209-215.
5. **Голікова В. В.** Особливості ергономіки робочого місця майбутніх фахівців водного транспорту / В. В. Голікова, В. І. Крайнова, Д. Г. Парменова, **К. О. Сінюта**. // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2022. – Вип. 2(36). – С. 218-224. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36>.
6. **Голіков В. А.** Експериментальне визначення показників енергетичної ефективності роботи контейнеровоза класу DNV-GL (13800 TEU) / В. А. Голіков, К. С. Данілов, **К. О. Сінюта** // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – Вип. 46. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 33-41.
7. **Голіков В. В.** Глибоке навчання у контексті штучного інтелекту в морській навігації / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Водний транспорт: збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2024. – Випуск 1 (39). – 104-111 с.

Апробація матеріалів дисертації

8. Голіков В. В. Інверсний метод числення для підвищення точності маневрування судном на маршруті / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» – 14-15 листопада 2019 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 145.

9. Голіков В. В. Координатний метод визначення коефіцієнту ефективності riskання судна / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» – 12-13 листопада 2020 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 63.

10. Голіков В. В. Методи оцінки зміни швидкості судна при вітровому і хвильовому впливі / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2021)» – 25-27 травня 2021 р. – Херсон: ХДМА, 2021. – С. 74.

11. **Сінюта К. О.** Dynamic positioning methods under limited conditions / **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 18-19 листопада 2020 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 70-71.

12. Golikov V. Efficiency of ship movement control on the route according to the principle of deviation from the line of movement / V. Golikov, **K. Siniuta** // Proceedings of the International Scientific Conference SEA-CONF 2022. – 2022. – pp. 222-226.

13. Голіков В. А. Верифікація деяких показників енергетичної ефективності роботи контейнеровоза класу DNV-GL (13800 TEU) на лінії шовкового шляху / В. А. Голіков, В. В. Голіков, К. С. Данілов, **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт» – 22-23 березня 2023 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 19-22.

14. Сінюта К. О. Спосіб розрахунку втрати швидкості судна в умовах хвильового впливу / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 16-17 листопада 2023 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – 237-239 С.

15. Сінюта К. О. Аналіз аварійності на морському та річковому транспорті України / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 20–21 листопада 2024 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. – С. 253–257.

16. Сінюта К. О. Оптимізація швидкості судна для повернення до заданої координатної точки маршруту / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 20–21 листопада 2024 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. – С. 252–253.

Перелік патентів, які захищають наукову новизну

17. **Патент** 150390 UA. МПК(2006.01) G08G 3/02. Корисна модель Система оперативного динамічного позиціонування судна при маневруванні в стислих умовах /Мальцев А. С., **Сінюта К. О.**, Сурінов І. Л. Заявник Одеська національна морська академія. – № u2021 05306; заявлено 20.09.2021; опубліковано 09.02.2022, Бюл. № 6.

З наукових робіт, опублікованих у співавторстві, автору належить особисто: дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно. Проведено інформаційний пошук, забезпечено методологічне обґрунтування, розроблена програма натурних випробувань для верифікації розробленого алгоритму оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті, виконана обробка отриманих результатів і сформульовані висновки, які впроваджені в науковий та учбовий процес; роботи [1-3, 11, 14-16] підготовлені автором одно осібно. З наукових робіт, опублікованих в співавторстві, в дисертації використані тільки ті положення, які належать автору особисто: [4] – аналіз основних підходів до управління рухом судна на курсі; [5] – аналіз існуючих ергономічних вимог до робочих місць фахівців водного транспорту, розробка рекомендацій щодо покращення умов

праці з метою підвищення їх ефективності; [6, 13] – аналіз методів оцінки енергетичної ефективності, розробка експериментальної методики визначення ключових показників; [7] – аналіз сучасних підходів до застосування глибокого навчання для оптимізації навігаційних процесів; [8] – розробка інверсного методу числення для підвищення точності маневрування судном на маршруті; [9] – розробка координатного методу визначення коефіцієнту ефективності рискання судна; [10] – аналіз методів оцінки зміни швидкості судна при вітровому і хвильовому впливі; [12] – розробка математичної моделі, яка враховує принцип відхилення від лінії руху; [17] – розробка алгоритму оперативного позиціонування, який забезпечує точне керування судном у складних умовах обмеженого простору.

ABSTRACT

Siniuta K. O. Improvement of ship control systems along the route. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 271 – Maritime and inland water transport (branch of knowledge 27 – Transport) . – National University “Odessa Maritime Academy” , Odessa, 2025.

The research in the dissertation is aimed at solving scientific and applied problems of vessel management on the route, during its navigation, including: analysis of vessel motion elements at the route planning stage, analysis of vessel motion during observation and study of vessel motion when changing speed. This approach allows achieving the optimal ratio between safety and efficiency of vessel motion. Therefore, navigation systems and control devices must provide timely information updates and support for decision-making by the ship navigator for safe and efficient navigation.

The main need for conducting the study is the availability of **a practical request** for vessel traffic control on a given route, in particular:

- increasing the accuracy and efficiency of predicting the trajectory of a vessel under the influence of external factors;
- development of adaptive algorithms to stabilize the vessel's course and compensate for disturbances on the route.

The main objective of the research is to develop an algorithm for optimal stabilization of vessel movement on a given route.

As a result of the analysis of the accident rate of the Ukrainian fleet, the main task is structurally presented in the form of three auxiliary tasks: analysis of the elements of the vessel's motion at the route planning stage and development of a graph-analytical method for determining these elements; analysis of the vessel's motion during observation and development of an algorithm for returning the vessel to the route line, taking into account the modulus and direction of the natural disturbance obtained as a

result of observation; study of the vessel's motion during speed changes and development of an algorithm for selecting the optimal speed for returning to the route coordinate point .

As a result of solving the main task through the implementation of auxiliary tasks, **a scientific proposition was obtained** : the safety of the vessel control process on the route is ensured by the development and application of innovative approaches to optimizing the vessel's movement. This includes the study and analysis of movement elements at different stages of navigation, including route planning, observation and speed change. By developing stabilization algorithms and selecting the optimal speed, taking into account various factors, such as disturbances and route restrictions, effective and safe vessel control is ensured.

The scientific position is substantiated by the following **scientific results** :

an improved procedure for optimizing the movement of a vessel on a route, which is based on the balance of moving forces and resistance forces, taking into account dynamic changes in external factors, and differs from known procedures by the use of complex innovative approaches to stabilizing the vessel's position in space and on the plane in real time ;

improved adaptive trajectory correction algorithm for returning to a given path line, which is distinguished by taking into account current data on the module and direction of action of disturbing factors such as wind, wave and current effects;

the method of graph-analytical calculation of the initial parameters of vessel movement (course, speed, coordinates at the route planning stage) **has been further developed , which is distinguished by the use of vector analysis and visualization on a cartographic basis;**

The calculation models of navigation calculations, which are distinguished by the use of a method of dynamically selecting the optimal speed of the vessel for safe restoration of the route trajectory, **have been further developed ;**

has been further developed , which is characterized by the use of a systemic (comprehensive) approach to taking into account the impact of environmental factors on the navigation process.

Scientific novelty of the results obtained consists in developing a reliable, fast and accurate algorithm for determining the characteristics of rectilinear translational uniform motion of a vessel, which takes into account velocity vectors associated with external influences and variability of environmental conditions and is characterized by the application of the coordinate method of analytical geometry and graph-analytical approaches to accurately determining the parameters of vessel motion and improving the quality of control on the route.

The practical significance of the results obtained is that the algorithms, calculation schemes and methods can be used to create new intelligent decision support systems based on the use of existing navigation devices, including navigation systems for automatic vessel control.

The practical results of the dissertation research are implemented in the research work of the Department of Technical Operation of the Fleet, NU OMA, and in expert reports and examinations.

Keywords: vessel motion stabilization, maritime safety, environmental factors, decision support systems, navigation, creation methodology, human factors, navigation systems, decision-making methods, ship management, ship control, navigational safety, operator behavior, ship technical equipment, trajectory control, navigation methods, meteorological data, data collection, management, mathematical model, hydrodynamic forces

The main scientific results of the dissertation research are published in the following works.

Articles in scientific professional publications

1. **Сінюта К. О.** Координатний метод визначення шляхової швидкості судна по векторам та переміщенням відносної та переносної швидкостей // Судноводіння: зб. наук. праць – Вип. 30. – Одеса: НУ ОМА, 2020. – С. 117-124.
2. **Сінюта К. О.** Ітераційний метод стабілізації судна на курсі та маршруті // Судноводіння: зб. наук. праць – Вип. 31. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 60-68.
3. **Сінюта К. О.** Управління судном за збуренням при послідовному зчисленні та обсервації руху судна // Судноводіння: зб. наук. праць – Вип. 32. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 86-92.
4. Голіков В. В. Основні підходи до управління рухом судна на курсі / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Транспортні системи і технології: зб. наук. праць – Вип. 39. – Київ: ДУІТ, 2022. – С. 209-215.
5. Голікова В. В. Особливості ергономіки робочого місця майбутніх фахівців водного транспорту / В. В. Голікова, В. І. Крайнова, Д. Г. Парменова, **К. О. Сінюта**. // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2022. – Вип. 2(36). – С. 218-224. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36>.
6. Голіков В. А. Експериментальне визначення показників енергетичної ефективності роботи контейнеровоза класу DNV-GL (13800 TEU) / В. А. Голіков, К. С. Данілов, **К. О. Сінюта** // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – Вип. 46. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 33-41.
7. Голіков В. В. Глибоке навчання у контексті штучного інтелекту в морській навігації / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Водний транспорт: збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2024. – Випуск 1 (39). – 104-111 с.

Approbation of dissertation materials

8. Голіков В. В. Інверсний метод числення для підвищення точності маневрування судном на маршруті / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий

флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» – 14-15 листопада 2019 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 145.

9. Голіков В. В. Координатний метод визначення коефіцієнту ефективності рискання судна / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» – 12-13 листопада 2020 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 63.

10. Голіков В. В. Методи оцінки зміни швидкості судна при вітровому і хвильовому впливі / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2021)» – 25-27 травня 2021 р. – Херсон: ХДМА, 2021. – С. 74.

11. **Сінюта К. О.** Dynamic positioning methods under limited conditions / К. О. Сінюта // Матеріали науково-технічної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 18-19 листопада 2020 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 70-71.

12. Golikov V. Efficiency of ship movement control on the route according to the principle of deviation from the line of movement / V. Golikov, **K. Siniuta** // Proceedings of the International Scientific Conference SEA-CONF 2022. – 2022. – pp. 222-226.

13. Голіков В. А. Верифікація деяких показників енергетичної ефективності роботи контейнеровоза класу DNV-GL (13800 TEU) на лінії шовкового шляху / В. А. Голіков, В. В. Голіков, К. С. Данілов, **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт» – 22-23 березня 2023 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 19-22.

14. **Сінюта К. О.** Спосіб розрахунку втрати швидкості судна в умовах хвильового впливу / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 16-17 листопада 2023 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – 237-239 С.

15. **Сінюта К. О.** Аналіз аварійності на морському та річковому транспорті України / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 20–21 листопада 2024 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. – С. 253–257.

16. **Сінюта К. О.** Оптимізація швидкості судна для повернення до заданої координатної точки маршруту / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 20–21 листопада 2024 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. – С. 252–253.

List of patents that protect scientific novelty

17. **Патент** 150390 UA. МПК(2006.01) G08G 3/02. Корисна модель Система оперативного динамічного позиціонування судна при маневруванні в стислих умовах / Мальцев А. С., **Сінюта К. О.**, Сурінов І. Л. Заявник Одеська національна морська академія. – № u2021 05306; заявлено 20.09.2021; опубліковано 09.02.2022, Бюл. № 6.

From scientific works published in co-authorship belong to the author personally: the dissertation work was completed by the applicant himself. An information search was conducted, a methodological rationale was provided, a field test program was developed to verify the developed algorithm for optimal stabilization of the ship's movement on a given route, the results were processed and conclusions formulated, which were implemented in the scientific and educational process; works [1-3, 11, 14-16] were prepared by the author alone. From scientific works published in co-authorship, the dissertation uses only those provisions that belong to the author personally: [4] – analysis basic approaches to managing the movement of the ship on the course; [5] – analysis existing ergonomic requirements for workers places water transport specialists , development recommendations of improvement of working conditions for the purpose of promotion their efficiency; [6, 13] – analysis methods evaluations energy efficiency, development experimental method of determination key indicators; [7] – analysis modern approaches to application deep training for

optimization navigational processes; [8] – development of the inverse calculation method for increasing accuracy maneuvering the ship on the route; [9] – development of a coordinate method of determination coefficient efficiency yawning of the ship; [10] – analysis of methods evaluations changes ship speed in wind and wave conditions influence; [12] – development mathematical model , which takes into account the principle of deviation from traffic lines; [17] – development of an operational algorithm positioning which provides accurate ship management in complex conditions limited space.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ	19
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД АВАРІЙНОСТІ СУДЕН І РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ СУДНОПЛАВСТВА.....	27
1.1 Стратегічні проблеми торгового судноплавства	28
1.2 Проблеми безпеки мореплавства в водах України, пов'язані з досвідом «морської практики»	33
1.3 Огляд результатів наукових досліджень в галузі морського та річкового водного транспорту	41
1.3.1 Особливості методів планування та оптимізації маршрутів суден	47
1.4 Проблеми раціонального та оптимального управління судном	51
1.5 Висновки до першого розділу	60
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТЕМИ, ТЕХНОЛОГІЯ І МЕТОДИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ З УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ НА МАРШРУТІ	61
2.1. Вибір теми дослідження.....	64
2.2 Обґрунтування мети, гіпотези та завдань дослідження.....	66
2.2.1 Обґрунтування мети дослідження	66
2.2.2 Обґрунтування наукової та робочих гіпотез наукового дослідження	68
2.2.3 Обґрунтування завдань та методів дослідження	69
2.3 Формування технологічної карти досліджень	74
2.4 Об'єкт верифікації результатів наукового дослідження	78
2.5 Висновки до другого розділу.....	82
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГРАФОАНАЛІТИЧНОГО СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ РУХУ СУДНА ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДНОМ В ЗВИЧАЙНИХ УМОВАХ ПЛАВАННЯ.....	84
3.1 Інформаційне забезпечення судна про погодні умови	88
3.2 Особливості «людського фактору» при управлінні водним транспортним засобом.....	94
3.3 Аналіз елементів руху судна на етапі планування маршруту та розробка графоаналітичного способу визначення цих елементів	96
3.4 Розрахунок морського хвилювання	104
3.5 Оптимізація управління судном з урахуванням вітрового збурення	111
3.6 Висновки до третього розділу	116

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ВИБОРУ ШВИДКОСТІ ТА ПОВЕРНЕННЯ СУДНА НА ЛІНІЮ МАРШРУТУ	118
4.1 Аналіз руху судна при обсервації та розробка алгоритму повернення судна на лінію маршруту при наявності природнього збурення.....	119
4.1.1 Аналіз точності обсервації місця судна	121
4.1.2 Вплив точності обсервації на навігацію	122
4.1.3 Внесення поправки після першої обсервації.....	125
4.1.4 Висновки по другій допоміжній задачі.....	131
4.2 Дослідження руху судна при зміні його швидкості.....	132
4.3 Розробка алгоритму оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті	139
4.3.1 Використання генетичного алгоритму для глобальної оптимізації маршруту	139
4.3.2 Метаевристичні алгоритми	139
4.3.3 Комбінована оптимізація швидкості та маршруту	140
4.3.4 Оптимізація на основі нейронних мереж.....	140
4.3.5 Метод прогнозування на основі часових рядів	140
4.3.6 Методика векторних швидкісних трикутників для оптимізації швидкості судна	141
4.4 Висновки до четвертого розділу	149
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ РУХУ СУДНА НА ЗАДАНОМУ МАРШРУТІ.....	151
5.1 Постановка задачі оптимальної ефективності управління курсом судна....	153
5.1.1 Процедура проведення експерименту.....	155
5.1.2 Умови навколишнього середовища під час експерименту.....	156
5.1.3 Заходи забезпечення достовірності результатів	156
5.1.4 Етичні аспекти та безпека	157
5.1.5 Обробка і зберігання даних	157
5.1.6 Урахування людського фактору	157
5.2 Спосіб управління судном за збуренням при послідовному зчисленні та обсервації.....	158
5.3 Висновки до п'ятого розділу	166
ВИСНОВКИ.....	168
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	172
ДОДАТОК А.....	191
ДОДАТОК Б	204

ДОДАТОК В	208
ДОДАТОК Г	214

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

- AIS – Automatic identification system / Автономна ідентифікаційна система
- ECDIS – Electronic Chart Display and Information System / Система відображення електронних карт та інформації
- ETA – Estimated time of arrival / Розрахунковий час прибуття
- GPS – Global Positioning System / Глобальна система позиціонування
- MSI – Maritime safety information / Інформація про безпеку на морі
- VTs – Vessel traffic service / Служба руху суден
- МППЗС – 72/2016 – Конвенція про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі 1972 року
- ПП – полюс повороту
- ТТ – траєкторна точка
- НТП – науково-технічний прогрес
- АМП – аварійні морські події
- т/х – теплоход
- ІК – істинний курс
- ШТ – шляхові точки
- ВМО – Всесвітня Метеорологічна Організація
- ІТ – інформаційні технології
- ДП – діаметральна площа
- BPG – Bridge Procedures Guide / Керівництво з процедур на містку
- ICS – International Chamber of Shipping / Міжнародна палата судноплавства
- BTM – Bridge Team Management / Управління командою на містку
- ПДНВ – Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти
- GT – Gross Tonnage / Валова місткість
- NT – Net Tonnage / Чиста місткість

GMDSS – Global Maritime Distress and Safety System / Глобальна система морської катастрофи та безпеки

NAVTEX – Navigation Telex / Навігаційний телекс

Inmarsat-C – International Maritime Satellite Communication System / Супутникова система зв'язку для морських суден

EGC – Enhanced Group Call / Розширений груповий

SOLAS – International Convention for the Safety of Life at Sea / Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі

NAVAREAS – Navigational Areas / Навігаційні райони

METAREAS – Meteorological Areas / Метеорологічні райони

MF – Medium Frequencies / Середні частоти

SafetyNET – Система передачі інформації про морську безпеку через супутник Inmarsat

SPOS – Ship Performance Optimization System / Система оптимізації експлуатаційних характеристик судна).

СКП – середня квадратична похибка

GNSS – Global Navigation Satellite System / Глобальна навігаційна супутникова система

ECS – Electronic Chart System / Електронна картографічна система

INS – Integrated Navigation System / Інтегрована навігаційна система

SOLAS – International Convention for the Safety of Life at Sea / Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі

SM Code – International Safety Management Code / Міжнародний кодекс з управління безпечними операціями суден

GA – Genetic Algorithms / Генетичні алгоритми

PSO – Particle Swarm Optimization / Оптимізація роєм частинок

ACO – Ant Colony Optimization / Алгоритм мурашиної колонії

ANN – Artificial Neural Networks / Штучні нейронні мережі

ВСТУП

Актуальність теми дослідження пов'язана з необхідністю здешевлення морського і річкового транспорту та дотриманням правил безпеки судноплавства. Огляд результатів досліджень у галузі судноплавства показує, що, разом з виконанням механічної роботи, особливе місце займають планування навігаційних завдань, прохід суден, подальше управління транспортним процесом. Існуючі методи оптимального планування морських маршрутів застосовують принцип мінімізації транзитних відстаней у задачах лінійного, динамічного та стохастичного планування. В той же час, задачі управління, спрямовані на мінімізацію витрати палива та часу доставки вантажу, включають елементи варіаційного обчислення. Однак, існуючі методи оптимізації маршрутів описують транспортні процеси односторонньо. Вони системно не взаємопов'язані і тому носять фрагментальний характер.

Під час виконання рейсу судна судноводії стикаються з низкою проблем, таких як втрата швидкості, ризикання, економічні витрати, невідповідності розрахункового та фактичного шляху через вплив зовнішніх чинників (течій, вітру, хвиль). Ці фактори можуть призводити до невчасного прибуття у пункт призначення, значного зносу судна з лінії шляху та неточностей у обчисленні пройденого шляху. Тому питання удосконалення принципових методів і методів оптимізації процесу перевезення вантажів морським транспортом, зокрема управління рухом судна на маршруті, залишаються **актуальними** і гострими через високу витрату енергоносіїв і фінансові витрати на транспортне забезпечення.

Дослідження процесу управління судном на маршруті для знаходження оптимальної стратегії керування, яка максимально зменшує вплив негативних факторів, є важливим завданням. Це дозволить оптимізувати рух судна на маршруті, забезпечити баланс рухових сил та сил опору, розробити алгоритми

стабілізації руху, аналізу елементів руху на етапах планування, обсервації та зміни швидкості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась згідно з прийнятою національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (№ 430 –р від 30 травня 2018 р.) та Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (рішення Кабінету України № 2174-р від 20.10.2010 р.) під назвою «Про стратегію сталого розвитку «Україна – 2022».

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення інформаційного забезпечення процесу управління судном на маршруті під дією зовнішніх збурень шляхом включення до складу системи управління навігаційних пристроїв для оперативного розрахунку параметрів оцінки руху судна.

Наукова гіпотеза полягає у спроможності судноводія інтенсифікувати безпечний рух судна на маршруті шляхом модернізації ЗНЗ пов'язаної з інформаційним, алгоритмічним та програмним забезпеченням у реальному часі.

Головним завданням являється розробка алгоритму оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті.

Рішення головної задачі досягнуто шляхом виконання складових допоміжних задач:

Аналіз елементів руху судна на етапі планування маршруту та розробка графоаналітичного способу визначення цих елементів;

Аналіз руху судна при обсервації та розробка алгоритму повернення судна на лінію маршруту з урахуванням модулю та напрямку природнього збурення, отриманого в результаті обсервації;

Дослідження руху судна при зміні швидкості та розробка алгоритму вибору оптимальної швидкості для повернення в координатну точку маршруту.

Об'єктом дослідження являється процес руху судна морськими шляхами.

Предметом дослідження є інтенсивні та екстенсивні параметри його руху.

Методи дослідження. Для пошуку рішення допоміжних задач були використані наступні методи: математичне моделювання використовувалося для створення моделей руху судна з урахуванням гідродинаміки, впливу вітру, хвиль,

течій; натурні спостереження дозволили виміряти параметри руху судна в морі; аналіз бортових приладів включав дані з лага, гірокомпаса, супутникової навігації для оцінки точності руху; алгоритми управління спрямовані на створення адаптивних і робастних законів для керування рулем і двигунами; імітаційне моделювання використовувалося для вдосконалення стратегій стабілізації курсу та компенсації збурень; економічний аналіз оптимізував режими руху і роботи двигунів з урахуванням погоди; аналіз причин аварійності допомагав виявляти ситуації втрати курсу та зіткнень через збурення; дедукційний метод вивів конкретні рекомендації для безпечної навігації; теорія систем застосована для виявлення взаємозв'язку підсистем судна під впливом збурень; аналітична геометрія дозволяла моделювати траєкторію з урахуванням течій і вітру.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці надійного, швидкого та точного алгоритму визначення характеристик руху судна, який враховує вектори швидкості, пов'язані із зовнішніми впливами, мінливість умов довкілля та відрізняється застосуванням координатного методу аналітичної геометрії, графоаналітичних підходів до точного визначення параметрів руху судна та підвищенням якості управління на маршруті. При цьому в роботі:

удосконалена процедура оптимізації руху судна на маршруті, яка ґрунтується на балансі рухомих сил та сил опору з урахуванням динамічних змін зовнішніх факторів та відрізняється від відомих процедур застосуванням комплексних інноваційних підходів при стабілізації положення судна у просторі та на площині у реальному часі;

удосконалений адаптивний алгоритм корекції траєкторії для повернення на задану лінію шляху, який відрізняється врахуванням поточних даних про модуль та напрямок дії збурюючих чинників таких як вітрові, хвильові та вплив течії;

набула подальшого розвитку методика графоаналітичного розрахунку початкових параметрів руху судна (курсу, швидкості, координат на етапі планування маршруту, яка відрізняється застосуванням векторного аналізу та візуалізації на картографічній основі;

набули подальшого розвитку розрахункові моделі навігаційних розрахунків, які відрізняються застосуванням способу вибору оптимальної швидкості ходу судна для безпечного відновлення руху траєкторії маршруту;

набув подальшого розвитку ефективний спосіб стабілізації руху судна та уникнення загроз безпеці мореплавства, який відрізняється застосуванням системного (комплексного) підходу до врахування впливу факторів навколишнього середовища на процес судноводіння.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що алгоритми, розрахункові схеми і методики можуть бути використані для створення нових систем підтримки прийняття рішень, заснованих на використанні існуючих навігаційних приладів, включаючи системи навігації для автоматичного управління судном.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені в науково-дослідну роботу кафедри технічної експлуатації флоту «Сучасні проблеми розвитку технічної експлуатації флоту і підвищення ефективності енерго – та ресурсозбереження: ідеї, методи, технології і рішення», № ДР О117U005135 (акт від 24.09.2024 р.), в навчальний процес НУ «ОМА» (акт від 02.09.2024 р.); в навчальний процес Центру підготовки моряків «Авант» (акт від 10.10.2024 р.); в роботу Філії «Дельта-лоцман» Державного підприємства «Адміністрація морських портів України» (акт від 30.01.2025 р.), в роботу Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів (акт від 05.02.2025 р.)

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно: проведено інформаційний пошук, забезпечено методологічне обґрунтування, розроблена програма натурних випробувань для верифікації розробленого алгоритму оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті, виконана обробка отриманих результатів і сформульовані висновки.

Роботи [1-3, 11, 14-16] підготовлені автором одно осібно. З наукових робіт, опублікованих в співавторстві, в дисертації використані тільки ті положення які належать автору особисто.

З наукових робіт, опублікованих в співавторстві, в дисертації використані тільки ті положення які належать автору особисто: [4] – аналіз основних підходів до управління рухом судна на курсі; [5] – аналіз існуючих ергономічних вимог до робочих місць фахівців водного транспорту, розробка рекомендацій щодо покращення умов праці з метою підвищення їх ефективності; [6, 13] – аналіз методів оцінки енергетичної ефективності, розробка експериментальну методику визначення ключових показників; [7] – аналіз сучасних підходів до застосування глибокого навчання для оптимізації навігаційних процесів; [8] – розробка інверсний методу числення для підвищення точності маневрування судном на маршруті; [9] – розробка координатний методу визначення коефіцієнту ефективності ризикання судна; [10] – аналіз методів оцінки зміни швидкості судна при вітровому і хвильовому впливі; [12] – розробка математичної моделі, яка враховує принцип відхилення від лінії руху; [17] – розробка алгоритму оперативного позиціонування, який забезпечує точне керування судном у складних умовах обмеженого простору.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і методика виконання досліджень обговорювалися і були схвалені на науково-практичних, науково – методичних та науково-технічних конференціях: науково-технічна конференція «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 14-15 листопада 2019 р.); науково-технічна конференція «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» (Одеса, 12.11.2020-13.11.2020); міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT–2021) (Херсон, 25.05.2021-27.05.2021); науково-технічна конференція «Судноводіння, морські перевезення та технології» (Одеса, 18.11.2020-19.11.2020); International Scientific Conference SEA-CONF (Constantza, May 19-20, 2022); науково-технічна конференція «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт» (Одеса, 22.03.2023-23.03.2023); науково-теоретична конференція «Судноводіння, морські перевезення та технології» (Одеса, 16.11.2023-

17.11.2023); науково-теоретична конференція «Судноводіння, морські перевезення та технології» (Одеса, 20.11.2024-21.11.2024).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 17 науковій роботі (з них 7 одноосібно), зокрема: у наукових профільних виданнях, що входять в перелік МОН України – 7 наукових статей, у збірниках матеріалів наукових конференцій – 9; патентів на корисну модель – 1.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із розширеної анотації, вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 215 сторінок, з них 171 сторінок основного тексту, 14 рисунків, 9 таблиць, бібліографія з 154 найменувань на 19 сторінках, 4 додатки на 25 сторінках.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД АВАРІЙНОСТІ СУДЕН І РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ СУДНОПЛАВСТВА

Судно (корабель), здійснюючи плавання рухається не тільки під впливом своїх рушіїв. Перебуваючи одночасно у двох середовищах (повітряному та водному), а іноді у трьох (повітряному, водному та льодовому), судно піддається впливу цих середовищ та процесів, що здійснюються в них (вітер, течія, хвилювання, тощо), тобто, на нього діють сили навантаження та збурення.

В результаті впливу всіх сил, що діють на корпус та надбудову судна, останнє рухається в напрямку їх рівнодіючої. Якщо не буде врахована хоча б одна з цих сил судно буде відхилиться від запланованого (наміченого) маршруту. При надмірних збуреннях виникнуть передумови, які у сполученні з іншими несприятливими обставинами (мала видимість, відсутність можливостей для контролю місця судна, небезпечний у навігаційному відношенні район плавання та інші) можуть призвести до аварії або катастрофи.

Врахування різноманіття факторів, що впливають на напрямок і швидкість руху судна дозволяє вдало вирішити загальну задачу судноводіння – точне, безпечне, у встановлений час проведення судна штурманським методом по заданому маршруту. Судноводій спроможні ефективно діяти лише тоді, коли він озброєний: знаннями умов плавання, маневреними властивостями судна; засобами і способами водіння суден; навичками та вмінням точно і безпечно здійснювати судову навігацію. Така фізична природа судноводіння.

На теперішній час перед транспортною наукою стоять завдання створення і розробки найбільш раціональних методів, способів та алгоритмів використання нових обчислювальних засобів.

Для здійснення інформаційного пошуку використаний філософський підхід – від «загального» до «особистого» крізь «часткове», який застосовує метод дедукції.

В якості «загального» розглянуті неочевидні факти дійсності, що стосуються стратегії транспортної безпеки у торговому судноплавстві.

В якості «часткового» виявлені тактичні проблемні факти дійсності, пов'язані з досвідом практичного судноводіння (морської практики) в екстремальних та надзвичайних умовах плавання.

В якості «особистого» визначались проблемні факти дійсності, які відображають оперативні кінематичний та кінетичний аспекти судноводіння, яке передбачає раціональне та оптимальне управління рухом судна в звичайних умовах плавання.

1.1 Стратегічні проблеми торгового судноплавства

Морським транспортом перевозиться переважна частина вантажів всього світу. Завдяки постійній уніфікації технологій транспортування та безперервному удосконаленню процесів механізації, автоматизації і інформаційного забезпечення всіх етапів транспортних процесів, технологічний час обробки вантажних суден морської галузі постійно зменшується. Кожна держава у структуру основних принципів особистого розвитку, розвитку суспільства включає вирішення найважливіших питань науково-технічного прогресу (НТП).

Процеси наукових відкриттів і доведення цих відкриттів до практично реалізованої форми, процеси передачі та освоєння результатів НТП неможливі без активної участі науки і науковців. Актуальні проблеми суспільства, які раніше вирішувалися на базі інтуїції, здорового глузду, досвіду поколінь, зараз потребують активного й цілеспрямованого втручання та оптимізації ресурсів, що здійснюване лише за активною участю науки. Прискорення темпів НТП має конкретні форми прояву у світі науки, помітно частішають такі події, як уточнення й відновлення поглядів, тенденцій, концепцій, методів і технологій дослідження, прийнятих у конкретних наукових напрямках і дисциплінах. Таким чином, в сучасних умовах жодне важливе питання неможливо ефективно вирішити не спираючись на науку й наукове обґрунтування.

Сучасний складний морський і річковий господарський комплекс України потребує вдосконалення, оптимізації функціонування за різноманітними критеріями, підвищення надійності та безпеки судноплавства, екологічності, довговічності та ремонтпридатності всього устаткування та обладнання не тільки різноманітних суднових систем і комплексів, а і всієї галузі. Реалізація цих потреб (запитів практики), забезпечує постійне розвинення науки і техніки морського та внутрішнього водного транспорту, всієї морської інфраструктури України, яка на основі наукових досліджень вирішує специфічні процеси, визначає закони, методи енергетичного і інформаційного перетворення, вирішує проблеми проектування, конструювання, виготовлення, технічної експлуатації та ремонту головного та допоміжного суднового обладнання, допоміжних суднових систем, оптимізує процеси взаємодії компонентів суднових енергетичних установок, вирішує проблеми безпечного і екологічного управління рухом суден і логістики галузі. Виклики сучасності потребують вирішення проблемних завдань – підвищення економічності, екологічності і безпеки функціонування всієї морської інфраструктури і, зокрема, морського і внутрішнього водного транспорту. Ці завдання різноманітні і, що найчастіше, суперечливі.

Некероване та некваліфіковане ринкове вирішення проблем розвитку морської транспортної галузі України державою не підтримується, а сталий її рух регламентуються Законом України про Транспорт (№ 4709-VI від 17.05.2012), Морською доктриною України на період до 2035 року (Постанова Кабінету міністрів України від 7.10.2009, № 1307), Галузевими програмами забезпечення безпеки судноплавства, Стратегією імплементації положень директив та регламентів Європейського Союзу у сфері міжнародного морського та внутрішнього водного транспорту і багатьма іншими нормативними документами, що узгоджують та гармонізують розвиток всієї морської інфраструктури України.

Саме тому, ефективне функціонування, як морської інфраструктури у цілому, так і її окремих складових, неможливе без системності у вирішенні проблем, притаманних морському галузі, без ефективного, і, що найголовніше,

практичного використання передових наукових здобутків, інтенсивного розвитку морської науки і техніки, без використання і впровадження ефективних наукових технологій досліджень.

Загальні проблеми розвитку морського і річкового транспорту викладені в «Транспортній стратегії України на період до 2030 року» [36], згідно якої проблемними залишаються: – технічна і технологічна модернізація цього виду транспорту відповідно до міжнародних стандартів, включаючи: розробку генерального плану розвитку морських торгових портів і державної програми розвитку внутрішніх водних шляхів; розширення мережі спеціалізованих терміналів в портах і удосконалення законодавства з питань судноплавства на внутрішніх водних шляхах; забезпечення безпечного проходу великогабаритних суден по водних шляхах і акваторіях портів шляхом збільшення габаритів каналів, шлюзів і поглиблення акваторій; підвищення конкурентоспроможності морського і річкового транспорту за рахунок оновлення і будівництва флоту, підвищення рівня безпеки судноплавства і використання екологічно чистих видів палива, поліпшення менеджменту, модернізації і розвитку інфраструктури в портах, а також забезпечення цілорічного і цілодобового плавання по внутрішніх водних шляхах; – реформування системи управління морським і річковим транспортом шляхом удосконалення законодавчої бази по портах, включаючи галузеві програми їх розвитку, створення державних морських і річкових адміністрацій, а також визначення особливих умов розвитку і функціонування портів стратегічної значущості; – підвищення безпеки судноплавства і забезпечення екологічної безпеки шляхом подальшої імплементації зобов'язань держави прапора, держави порту і прибережної держави, створення єдиної системи моніторингу надводної обстановки у водах України, вдосконалення системи пошуку і рятування на морі, боротьби з розливами нафтопродуктів і контроль баластних вод; – створення і впровадження енергозберігаючих технологій на флоті включаючи використання енергії сонця, вітру, хвиль і приливів, альтернативних екологічно чистих палив, а також переробки нафтовмісної вторинної сировини.

Таблиця 1.1 – Основні проблемні питання, що вимагають вивчення і дослідження при реалізації Транспортної стратегії України

№ з/п	Фактор	Проблема
1	2	3
1.	Морський і річковий транспорт	1.1. Технічна і технологічна модернізація. 1.2. Підвищення конкурентоспроможності. 1.3. Удосконалення законодавчої бази для реформування системи управління. 1.4. Підвищення безпеки судноплавства і забезпечення екологічної безпеки. 1.5. Створення і впровадження енергозберіжних технологій. 1.6. Корупція в органах управління. 1.7. Не виконання вимог КТМ.
2.	Антикризове управління в торговому судноплавстві	2.1. Цільове планування стратегій. 2.2. Раціональне використання потенціалу. 2.3. Вдосконалення організаційної, технічної і технологічної структур транспортної системи.
2.1.	Структуризація підприємств морського транспорту	2.4. Встановлення 5 ÷ 10-ти літнього горизонту розвитку бізнес-одиниць. 2.5. Визначення альтернатив позиціонування по комплексу переваг і можливих проблем. 2.6. Вибір головних напрямів руху бізнесу 2.7. Контроль формування цільових результатів і умов життя і праці моряків.
2.2.	Стійкість судноплавних компаній	2.8. Стратегія поведінки судновласника або менеджера на ринку транспортних послуг. 2.9. Збалансованість основних фінансових і інвестиційних параметрів 2.10. Умови забезпечення відносної і загальної стійкості.

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
2.3.	Гарантована безпека судноплавства	2.11. Сертифікація систем безпеки підприємств і суден морського транспорту 2.12. Захоплення майна 2.13. Регулювання технічного стану суден і вантажних терміналів. 2.14. Облік людської якості (елементу і чинника)
2.4.	Дії судновласника в кризових ситуаціях	2.15. Створення антикризового підрозділу (центру). 2.16. Посилення ролі спеціалізації 2.17. Передача активів в оренду. 2.18. Усунення наслідків і причин кризи 2.19. Реструктуризація капіталу. 2.20. Скорочення експлуатаційних витрат. 2.21. Дотримання економічних прав підприємств.
3.	Розвиток інфраструктури морських портів і контроль за безпекою в них	3.1. Плани розвитку портів 3.2. Судно прохідність 3.3. Адаптованість суден до зовнішнього природного середовища. 3.4. Безпека великотоннажних суден. 3.5. Буксирне і криголамне забезпечення. 3.6. Тарифна невизначеність по каналних зборах
4.	Стимулювання розробок і впровадження на морському і річковому транспорті сучасних безпечних і енергозбережних технологій	4.1. Реєстрація і супровід розробок. 4.2. Взаємопов'язане експлуатаційно-цільове підвищення показової техніко-експлуатаційного досконалості суден. 4.3. Організаційна схема транспортного обслуговування суден. 4.4. Соціальна безпека суден. 4.5. Підвищення конструктивної надійності. 4.6. Енергетичні втрати. 4.7. Управління енергопотокami на судах. 4.8. Морехідність і керованість суден.

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
5.	Підвищення рівня підготовки наукових і командних кадрів для торгового флоту	5.1. Соціальна - оплата праці науковим кадрами. 5.2. Складність натурних експериментів. 5.3. Відсутність теорій безпечного управління судами, енергетичними потоками, енергогенераторами і рушіями. 5.4. Роль «людського елементу» у безпечному судноплавстві. 5.5. Кількісне визначення ефективності роботи екіпажу. 5.6. Адекватна поведінка оператора в неадекватних умовах.

Укрупнюючи проблеми завдання та питання для облегшення вибору теми дисертаційної роботи згрупуємо дані таблиці 1.1 в наступні аспекти:

законодавча база, який відповідає 12,5 % проблемних питань (1.3, 1.6, 1.7, 2.21, 3.6, 5.1);

конкуренція – 18,75 % проблемних питань (1.2, 2.1, 2.4, 2.5, 2.6, 2.8, 2.12, 2.15, 5.3);

модернізація флоту і інфраструктури – 22,9 % питань (1.1, 1.5, 2.3, 2.13, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 3.1, 4.1, 4.2);

безпека судноплавства – 27,10 % питань (1.4, 2.7, 2.11, 2.14, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 4.4, 4.8, 5.4, 5.5, 5.6);

надійність та ресурсозберігання – 18,75 % проблемних питань (2.2, 2.9, 2.10, 2.20, 4.3, 4.5, 4.6, 4.7, 5.2).

1.2 Проблеми безпеки мореплавства в водах України, пов'язані з досвідом «морської практики»

Безпека мореплавства – багатоаспектне явище, що поєднує комплекс різноманітних заходів організаційного, правового, технічного та інших спрямувань. За визначенням, що надається у діючому законодавстві, безпека мореплавства – це стан збереження (захищеності) людського здоров'я і життя,

довкілля та майна на морі; відсутність неприпустимого ризику, пов'язаного з загибеллю або травмуванням людей; заподіянням шкоди довкіллю або матеріальних збитків [22].

Ризик аварійних морських подій (АМП) є важливим аспектом водного транспорту, що впливає як на його основну діяльність, так і на забезпечення довкілля. Безпека експлуатації водного транспорту піддана впливу численних негативних факторів, які можуть призвести до різних негативних наслідків. Для мінімізації можливих збитків від таких подій важливо вживати різноманітні заходи щодо їх запобігання або зменшення ризиків через системи управління безпекою судноплавства. Управління цими системами потребує нових методів управління ризиками, які враховують складність внутрішнього і зовнішнього середовища, що характерне як для морського, так і для річкового транспорту.

Згідно з Положенням про класифікацію, порядок розслідування та обліку АМП із суднами, схваленому Міністерством транспорту та зв'язку України від 29 травня 2006 року [35], виділяються чотири основні класи АМП: дуже серйозні аварії; серйозні аварії; морські (серйозні) інциденти; інциденти.

Після аналізу підсумкових річних звітів за період з 2006 по 2024 роки, дані були впорядковані та узагальнені у таблиці 1.2. порівняльний аналіз загальної кількості аварійних морських подій на морському та річковому транспорті України, який представлено на рисунку 1.1 [53, 55, 56, 57, 58, 74, 129, 135, 136], є результатом цього аналізу.

Таблиця 1.2 – Аварійність на морському та річковому транспорті України у 2006-2024 рр

АМП	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
На морському транспорті	18	19	14	14	24	16	9	6	0	3	5	18	3	11	11	13	9	18	6
На річковому транспорті	5	18	3	0	3	3	6	7	1	9	5	10	8	10	15	27	12	9	5

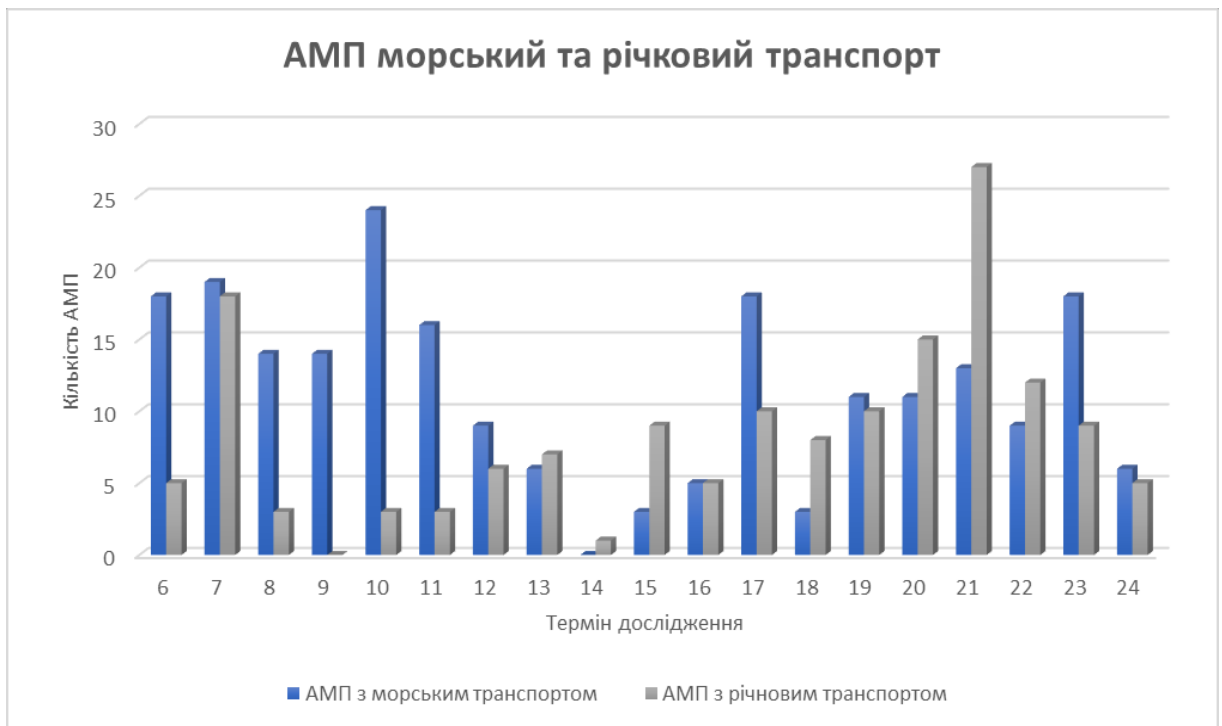


Рисунок 1.1 – Порівняльний аналіз загальної кількості аварійних морських подій на морському та річковому транспорті

Аналіз підсумкових річних звітів за період 2006-2024 років, що відображений на рисунку 1.2, показав кількість аварійних подій за різними класами на морському транспорті, що представлено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Аварійність на морському транспорті України у 2006-2024 рр. [19, 20, 21]

АМП	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Дуже серйозні аварії	2	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Серйозні аварії	4	4	2	6	7	5	1	1	0	0	1	8	1	2	3	4	1	0	0
Морський інцидент	2	8	4	3	9	3	2	2	0	2	0	0	2	7	8	8	3	7	1
Інцидент	10	6	8	4	8	6	6	3	0	1	4	10	0	0	0	1	5	11	5

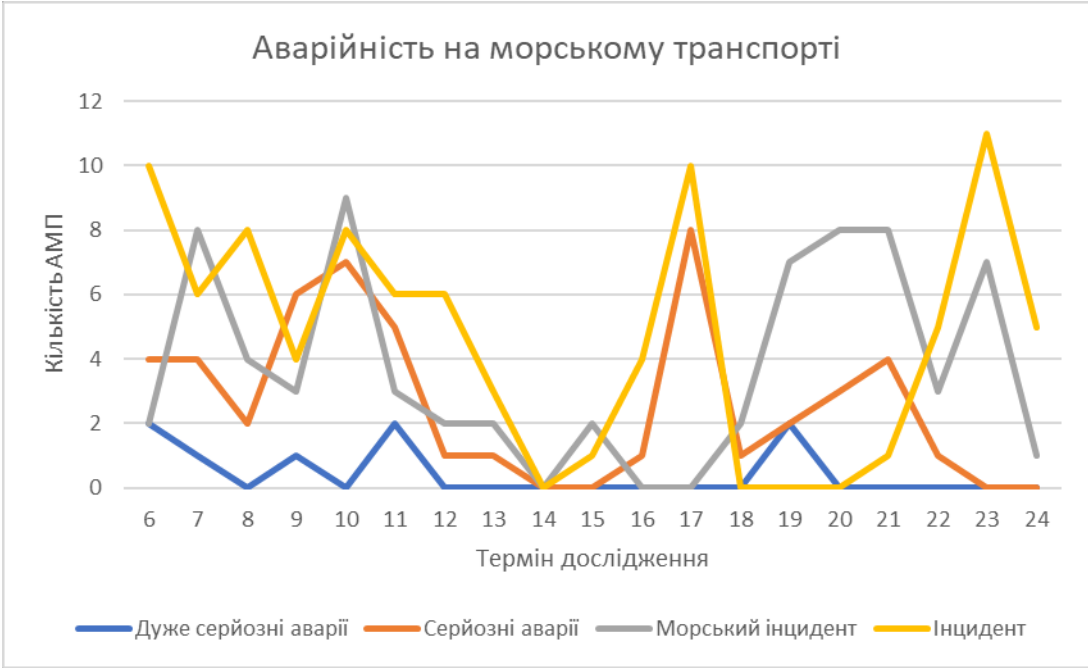


Рисунок 1.2 – Аварійність на морському транспорті України у 2006-2024
рр.

Аналіз підсумкових річних звітів за період 2006-2024 років, що відображений на рисунку 3, показав кількість аварійних подій за різними класами на річковому транспорті, що представлено у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Аварійність на річковому транспорті 2006-2024 рр.

АМП	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Дуже серйозні аварії	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	2	0	2	1	1	0	1
Серйозні аварії	0	5	1	0	3	1	4	3	0	1	2	6	2	4	5	5	1	1	1
Серйозний інцидент	3	1	1	0	1	1	1	1	0	0	3	1	0	4	3	7	4	2	2
Інцидент	2	2	0	0	0	0	1	3	0	7	0	2	4	2	5	14	6	6	1



Рисунок 1.3 – Аварійність на річковому транспорті України у 2006- 2024 рр.

Аналіз інформації в табл. 1.3 та табл. 1.4 за період 2006-2024 рр. показав, що найпоширенішою подією для обох видів транспорту залишається інцидент, а найрідкіснішою подією - дуже серйозні аварії. Для отримання повної картини розглянемо відносний розподіл подій, що цікавлять, у часі за весь досліджуваний період.

У випадку з дуже серйозними аваріями на морському транспорті у 2022-2024 роках спостерігається відсутність таких подій. Проте на річковому транспорті у 2022 та 2024 році сталася одна дуже серйозна аварія. Розподіл інших класів АМП як для морського, так і для річкового транспорту зберігається на досить високому рівні протягом всього періоду спостереження.

Якщо простежити за характером мінливості події (дуже серйозна аварія), то можна помітити взаємне зближення ліній трендів інцидентів, аварій та дуже серйозних аварій у певні періоди, наприклад, у 2020-2021 роках - для обох видів транспорту. Також лінії трендів всіх класів АМП дуже схожі за характером повторюваності від року до року, відмінності проявляються лише у чисельності подій для кожного класу.

Все це вказує на наявність тих самих чинників, що здійснюють прямий вплив на досліджувані події, незалежно від року спостереження. Навіть дані за 2022-2024 роки не демонструють суттєвих змін у загальній картині аварійності порівняно з попередніми роками [44].

У подальшому розглянемо тільки найскладніші класи АМП - дуже серйозні аварії і серйозні аварії. Для досягнення повноти сприйняття, всі ці події будуть зображені графічно у відношенні до абсолютних одиниць часу за період 2006-2024 років.

Це буде реалізовано у випадку, якщо відповідні роки не мають нульового значення. Графіки рис. 1.4 і рис. 1.5 відповідно відображають динаміку цих аварійних подій для морського та річкового транспорту.

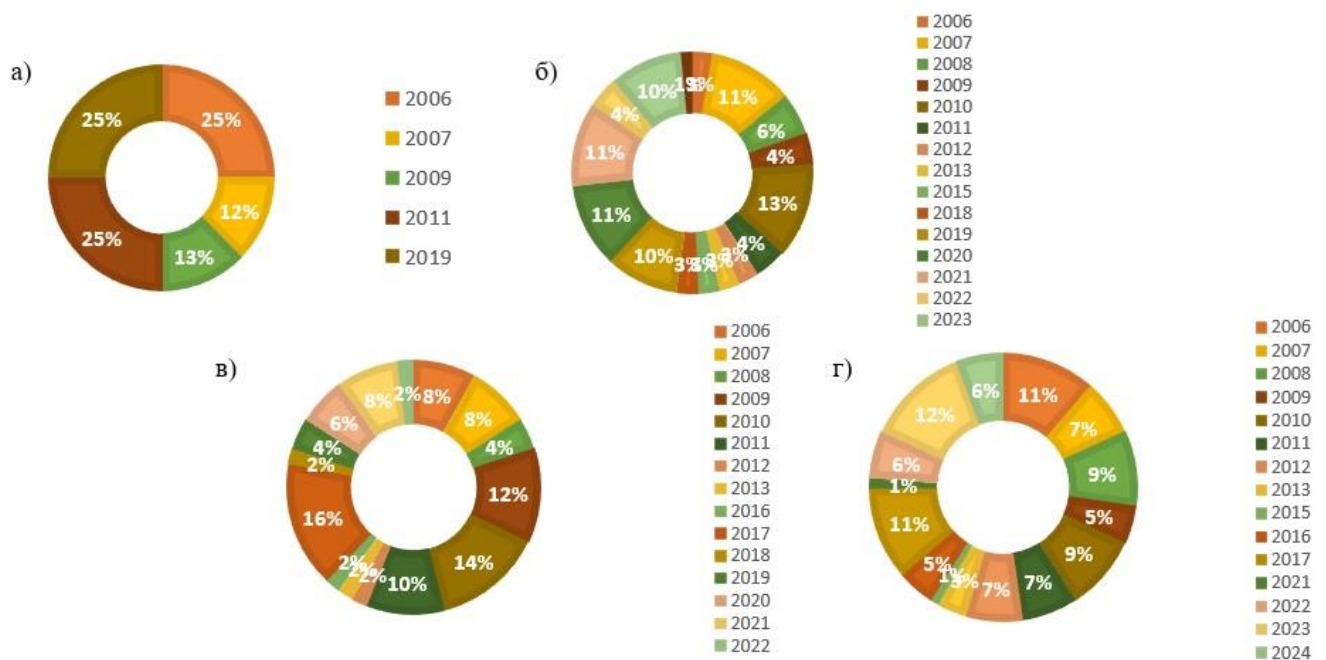


Рисунок 1.4 – Відносний розподіл АМП у період 2006–2024 роках для морського транспорту: а) дуже серйозних аварій; б)серйозних аварій; в)морських (серйозних) інцидентів; г) інцидентів.

Аналіз підсумкових річних звітів за період 2019-2024 років, який представлений на рисунку 1.6, ілюструє причини аварійних подій на водному транспорті, відображені в таблиці 1.5.

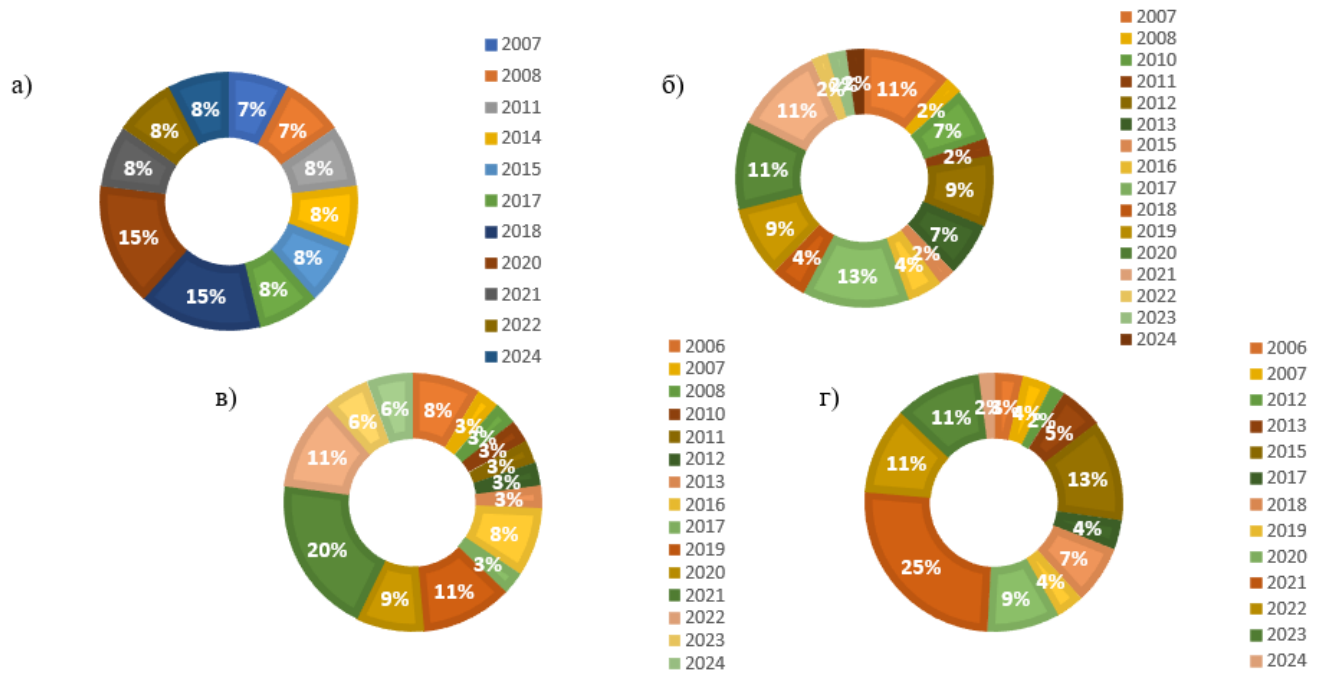


Рисунок 1.5 – Відносний розподіл АМП у період 2006–2024 роках для річкового транспорту: а) дуже серйозних аварій; б) серйозних аварій; в) серйозних інцидентів; г) інцидентів.

Таблиця 1.5 – Причини аварійних подій на водному транспорті України 2009-2024 рр.

Причини АМП	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Організаційні	10	15	24	7	11	4
Технічні	7	14	17	15	13	5
Навігаційні	11	13	12	10	4	2
Психофізіологічні	2	1	2	0	0	1

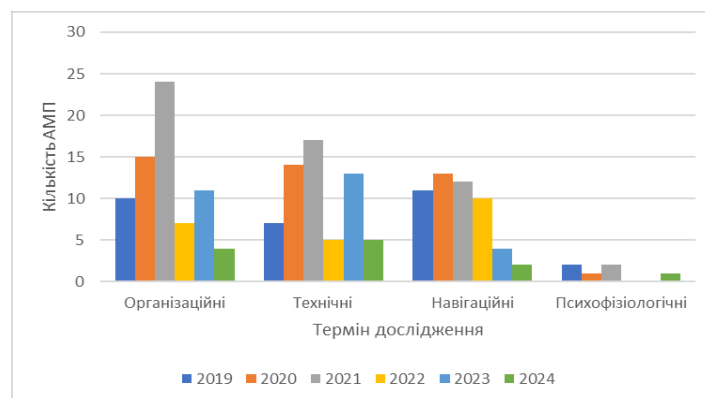


Рисунок 1.6 – Причини аварійних подій на водному транспорті України у 2019- 2024 рр.

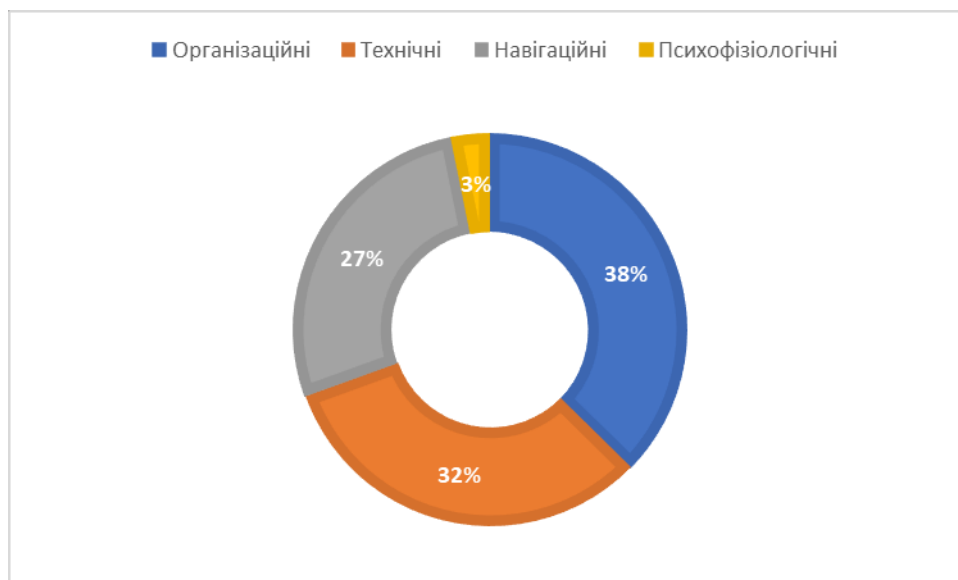


Рисунок 1.7 – Відносний розподіл аварійних подій на водному транспорті України у 2019- 2024 рр.

Сумарні дані про причини аварійних подій на водному транспорті в Україні за 2019-2024 роки:

Організаційні причини – 71 випадків (38 %) (неналежна організація несення вахтової служби, порушення вимог Правил плавання, Обов'язкових постанов, правил судноплавства, порушення вимог пожежної безпеки, порушення правил техніки безпеки та охорони праці, неналежна організація бункерування, експлуатація незареєстрованих маломірних суден)

Технічні причини – 61 випадків (32 %) (неналежна організація технічного обслуговування рульових, якірних пристроїв, неналежна експлуатація головних та допоміжних двигунів, відсутність контролю за станом паливних і масляних фільтрів, використання саморобних незареєстрованих плавзасобів)

Навігаційні причини – 52 випадків (27 %) (потрапляння на міліну, здійснення навалів на інші судна, причали, невиконання маневрів для запобігання зіткненням, порушення правил руху, права пріоритету, неналежне використання навігаційного обладнання, вихід за межі суднового ходу).

Психофізіологічні причини – 6 випадків (3 %) (втрата свідомості, серцеві напади під час керування, порушення правил безпеки, падіння за борт, керування суднами у нетверезому стані)

Організаційні недоліки були найбільш поширеною причиною аварій, сягаючи 38 % всіх випадків, що свідчить про нагальну потребу посилення контролю за дотриманням відповідних правил та процедур на судах. Технічні чинники також відіграли значну роль, ставши другою за поширеністю категорією причин на рівні 38 %. Це вказує на необхідність впровадження жорсткіших вимог до технічного стану та обслуговування суден. Навігаційні причини склали 27 % випадків, тому підвищення рівня навігаційної підготовки екіпажів має стати пріоритетом. Хоча психофізіологічні чинники були найменш поширеними (3 %), вони можуть призводити до вкрай небезпечних наслідків, тому контроль за психофізичним станом членів екіпажів потребує особливої уваги. Для гарантування безпеки судноплавства необхідно комплексно вживати заходів у всіх зазначених сферах.

Важливим документом у сфері безпеки мореплавства є Інструкція про порядок здійснення контролю за виконанням судноплавними компаніями України нормативних актів з питань безпеки судноплавства, яка затверджена ще наказом Міністерства транспорту та зв'язку України 26.11.2004 р. № 1048 [32]. Директива регулює нагляд Укртрансбезпеки за українськими судноплавними компаніями, щоб забезпечити безпеку перевезення вантажів та пасажирів. Здійснюються комплексні та цільові перевірки, а також оперативний контроль. Державні інспектори можуть отримувати інформацію та мають право виносити розпорядження чи заборони. Заходи включають відсторонення працівників, зупинку судна, анулювання ліцензії та адміністративне покарання.

1.3 Огляд результатів наукових досліджень в галузі морського та річкового водного транспорту

Вибір оптимальних морських шляхів заснований на системному підході. В рамках системного аналізу виникає ціла низка завдань, які вимагають уміння

прогнозувати процеси розвитку системи, приймати рішення та переводити систему з одного стану в інший, забезпечуючи оптимізацію цільових функцій з урахуванням обмежень щодо ресурсів та часу [137].

Для вирішення завдань подібного типу використовується прогностика - наука про методи та способи прогнозування майбутніх станів систем.

Наприклад, у галузі транспортної логістики для забезпечення максимального прибутку в системі «відправник вантажу - перевізник - вантажоодержувач» необхідно дотримуватися шести основних правил логістики для досягнення кінцевого стану вантажу: «попит», «кількість», «якість», «місце», «час» та «гроші» - мінімальна вартість транспортування при врахуванні необхідних умов для вантажу [54].

Багатокритеріальність вибору при прийнятті рішень у морському перевезенні викликана цілеспрямованими вимогами, які не завжди обумовлюються, хоча правила логістики, крім першого, безпосередньо стосуються завдань судноводіння.

Теоретично прогнозування розробки використовує класифікаційні ознаки, що відбивають масштабність, складність, детермінованість чи стохастичність змінних і зв'язків, інформаційну забезпеченість періоду ретроспекції і період прогнозу (короткостроковий, середньостроковий, довгостроковий).

Прогнозування ґрунтується на моделях, які відрізняються від математичних та направлене на розвиток об'єкта, використовуючи методологію та методи прогнозування. Цей процес необхідний при складанні плану роботи судноплавної компанії та плануванні шляху. Прогнозування та планування є першими етапами судноводіння, де прогнозування – генерація інформації про майбутні стани системи, а планування – прийняття управлінських рішень на тривалий термін [52, 72, 114].

Прогнозування розвитку системи потребує розробки стратегій та кількісної оцінки їх реалізації. На першому етапі визначаються можливі варіанти розвитку процесу, а на другому оцінюється ймовірність кожного з них. Результат прогнозування представляється як список варіантів розвитку. Точність

прогнозування і порівняння методів є важливими проблемами методології прогнозування, так як кожен варіант розвитку є унікальним і схильним до впливу безлічі зовнішніх і внутрішніх факторів. Попри це, прогнозування є важливим засобом формування інформації про стратегії розвитку системи [137].

У другій половині XX століття для оптимального планування маршрутів перевезення вантажів широко застосовувалися математичні методи вирішення транспортних завдань. Залежно від типу завдання застосовувалися різні методи, такі як лінійне програмування для розподілу ресурсів, нелінійне програмування для керування запасами, стохастичне програмування для «коустерних» перевезень, статистичний аналіз диференціальних рівнянь та траєкторії відновлення при організації масового обслуговування.

Проте, важливим моментом є формалізація завдання, оскільки її адекватність безпосередньо впливає на достовірність результатів досліджень у галузі планування. Також виникають складності при створенні критеріїв оцінки якості результатів та їх порівнянні при різних стратегіях розвитку систем, що призводить до багатовимірності задачі та невизначеності цілей.

Методи планування морських перевезень передбачають мінімізацію вартості, тобто. вирішення транспортного завдання щодо найбільш ефективного переміщення ресурсів з одного географічного пункту в інший [1, 79, 120, 137, 140, 142], і включають закони ринку, логістики та кінематики.

Завдання формулюється в такий спосіб: визначені ресурси зосереджені на складах $i = 1, 2, \dots, m$, попит на них є в пунктах споживання $j = 1, 2, \dots, N$. Для простоти розглядається один вид ресурсу, його запаси на i -му складі - u_i , попит на нього в j -му пункті споживання - r_j . Загальний запас дорівнює загальному попиту.
$$\sum_{i=1}^m u_i = \sum_{j=1}^N r_j.$$

Кількість ресурсів, що відправляється з i -го складу в j -й пункт споживання u_{ij} , вартість відповідного перевезення $Q_{ij}(u_{ij})$. Величини u_{ij} повинні бути невід'ємними, $u_{ij} \geq 0$. Крім того, вводяться обмеження на: запаси; загальна

кількість ресурсів, що відправляється з будь-якого складу (має дорівнювати запасам на цьому складі $\sum_{j=1}^N u_{ij} = u_i, i = \overline{1, m}$) і обмеження на попит; загальна кількість ресурсів, що відправляється в будь-який пункт споживання (має дорівнювати попиту в цьому пункті $\sum_{i=1}^m u_{ij} = r_j, j = \overline{1, N}$).

Таким чином, потрібно визначити кількість ресурсів, що перевозяться з i -го складу в j -й пункт споживання u_{ij} , щоб загальна вартість перевезень $Q_{mN} = \sum_{i,j} Q_{ij}(u_{ij})$ була мінімальна.

Це завдання, зазвичай, вирішується методом лінійного програмування. Але, якщо функції вартості $Q_{ij}(u)$ нелінійні, то ці методи не «спрацьовують», і завдання може бути вирішене методом динамічного програмування.

Нехай для простоти є два склади $i = 1, 2$ та N пунктів споживання. Величина витрат за використання оптимальної політики становить $B_N(u_1, u_2)$ при $N = 1, 2, \dots, u_1 \geq 0, u_2 \geq 0$. Задовольняючи першим попит у N -му пункті споживання, витрати в ньому складуть $Q_{1N}(u_{1N}) + Q_{2N}(u_{2N})$ і запаси ресурсів на складах зменшаться до $u_1 - u_{1N}$ і $u_2 - u_{2N}$. Відповідно до принципу оптимальності для $N \geq 2$ рекурентне співвідношення Беллмана записується у вигляді:

$$B_N(u_1, u_2) = \min_{u \in UJ} \{Q_{1N}(u_{1N}) + Q_{2N}(u_{2N}) + B_{N-1}(u_1 - u_{1N}, u_2 - u_{2N})\}, \quad (1.1)$$

де Q – область, визначена умовами $u_{1N} + u_{2N} = r_N, 0 \leq u_{1N} \leq u_1, 0 \leq u_{2N} \leq u_2$. Для $N = 1$ буде $B_1(u_1, u_2) = Q_{11}(u_1) + Q_{21}(u_2)$.

Транспортні завдання закритого типу можуть бути вирішені методами стохастичного програмування, які передбачають можливі несприятливі фактори, такі як погодні умови та/або помилки диспетчерської служби. Мета полягає в тому, щоб розподілити вантажі по різних ділянках шляху таким чином, щоб при виконанні певних умов максимально підвищити безпеку перевезення. У наукових методах, які використовуються під час вирішення таких завдань, домінує теорія

ймовірності. Крім критерію безпеки перевезень, часто також використовуються критерії мінімальної сумарної вартості та часу перевезень.

Транспортне завдання у закритій постановці також вимагає пошуку оптимального плану $x = \|x_{ij}\|$ перевезень особливих вантажів з пунктів відправлення $A_1, A_2, \dots, A_m$, у кожному з яких є $a_1, a_2, \dots, a_m$ одиниць вантажів до пунктів споживання $B_1, B_2, \dots, B_n$ з потребами $b_1, b_2, \dots, b_n$ для того, щоб максимізувати ймовірність безпечного перевезення всіх вантажів:

$$P(x) = \prod_{i=1}^m \left(\prod_{j=1}^n P_{ij}^{x_{ij}} \right) = \exp \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \ln p_{ij} \right) = \max(x_{ij}), \quad (1.2)$$

де $P_{ij} = P\{A_{ij}\}$ – ймовірність події A_{ij} безпечного перевезення одиниці вантажу з пункту відправлення i до пункту призначення j ; x_{ij} – кількість вантажів, що перевозяться з пункту відправлення i в пункт призначення j ; $P_{ij}^{x_{ij}}$ – ймовірність безпечного постачання вантажів у кількості x_{ij} з пункту i до пункту j ; $P(x)$ – ймовірність безпеки всіх перевезень вантажів.

При записі критерію (1.2) застосовується формула збільшення ймовірностей для незалежних подій. Оскільки експоненціальна функція у виразі (1.2) монотонно зростає, то завдання її максимізації зводиться до максимізації наступної функції:

$$g(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij}) \cdot x_{ij}, \quad (1.3)$$

Як відомо [18, 81], у закритій постановці транспортного завдання як обмеження на змінні x_{ij} виступають такі умови:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_j, i = 1, 2, \dots, m; \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n; \\ x_{ij} &> 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \sum_{i=1}^m a_i &= \sum_{i=1}^n b_i. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Іноді ці умови посилюються запровадженням пропускних здібностей $r_{ij} \geq 0$ кожного перевезення з i в j . У цьому випадку умови мають вигляд $0 \leq x_{ij} \leq r_{ij}$.

При складанні перспективного плану роботи судноплавного флоту, використовуються різні методи розрахунку, серед яких виділяються методи укрупнених розрахунків та метод попереднього розміщення суден [145].

Метод укрупнених розрахунків ґрунтується на визначенні провізної спроможності судна (флоту) шляхом множення однієї тонни вантажопідйомності на добу експлуатаційного періоду на експлуатаційний період у тоннажі – добу. Цей метод дозволяє оцінити головний критерій ефективності перевезень, а саме, максимальну вантажопідйомність, яку може забезпечити судно на добу.

Метод попередньої розстановки суден точніший, проте вимагає більш ретельного опрацювання, наприклад, знаходження середньої тривалості рейсообігу. Існує можливість визначення тривалості виконання певних ліній та напрямів роботи суден і на основі цього розраховувати провізну здатність останніх.

Таким чином, використання методів укрупнених розрахунків та методу попереднього розміщення суден у перспективному плануванні роботи судноплавного флоту дозволяють більш ефективно визначити провізну здатність та порядок виконання заданих ліній та напрямків роботи.

Відповідно до методики планування рейсу судна, доходи в економічних розрахунках вважаються постійними, оскільки ціни перевезення вантажів встановлюються з урахуванням ставок світового фрахтового ринку і залежить від технології перевезення. Також постійними залишаються конструкційні параметри судна, включаючи чисту вантажопідйомність, обсяг трюмів та вантажомісткість. З цього випливає, що для мінімізації витрат (собівартості) перевезення протягом рейсу необхідно враховувати лише загальні витрати.

Однак собівартість рейсу необхідно враховувати максимально повно, оскільки це відображає всі експлуатаційні витрати, що виникають у процесі доставки та пов'язані з транспортуванням вантажів. Існуючі методи розрахунку собівартості дозволяють врахувати лише до 60 % експлуатаційних витрат, що необхідно покращити. Для більш точного розрахунку собівартості необхідно враховувати змінну частину витрат на паливні матеріали, оплату судових зборів

та послуг, вантажні роботи та експедирування, включаючи агентські та інші витрати, пов'язані з виконанням рейсу.

На жаль, методика не враховує нижню межу собівартості перевезення, що не дозволяє оцінити якість транспортної послуги, обмежуючись лише констатацією фактичних витрат.

Для складання ефективного плану одиночних рейсів суден залежно від типу роботи флоту (регулярної чи нерегулярної) необхідно вирішити проблему маршрутизації. Вона полягає у визначенні послідовності етапів, коли загальна довжина маршруту буде мінімально-неминучою. Розв'язання цього завдання досягається шляхом аналізу, розкриття та порівняння лише перспективних варіантів переміщення, а потім вибору найменшого маршруту. Цей метод вирішення завдання відомий як «завдання про комівояжера» [79].

1.3.1 Особливості методів планування та оптимізації маршрутів суден

У роботі групи авторів [13, 77, 103, 109, 118] розглядаються різні комбінації методів планування та оптимізації маршрутів суден у морському середовищі, що може створювати складні умови та ступені невизначеності. Однак, наведені методи призводять до ускладнення алгоритмів керування судном і потребують великої уваги оператора, щоб контролювати пересування суден у невизначених умовах. Необхідність дотримання жорстких навігаційних та метеорологічних обмежень при плануванні маршрутів та необхідність урахування змінних факторів можуть бути враховані при плануванні судноплавства у морському середовищі. Однак, строгі обмеження та моніторинг обстановки потрібні для прийняття рішень у ситуаційних моментах, пов'язаних із необхідністю маневрування. Отже, техніки планування вантажопотоків, що застосовуються в оптимізації безпеки морських шляхів, знаходять своє застосування лише в рамках прогностичних цілей, а процес планування має бути керованим при суворих обмеженнях. Тому при плануванні маршрутів проходження суден попередньо враховуються лише жорсткі обмеження, викликані природними та штучними факторами навігації, а також прогноз погоди на найближчі 48 годин. Ситуаційні моменти, пов'язані з

необхідністю маневрування, вимагають безперервного контролю обстановки для вжиття заходів щодо безпеки.

В свою чергу, професор В. В. Зайцев для системи транспортування вантажів запропонував метод економічного обґрунтування доцільності використання транспортного засобу (судна) на основі закону ринка:

$$Z_c = C_c + E_n(K_c + G_c), \quad (1.5)$$

де Z_c – наведені витрати на 1000 т. вантажу, що транспортується, грош. од.;

C_c – собівартість транспортування 1000 т. від місця видобутку до порту вивантаження, грош. од./1000 т.; K_c – необхідні капіталовкладення у систему, грош.од. /1000 т.; G_c – витрати пов'язані із заморожуванням оборотних коштів, вкладених у вантаж на час його транспортування в системі, що розглядається, грош.од. /1000т.; E_n – галузевий нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень у систему морського перевезення вантажів, який враховує річний банківський відсоток від кредитів виділених банками, відн. од.

Для державних замовників суден їм запропоновано диференціальний метод оцінки економічної ефективності судна при проектуванні, будівництві та експлуатації, який базується на теорії варіаційного обчислення та дозволяє оцінити вплив тієї чи іншої корисної функції судна, що визначається наступним спрощеним виразом:

$$d_z = \frac{\partial z}{\partial v} dv + \frac{\partial z}{\partial \eta} d\eta + \frac{\partial z}{\partial C_a} dC_a + \frac{\partial z}{\partial \tau} d\tau + \frac{\partial z}{\partial C_T} dC_T + \frac{\partial z}{\partial T} dT, \quad (1.6)$$

де d_z – наведені витрати на 1 тонну готової провізної здатності судна, грош. од.; v – експлуатаційна швидкість судна, вузли; η – коефіцієнт утилізації вантажопідйомності до дедвейту, відн. од.; C_a – адміральський коефіцієнт, відн.од.; τ – стоянковий час у портах навантаження та розвантаження, добу; C_T - вартість 1 тонни палива, грош. од.; T – тривалість експлуатаційного періоду судна, доба. Методика, за словами автора, дозволяє визначати діапазон оптимальних швидкостей судна та відповідний мінімуму наведених витрат.

Для замовників суден із недержавною формою власності В. В. Зайцевим розроблено метод уточненого техніко-економічного обґрунтування при

проектуванні, будівництві та експлуатації суден за критерієм еквівалентної процентної ставки, використовуючи наступне рівняння:

$$\frac{PP}{C_P} = \frac{j(1+j)^{T_E}}{(1+j)^{T_E} - 1}, \quad (1.7)$$

де PP – річний прибуток судновласника, грош. од.; C_P – вартість транспортування 1 т. вантажу, грош. од.; T_E – термін експлуатації судна, роки; j – кредитна ставка банку за умовами поточного року, відн. од. За допомогою даного методу визначається діапазон швидкостей судна, що відповідає максимуму еквівалентної процентної ставки.

Вирішальне значення на етапі проектування судна надається вибору найкращого діапазону експлуатаційної швидкості, що визначається як для специфічного типу вантажів, так і для фрахтових тарифів. Це допомагає у завданні оптимальних параметрів ефективності транспортного засобу.

Роботи, виконані М. В. Міусовим [33], Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко [139], П. Ф. Овчиниковим, що аналізують планування ходу суден з метою мінімізації експлуатаційних витрат на одиницю шляху, ґрунтуються на методах, які включають закони кінетики та гідроаеродинаміки суднового пропульсивного комплексу. Вони також використовують результати експериментів, проведених більш ніж на 30 типах суден за багато років експлуатації. Результати дослідження свідчать, що оптимальна швидкість судна лінійно зменшується у разі зниження ставок добової орендної плати чи збільшення вартості палива.

Зниження вартості палива сприяє зменшенню витрат фрахтувальника у тайм-чартері при більш високих швидкостях руху судна. При цьому, досягнення певного рівня цін орендної плати більше не впливає на зміну оптимальної експлуатаційної швидкості. Компаративний аналіз оптимального ходового режиму різних типів суден дозволяє логістичному менеджеру вибрати найвигідніший тип судна на фрахтовому ринку.

Оптимізація ходового режиму судна за умов тайм-чартера є важливим питанням як для фрахтувальника, так і судновласника. Зусилля фрахтувальника у напрямі зниження витрат відповідають аналогічним завданням, що стоять перед

судновласником, який за рахунок оптимізації ходового режиму має можливість скоротити збитки, що відшкодовуються, за претензіями фрахтувальника у разі невиконання умов тайм-чартеру.

У своєму науковому дослідженні, викладеному в роботі професора Н. Ф. Гречко зазначається, що важливим значенням є витрати, пов'язані з реалізацією кожного технічного рішення, що розглядається, для досягнення встановлених цілей. Ці витрати узагальнюються у двох основних монетарних показниках: питомих капітальних витратах, що виникають при реалізації кожного варіанту (наприклад, пов'язаних з будівництвом, перевезенням та іншими витратами), та питомої собівартості, що характеризує питомі експлуатаційні витрати, які виникають при введенні суден в експлуатацію, та їх експлуатацією.

Типовим (інтегральним) методом вибору оптимальних економічних рішень, яким користуються при плануванні практичної діяльності, є метод мінімаксу наведених витрат, які пов'язані з реалізацією кожного варіанта технічного рішення, що розглядається.

Сучасна методологія, що розглядається, представляє комплексну систему вибору оптимальних маршрутів судноплавства морськими басейнами, засновану на аналізі багатоваріантних даних про метеорологічні умови, гідрологічні характеристики, навігаційні обмеження та інші важливі параметри, які впливають на рух морських суден. Методологія ефективно застосовується при вирішенні завдань транспортуванням вантажів морськими суднами. Ключові компоненти цієї методології включають використання сучасних технологій збирання та аналізу даних, розробку математичних моделей для оцінки оптимальних маршрутів та застосування спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу результатів.

Методологія також застосовується в різних галузях економіки, пов'язаних з морським транспортуванням, таких як логістика, суднобудування та нафтова промисловість. Результати застосування методології можуть призвести до підвищення ефективності та конкурентоспроможності даних галузей та зниження негативного впливу промислових викидів на навколишнє середовище.

1.4 Проблеми раціонального та оптимального управління судном

Методологія є системою принципів і методів організації, необхідної побудови як теоретичної, так і практичної діяльності. У міжнародній конвенції ПДНВ-78/95 (розділ А-VIII/2, частина 2) визначено загальні методологічні вимоги, які вимагають, щоб майбутній рейс був спланований заздалегідь за наявності необхідної та достатньої інформації. Це включає обов'язкове проведення планування «предрейсової підготовки») до початку рейсу будь-якого прокладеного маршруту, а також забезпечення запасів палива, води, мастил, хімікатів, витратних та інших запасних частин, інструментів, запасів, тощо.

Планування передбачуваного шляху з порту відходу до першого порту заходу здійснюється з використанням відповідних навігаційних карт та інших навігаційних посібників, що містять точну, повну та відкориговану інформацію щодо навігаційних обмежень та небезпек, які мають постійний або передбачуваний характер та мають відношення до безпеки плавання судна. Після перевірки запланованого шляху та прийняття до уваги всієї інформації, що до нього відноситься, запланований шлях прокладається на відповідних картах і повинен бути постійно доступним для вахтового помічника капітана.

При необхідності зміни порту заходу в рейсі або значного відхилення від запланованого шляху з інших причин, змінений шлях повинен бути опрацьований заздалегідь перед суттєвою зміною шляху. Рекомендації щодо планування рейсу наводяться у міжнародних документах, таких як Bridge Procedures Guide, ICS, 1998 (BPG) та Bridge Team Management, IMO, 1993 (BTM), а також [39, 127].

Методика планування переходу включає чотири частини: оцінка, планування, виконання та управління. Весь перехід розбивається чотири частини: від причалу порту відходу до початку морської ділянки переходу; морська частина переходу; від кінця морської ділянки переходу до рейду порта заходу; від якорної стоянки до причалу порту заходу. Можливі різні варіанти розбивки шляху на ділянки, такі як трансокеанський перехід та відкриті морські води, прибережні води та вузькі ділянки лоцманської проводки.

Оцінка планованого переходу (Passage plan Appraisal) – це аналіз та підбір інформації, необхідної для забезпечення безпечного плавання на маршруті. При виборі шляху для трансокеанського переходу враховуються метеорологічні умови за багаторічними даними, а також фактична погода на маршруті. Основою розрахунку оптимального шляху є плавання по «локсодромії», а на окремих ділянках – по «ортодромії». Для забезпечення безпеки на шляху у прибережній зоні та вузькостях беруться до уваги рекомендовані шляхи, системи розподілу руху та національні вимоги. Ділянки шляху з лоцманським проведенням також плануються для забезпечення безпеки плавання. Усі розрахунки враховують час проходу складних ділянок, їх освітленість, припливні явища та інші чинники.

Для знаходження найвигідніших шляхів по відкритому морю використовується метод зчислення ортодромії - найкоротшої відстані між пунктами відправлення та прибуття [110]. Шлях судна будується з урахуванням погодних умов, таких як течії, хвилювання та вітру, і проходить широкою смугою, в центрі якої розташована ортодромія. Для оптимальності маршруту необхідна доступність синоптичної карти поточних умов, карти хвилювання з висотою та фронтом хвилі, а також прогнозів на кілька діб уперед. На кораблі використовуються методики обчислення найбільш вигідного шляху та визначення швидкості ходу в залежності від параметрів хвилювання та дрейфу від вітру[12, 39].

Для оптимального планування шляху на відкритих ділянках моря використовується принцип знаходження найвигідніших шляхів. Основою розрахунку служить ортодромія, тобто найкоротша відстань між точками прямування. Фактичний маршрут судна визначається на основі прогнозів погодних умов на найближчі 1-2 доби, враховуючи течії, хвилювання та вітер [110]. Для оптимальності маршруту необхідні достовірні карти поточної синоптичної обстановки та хвилювання на маршруті, а також прогноз на 2-3 дні наперед. На судні мають бути засоби обчислення оптимального маршруту на основі гідрометеорологічної інформації, а також методики визначення швидкості судна в залежності від напрямку вітру і висоти хвиль.

У 50-60-х роках ХХ століття було опубліковані перші результати досліджень, присвячених розробці методів вибору морських шляхів. Серед цих робіт можна назвати праці Н. М. Терьєва, В. І. Немчикова, В. І. Удалова, Г. М. Уханова та Ю. М. Пилипова. Колектив морських вчених [51] також торкнувся цієї проблеми, провівши дослідження, спрямовані на вибір найбільш оптимальних шляхів, враховуючи прогнозовану гідрометеорологічну обстановку та особливості вантажу. Дослідження показали, що критеріями, які визначають оптимальний шлях, є швидкість переходу між початковим та кінцевим пунктом морського переходу при заданій гідрометеорологічній ситуації, мінімальна витрата палива; обхід районів сильного хвилювання та інші характеристики. Також дуже важливим критерієм є економічна ефективність плавання, оскільки скорочення ходового часу в рейсі дозволяє збільшити провізну спроможність флоту та збереження вантажів і людей.

Проблема вибору оптимального маршруту полягає в аналізі зовнішніх факторів, розподілених у просторі та часі, а також у визначенні поведінки судна залежно від конкретних умов, пов'язаних із гідрометеорологічною ситуацією. Ключовим фактором, що визначає оптимальний маршрут, є точність і своєчасність прогнозу погодних явищ і штормових попереджень [130].

У процесі створення математичних моделей переходу судна необхідно попередньо визначити закономірності зміни швидкості судна залежно від висоти хвиль та курсового кута напряму фронту хвилі, які мають нелінійний характер. Також необхідно описати поля хвилювання водної поверхні, які представлені аналітичними рядами Чебишева, де коефіцієнти кожного ряду підставляються у вигляді рівняння регресії визначення висоти хвиль та його напрямки у різних точках маршруту. Розрахунок оптимальних курсів, що рекомендуються, здійснюється шляхом використання подібних полів хвилювання для прокладання можливих курсів на період до п'яти днів і подальшого вибору оптимального маршруту судна на основі представлених даних. Розрахунок проводиться періодично з інтервалом 6 годин.

Для оптимізації маршруту судна необхідно виконати три етапи: прогноз баричних полів на 5 днів вперед через 6-ти годинні інтервали, розрахунок полів хвилювань на основі прогнозу та розрахунок карток розподілу швидкості судна за картами хвилювання. Остаточний оптимальний маршрут судна розраховувався за допомогою варіаційного обчислення та програмування, докладніше описаних у [89]. Крім урахування втрат швидкості від хвилювання, методика включає обхід навігаційних перешкод та заборонених зон.

У дослідженні А. Л. Вагущенко [139] описано алгоритм для перепланування оптимального маршруту через океан, що включає три етапи. Перший етап полягає у визначенні допустимої області рішень, використовуючи графову модель. На другому етапі проводиться розрахунок локсодромних відстаней $D_{i,j,k}$ та курсів $K_{i,j,k}$ для кожного ребра, що з'єднує сусідні дорожні точки $P_{i,j}$ і $P_{i+1,k}$. На третьому етапі здійснюється пошук оптимального маршруту на графі із заданим критерієм. Для цього застосовується генетичний алгоритм, в якому кожен маршрут розглядається як особистість з хромосомами, що складаються з n генів $G_{k,r}$, де k – номер маршруту, а r – номер шляхової точки. Значення гена дорівнює номеру вершини графа на ізостадії, що проходить крізь відповідну дорожню точку r .

Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко та С. І. Заїчко був розроблений вдосконалений метод планування шляху судна через океан на основі електронної карти, обліку гідрометеорологічних умов плавання та характеристик мореплавності конкретного судна з широким дозволом по широті та довготі. Для визначення метеобстановки вибирається область, де розташований маршрут по ортодромії, і використовується комплексний показник, що відображає потенційну швидкість зближення судна з точкою призначення. Задається максимальна допустима швидкість руху по курсу з урахуванням природних втрат швидкості від вітру та хвилювання, що зберігає мореплавність судна. Мореплавність судна оцінюється за допомогою критеріїв, що враховують ймовірність різних несприятливих явищ, які можуть зашкодити судну та вантажу.

Як комплексний показник швидкості переміщення судна до точки призначення було обрано відносну швидкість. Вона є важливим показником, що

відображає потенційну швидкість зближення судна із місцем призначення. Для визначення даної швидкості використовується відношення між наведеною до ортодромії швидкістю в точці знаходження і швидкістю повного ходу судна за відсутності впливу вітру, хвиль і течії.

Для кольорового відображення погодних умов в області визначається значення показника для відповідних осередків сіткових даних про погоду. Це відображення значно зменшує обсяг необхідних обчислень і дозволяє звужити область пошуку оптимального трансокеанського маршруту на основі прогнозів погоди та мореплавства судна. Однак при визначенні наведеної до ортодромії швидкості судна відбувається порушення умов ортогональності при встановленні координат точок лінії ортодромії, що призводить до похибок у визначенні комплексного показника наведеної швидкості зближення, пропорційного куту відхилення точки від лінії ортодромії з вершиною в точці початку руху судна.

Можливе застосування методу ізохрону на судах, який був запропонований Джеймсом і надалі неодноразово модифікований. Ізохрон являє собою набір геометричних точок, в які може підійти судно за однаковий часовий інтервал. Знайдені відрізки відповідають пройденому шляху судна за певних умов хвилювання моря, вітру та морських течій. Цей метод ґрунтується на швидкісних характеристиках судна та дозволяє визначити оптимальний шлях судна, що задовольняє критерію швидкодії.

У працях Ю. І. Нечаєва, Ю. І. Нечаєва та В. Г. Сизова міститься підхід до вирішення проблеми вибору оптимального океанського маршруту судна в умовах невизначеності. Цей підхід включає визначення курсу та швидкості судна у складних умовах експлуатації. Також були розроблені алгоритми та програми, засновані на теорії прийняття рішень у нечіткому середовищі, методах теорії ймовірностей та класичної теорії множин для обліку фізичних невизначеностей та представлення елементів системи.

Для моделювання просторово – тимчасового поля $\zeta_W(\vec{r}, t)$ схвильованої поверхні морського хвилювання використовується модель авторегресії – ковзного середнього, заснована на представленні процесу хвилювання у формі лінійної

динамічної системи N - го порядку з розподіленими параметрами та випадковим вхідним сигналом:

$$A[\vec{r}, t] \cdot \zeta_W(\vec{r}, t) = B[\vec{r}, t] \cdot \varepsilon(\vec{r}, t), \quad (1.8)$$

де $A[x, t] = \sum_{i=0}^N a_i \frac{\partial^i}{\partial t^i} + b_i \frac{\partial^i}{\partial \vec{r}^i}$; $B[x, t] = \sum_{j=0}^M a_j \frac{\partial^j}{\partial t^j} + d_j \frac{\partial^j}{\partial \vec{r}^j}$ – лінійні диференціальні оператори з коефіцієнтами авторегресії (a_i, b_i) і ковзного середнього (c_j, d_j), а $\varepsilon(\vec{r}, t)$ - поле центрального білого шуму з одиничною дисперсією. Параметри моделі ідентифікуються за допомогою системи рівнянь Юла-Уокера через просторово – тимчасову кореляційну функцію ординат хвилювання:

$$K_{\zeta}(x, y, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_{\zeta}(u, v) \cos(xu + yv - \omega(uv)\tau) du dv, \quad (1.9)$$

де $E_{\zeta}(u, v)$ – енергетичний спектр у площині хвильових частин (u, v) , який через дисперсійне співвідношення $\omega = \omega(u, v)$ пов'язаний з частотно–спрямованим спектром хвилювання $S_{\zeta}(\omega, \theta) = S_{\zeta}(\omega)Q(\omega, \theta)$, де ω – частота, а θ – відповідний їй напрямок.

У ході аналізу можливих варіантів реалізується метод хвильового сценарію та відповідний алгоритм оцінки зміни швидкості судна. Це дозволило визначити зменшення швидкості в умовах хвилювання і час, який буде потрібно судну для досягнення портів-притулків в умовах шторму, що розвивається.

Для моделювання динаміки екстремальних ситуацій у цьому контексті застосовувався алгоритм, що дозволяє уявити зміну параметрів довкілля і характеристик мореплавства судна. Дані, отримані під час аналізу ситуації, були використані для побудови функцій власності нечіткої системи побудов.

Хвилювання характеризується курсовим пеленгом сліду хвилі CB_{WT} та висотою хвилі $h_3\%$. Стійкий вітер характеризується курсовим пеленгом справжнього вітру CB_{TW} та швидкістю U_{TW} (рис.1.8). Працюючи, бортовий комп'ютер зазначені характеристики приймає за даними вимірів, а в інших випадках – виходячи з аналізу режимів вітру і хвилювання у заданому районі плавання.

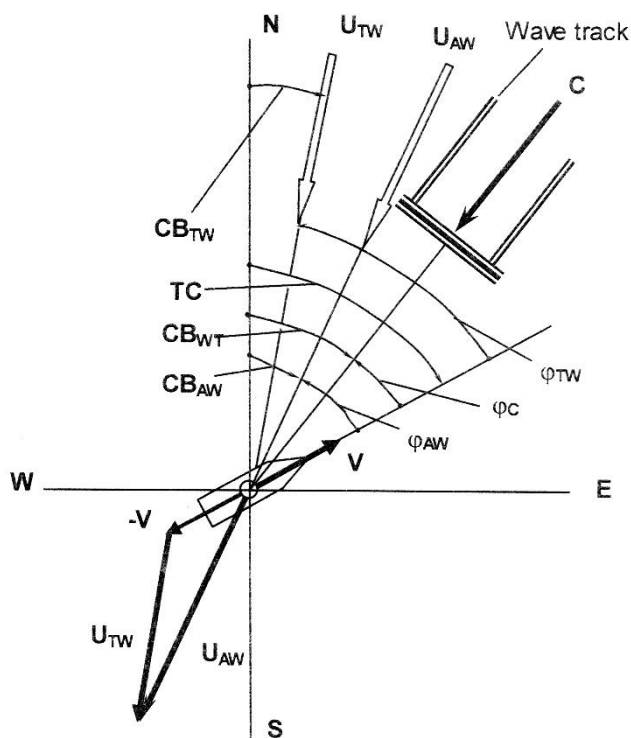


Рисунок 1.8 – Курсові кути та трикутник швидкостей

Для вибору оптимальної стратегії маневрування, яка враховує морські якості судна, використовується підхід Беллмана-Заде. Для прийняття рішень необхідно раціонально вибрати курс і швидкість судна, проаналізувавши всі можливі варіанти (множина альтернатив X) і вибрати найбільш переважний. В умовах хвилювання та зледеніння альтернативні варіанти вибираються з урахуванням вимог до мореплавності судна в екстремальних ситуаціях, включаючи забезпечення критеріїв стійкості та плавучості. Для встановлення нечітких цілей G та обмежень C_1 та C_2 , експертні оцінки перетворюються на міру належності. Для вирішення обчислювальних завдань алгоритми переходу від чіткої до нечіткої системи знань використовують операцію фазифікації.

У статті [147] наголошується, що для складних ситуацій використовуються нечіткі оцінки та граф-інтерпретації, що допомагають розглядати вибір дій оператора як комбінаторне завдання на графах. Рівень нечіткості графа визначає сферу допустимих рішень. Шляхом завдання нечіткої оцінки можна визначити цю область та вести пошук оптимальних рішень на графах.

Найбільш повно знайшла своє відображення загальна методика формування планів переходу в роботі колективу авторів [89], де при виборі режимів ходу судна використані закони кінематики (для характеристики переходу) так і кінетики (для характеристики операційних обмежень судна).

Основні положення теорії планування переходу включають мету оптимального плану, яка полягає у створенні графіка проходження судна до порту призначення на основі екстремальних критеріїв управління та/або якості, а також облік критеріїв тривалості переходу і кількості палива, що витрачається, а також безпеки судна і вантажу (операційних обмежень). Параметри безпеки розглядаються в межах граничних значень висоти хвиль, параметрів качки та слемінгу, а також механічної напруги в елементах корпусу судна. Робота [93] також частково розглядає форми динамічного впливу середовища на швидкість судна.

В. В. Голіков в своїх працях [6] при оптимізації маршрутів пропонує локальний критерій ефективності утримання судна на курсі та глобальний критерій ефективності руху судна на маршруті.

Трохи раніше А. С. Мальцев [26] запропонував ряд локальних та глобального критерію автоматичного управління судном в системі «вантаж – судно – оператор».

У сучасних дослідженнях, присвячених морському та річковому транспорту, простежується тенденція до впровадження енергоефективних технологій, інтелектуалізації управління суднами та підвищення безпеки судноплавства. В. В. Будашко разом із колективом авторів запропонував енергоефективну систему позиціонування судна подвійного призначення, яка забезпечує підвищення точності утримання судна в позиції та зниження енерговитрат [2]. І. О. Бурмака у своїй дисертаційній роботі дослідив особливості безпечного розходження суден з урахуванням їх інерційності, що має важливе значення у підвищенні рівня навігаційної безпеки [3]. І. І. Ворохобін разом із співавторами запропонував методи імітаційного моделювання для оцінки ефективності визначення координат судна, що є актуальним у навігаційному супроводі, особливо в умовах обмеженої

видимості чи складної обстановки [141]. В. А. Голіков, В. В. Голіков та О. А. Онищенко у своїх працях акцентують увагу на застосуванні методології науки у дослідженнях морського та внутрішнього водного транспорту, що сприяє формуванню системного підходу в галузевій науці [8]. В. В. Голіков також виступає співавтором технічного рішення, присвяченого енергоефективному позиціонуванню судна, що є важливою складовою автоматизованого керування рухом [6]. М. О. Колегаєв визначив основні напрями вдосконалення безпеки сучасного мореплавства, зокрема через оптимізацію організаційно-технічних рішень і систем управління ризиками [23]. О. Ф. Кривий у співпраці з М. В. Міюсовим розробив математичні моделі гідродинамічних сил і моментів, що діють на корпус судна, а також методи оптимального керування комбінованими пропульсивними комплексами із застосуванням вітрорушіїв [95]. М. В. Міюсов, продовжуючи ці дослідження, запропонував рішення щодо ефективного управління енергетичними системами суден з альтернативними рушіями [34]. В. В. Нікольський у співавторстві з дослідниками проаналізував можливості вдосконалення систем дистанційного моніторингу параметрів суднових дизелів з електронним управлінням, що підвищує надійність експлуатації енергетичних установок [37]. О. А. Онищенко також є співавтором дослідження, присвяченого інтегрованим моделям оптимізації вибору перевізника та маршруту в умовах мультимодальних транспортних систем, що дозволяє підвищити ефективність логістичних процесів [122]. С. В. Сагін дослідив можливості застосування штучного інтелекту у ситуаціях надмірного зближення суден, запропонувавши підходи до підвищення рівня безпеки у складних умовах морського руху [40]. О.Я. Хлієва у співпраці з міжнародною групою дослідників провела енергетичний та екологічний аналіз доцільності застосування холодильних установок з тепловим і електричним приводом для систем кондиціонування повітря на транспортних об'єктах [91].

1.5 Висновки до першого розділу

1. Огляд сучасного стану вирішення завдань Морської доктрини України із застосуванням філософського підходу «від загального» до «особистого» крізь «часткове» показав на проблемні напрямки пов'язані з: подальшим розвитком проблеми безпеки судноводіння в сучасних умовах, узагальненням накопиченого досвіду «морської практики» та спроможності інтегрування і просування знань з основного питання безпечного й оптимального руху суден.

2. При огляді стратегічних проблем «загального» виявлені наступні факти: недостатня законодавча база, конкуренція на ринку вантажів; необхідність модернізації флоту і інфраструктури; підвищення безпеки судноплавства; інтенсифікації та ресурсозбереження під час управління судном.

У зв'язку з цим, пропонується збільшення контролю за роботою суден з боку держави, активізація регулярних заходів у сфері безпеки плавання та екологічної безпеки, а також залучення інвестицій в галузь морської торгівлі.

3. При розгляді аварійності МРТФ «часткового» пов'язаного з досвідом «морської практики» виявлені наступні причини (за рангом): організаційні (38 %), технічні (32 %), навігаційні (27 %), психофізіологічні (3 %).

4. Із огляду аварійності протягом декількох років, зроблений висновок, що найбільша кількість загиблих та травмованих осіб виникає під час аварійних подій, що відбуваються з маломірними (малими) суднами, а значне зниження аварійності на морському та внутрішньому водному транспорті пов'язане також із тимчасовим припиненням судноплавства у територіальному морі та на внутрішніх водних шляхах України через військову агресію проти України.

5. При розгляді «особистого», пов'язаного з оптимізацією руху судна під впливом навантажень і збурень, виявлено проблеми прогнозування, планування, управління та експлуатації шляхом прямого чи обчислювального визначення елементів, що забезпечують раціональне або оптимальне просування судна маршрутом без ризику за допомогою адаптивного авторульового.

За темою даного Розділу опубліковані наукові праці [12, 13].

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТЕМИ, ТЕХНОЛОГІЯ І МЕТОДИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ З УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ НА МАРШРУТІ

Вибір теми дослідження відіграє ключову роль у наданні науковим дослідженням цілеспрямованості та визначеності. Відповідно до підходу, описаному в роботі В. А. Голікова та О. А. Онищенко [8], проблема вибору теми зумовлена низкою особливостей, які слід врахувати під час ухвалення рішення. Ці особливості включають багатоцільовий характер вибору теми, а також можливе протиріччя між різними цілями, які можуть бути поставлені перед дослідженням. Крім того, необхідно враховувати вплив фактору часу, особливо при спостереженні за процесом чи наслідками його наступу, які можуть бути неоднорідними та необмеженими у часі.

Одним із складових аспектів вибору теми є наявність понять, які не можуть бути однозначно формалізовані. Наприклад, такі поняття, як «морська практика», «вольове рішення» та інші соціотехнічні дії, вимагають особливого підходу та тлумачення у контексті дослідження.

При прийнятті рішення також необхідно враховувати можливу невизначеність наслідків, що виникають на момент ухвалення рішення. Це пов'язано з тим, що деякі наслідки дослідження можуть бути неоднозначними чи непередбачуваними на початковому етапі дослідження.

Додатково, важливо враховувати можливість отримання інформації про об'єкт дослідження або управління ним з використанням доступних засобів у певний період часу. Важливо відзначити, що достовірність інформації не має бути обмежена тривалістю цього періоду.

Планування рейсів та управління судном – це області, де всі вищезгадані фактори набувають великого значення. Динамічність реалізації завдання

планування рейсу, прогнозування майбутніх подій та ухвалення відповідних рішень – все це важливі аспекти при виборі теми дослідження у цій галузі.

Зрештою, слід зазначити, що на вибір теми дослідження також впливають профіль наукової школи та наукова спеціальність. Це пов'язано з тим, що кожна тема дослідження має власну специфіку і потребує певних компетенцій і знань. Правильний вибір теми потребує колективної та/або індивідуальної відповідальності з боку дослідника за досягнення наукових результатів та внесок у наукову спільноту. У результаті, вибір теми дослідження є складним процесом, який вимагає аналізу різних факторів і прийняття обґрунтованих рішень.

У системних дослідженнях вибір тематики наукового дослідження є важливим та складним завданням. В.Г. Тулайдан у своїй роботі [50] виділяє кілька ключових ознак, які допомагають визначити значущість теми, що обирається. Ці ознаки включають актуальність наукової роботи, наукову новизну, економічну ефективність, відповідність профілю досліджень колективу кафедри (наукової школи) та наукової спеціальності, а також термін реалізації результатів теоретичних досліджень.

Актуальність теми означає її відповідність сучасним викликам та потребам. Дослідження повинне мати практичну значущість та здатність вирішувати актуальні проблеми.

Наукова новизна передбачає, що обрана тема робить оригінальний внесок у наукове знання і пропонує нові підходи або рішення.

Економічна ефективність пов'язана з практичної користю дослідження для економіки. Тема повинна мати потенціал для оптимізації процесів чи вирішення проблем, що сприяє ефективному використанню ресурсів.

Відповідність дослідження профілю діяльності колективу кафедри (наукової школи) та наукової спеціальності гарантує наявність експертизи та ресурсів для успішної реалізації дослідження.

Нарешті, реалізуємість результатів теоретичних досліджень має на увазі, що запропоновані теоретичні розробки мають потенціал для практичного застосування і призводять до конкретних результатів.

Наукові дослідження в галузі судноводіння надають результати, які наголошують на системності морської практики на основі декількох ключових ознак. Ці ознаки включають структурованість морської транспортної мережі, взаємопов'язаність її складових частин та спрямованість усієї системи до певної мети. У контексті людської діяльності ці ознаки є очевидними, проте у судноводінні також спостерігається строга логістична алгоритмічність.

Слід зазначити, що не завжди судноводій усвідомлює алгоритми дій, особливо в ситуаційних процесах, і, натомість, виконує їх інтуїтивно чи автоматично [17]. У цьому контексті важливо підкреслити значення професіоналізму судноводія, який повинен мати достатній досвід у морській практиці [122, 125]. Таким чином, дії професіонала ґрунтуються на алгоритмах, а недостатня їхня досконалість може призвести до незадовільних результатів, екологічних катастроф [143], аварій або загибелі людей, вантажів та транспортних засобів. Для подолання подібних ситуацій важливо виявляти недосконалі алгоритми, вивчати їх, а також проводити пошук та усунення «слабких місць» для підвищення стабільності руху шляхом забезпечення системності.

Відмінною особливістю результатів досліджень у галузі управління є їх фундаментальний характер та наявність чітких методів прогнозування. Дослідники прагнуть передбачати результати та застосовувати прогнозування для забезпечення ефективності та безпеки у судноводінні.

На даний момент існує безліч теоретичних методів для вирішення транспортних завдань, заснованих на ринковому законі про прибуток, а також апробованих методів, заснованих на законах і правилах кінематики та кінетики руху для завдань судноводіння. Однак, слід зазначити, що вони існуючі алгоритми мають резерви адаптації для вирішення завдань вибору, прийняття та реалізації рішень у галузі судноводіння. Відсутність системних досліджень, спрямованих на визначення місця та ролі судноводіння у морських перевезеннях, перешкоджає покращенню процесів прийняття рішень у транспортній галузі.

Наприклад, у методах розв'язання завдань транспортної логістики переважають економічні чинники, тоді як методи розв'язання навігаційних

завдань, засновані на теоріях навігації та корабля, не враховують економічні та системні фактори, які б дозволили оцінити альтернативні морські маршрути стабілізаційного характеру, а у методах вирішення завдань суднової енергетики, хоч і розглядаються показники, такі як мінімальні енергетичні чи наведені витрати на роботу суднового гідропротупльсивного комплексу, однак розв'язання задачі зупиняється на цьому ж етапі.

2.1. Вибір теми дослідження

Необхідність удосконалення методів оптимізації плавання судна за маршрутом пов'язана з подальшим розвитком методологічних основ судноводіння.

Актуальність теми дослідження пов'язана зі здешевленням перевезень морським та річковим транспортом з дотриманням правил безпеки судноплавства. Огляд результатів досліджень у галузі судноплавства показує, що при безпосередній механічній роботі суднами особливе місце займають: планування навігаційних завдань, маршрутизація погоди, стабільне управління транспортним процесом. Існуючі методи оптимального планування морських маршрутів використовують принцип мінімізації транзитних відстаней у задачах лінійного, динамічного та стохастичного планування, а задачі управління, спрямовані на мінімізацію витрати палива та часу доставки вантажу, включають елементи теорії варіаційного обчислення. Існуючі методи оптимізації маршрутів описують транспортні процеси односторонньо, вони не є системно взаємопов'язаними і характеризуються фрагментарністю. Тому питання удосконалення принципових методів і методів оптимізації процесу перевезення вантажів морським та річковим транспортом залишаються актуальними і гострими через високу витрату енергоносіїв і фінансових витрат на транспортне забезпечення.

Передбачувана наукова новизна даного дослідження полягає у розробці стабільного, надійного, швидкодіючого та точного алгоритму визначення характеристик прямолінійного, поступального та рівномірного руху судна, що враховує вектори швидкості, пов'язані із зовнішніми впливами та мінливістю

умов довкілля. Застосування координатного методу аналітичної геометрії та графоаналітичних підходів надає нові можливості для точного визначення параметрів руху судна та підвищення якості керування на маршруті за допомогою засобів обчислювальної техніки.

Об'єктивність дослідження проводиться на основі системного аналізу та великого набору даних, зібраних у реальних умовах руху судна. У ході дослідження планується врахувати різні фактори, що впливають на процес навігації, включаючи природні та техногенні впливи, мінливість погодних умов, гідродинамічні параметри та інші фактори, які можуть впливати на точність та ефективність руху судна.

Теоретичною основою для подальшого удосконалення методології дослідження процесу морського перевезення є різні математичні моделі та теоретичні роботи, запропоновані рядом авторів. Діяльністю В. В. Винникова і В. В. Зайцева були запропоновані математичні моделі прогнозування економічної ефективності судна. Роботи М. В. Міюсова [33], С. І. Горба [75] та П. С. Суворова представляють математичну модель суднового гідропропульсивного комплексу.

Важливими залишаються також роботи, присвячені математичним моделям руху судна Ю. І. Нечаєвим, також роботи В. Г. Алексішина [54], які вносять значний науковий внесок в розвиток морського та річкового транспорту.

Крім того, існують моделі та алгоритми керування судном, розроблені такими авторами, як Л. Л. Вагущенко [139], А. С. Мальцев [26], С. І. Демін, П. Ф. Овчинніков та іншими.

Важливим аспектом дослідження транспортного процесу є системність, а це передбачає розуміння структури, ієрархії, взаємозв'язків та відносин, що існують усередині процесу морського перевезення.

Основна увага в дослідженні приділяється створенню, розробці та апробації удосконаленого алгоритму визначення характеристик руху судна на маршруті з використанням координатного підходу та аналітичної геометрії.

Економічна ефективність дослідження визначається втратами колії в рейсах через відхилення судна від запланованого маршруту.

Результати дослідження, виконаного Голіковим В. В. вказують, що дорожні втрати у рейсі становлять 8-10 % від загальних [14]. Якщо прийняти щорічну величину ходового часу 150 діб, тобто, 50 % від експлуатаційного (300 діб), то щорічна втрата часу становитиме 10...15 діб, а у грошовому еквіваленті 1850000...2775000 гривень, або $(10 \div 15) \times 5000\$ \times 40$ грн/\$. Такі грошові витрати порівняно із щорічною стипендією аспіранта (близько 78000 грн.) або аналогічною зарплатою наукового співробітника (близько 102000 грн.) визначають ефективність передбачуваної роботи:

$$\eta_E = Z_\phi / Z_c = 1850000 / 78000 \approx 23. \quad (2.1)$$

Наведена величина ефективності, хоча і є наближеною, переконливо вказує на економічну доцільність наукового попиту на аспірантські дослідження.

Наукова спрямованість дослідження відповідає профілю багаторічної наукової діяльності НУ ОМА, а також основним науковим напрямом спеціальності 271 – морський та річковий водний транспорт.

Результати вибору теми дисертаційного дослідження дозволяють її сформулювати так: «Удосконалення плавання судна за маршрутом».

З назви теми випливає, що об'єктом дослідження є процес руху судна морськими шляхами, а предметом дослідження – інтенсивні та екстенсивні параметри його руху.

2.2 Обґрунтування мети, гіпотези та завдань дослідження

2.2.1 Обґрунтування мети дослідження

У контексті стратегічного розвитку морських перевезень, визначено як ключову мету – покращення управління судном на маршруті шляхом стабілізації його руху. Згідно з встановленими стратегічними завданнями, стають активне вдосконалення та впровадження нових алгоритмів управління, щоб забезпечити

ефективне та безпечне переміщення судна у різних умовах плавання.

Ця мета та завдання визначаються необхідністю створення адаптивних систем управління, здатних реагувати на різноманітні впливи, такі як погодні умови, течія, інші зовнішні та внутрішні фактори. Досягнення точності та оперативності в управлінні маршрутом сприятиме забезпеченню оптимальної навігаційної ефективності та безпеки судноплавства.

З точки зору транспортної стратегії України, вдосконалення управління судном на маршруті визначається як стратегічна ініціатива з покращення безпеки та оптимізації морських операцій. Ця мета побічно спрямована на забезпечення відповідності вимогам сталого розвитку та зменшення негативного впливу на довкілля.

Таким чином, удосконалення управління судном на маршруті стає стратегічною метою, спрямованою на досягнення комплексного показника якості та ефективності морських перевезень.

В рамках цього дослідження особливий акцент робиться на визначення та адаптацію особливостей управління судном на маршруті. Це важливий аспект стратегічного покращення морських операцій, що враховує специфіку переміщення водних транспортних засобів, зокрема:

- *адаптивність до зовнішніх факторів* шляхом розробки алгоритмів, які забезпечать адаптивність до зовнішніх факторів, зокрема зміни погодних умов, течії, вітру та інших непередбачуваних обставин;

- *оптимізація шляху в умовах збурення* врахуванням особливостей маршруту в умовах збурень, таких як морське хвилювання, шляхом та вибору оптимальних точок маршруту, що для мінімізують впливна швидкість та безпеку руху;

- *стратегія ефективного реагування* на фактори, що можуть виникнути під час руху судна, шляхом зміни курсу через перешкоди або інші непередбачені обставини;

- *максимізація енергоефективності* шляхом досягнення максимальної енергоефективності управління судном на маршруті, що означає розробку

алгоритмів, спрямованих на ефективне використання ресурсів та мінімізацію втрат;

– *збалансованість між швидкістю та безпекою* шляхом уникнення конфліктів між прагненням до ефективності та потребами в безпеці.

Такий підхід до дослідження особливостей управління судном на маршруті дозволить не лише досягти стратегічної мети, але й врахувати усі аспекти, які впливають на безпеку, ефективність та сталість морських операцій.

2.2.2 Обґрунтування наукової та робочих гіпотез наукового дослідження

Термін «гіпотеза» грецького походження, який в словниках кваліфікується по основним напрямкам (предметним рубрикам) як аналітична діяльність без походження. Тому цей термін вживається, як [130]:

- один з прийомів пізнавальної діяльності;
- наукове припущення, що висувається для пояснення деякого явища і вимагає верифікації;
- припущення про причину деяких явищ, достовірність яких на теперішній час не може бути перевірена і доведена, але пояснює деякі явища без доказу їх об'єктивності.

З урахуванням методології системних наукових досліджень, якою користуються в Національному університеті «Одеська морська академія» [16] виділяються «наукова» та «робочі» гіпотези: наукові гіпотези застосовуються для вирішення головних завдань (задач), а робочі гіпотези – для вирішення допоміжних або складових задач надійності та безпеки.

Науковою гіпотезою дослідження (у вигляді тези) стало те, що точність та безпека управління на маршруті досягається динамічним позиціонуванням судна на лінії шляху у просторі та на площині засобами оперативного управління при наявності збурень та шляхових обмежень.

Робочі гіпотези наукового дослідження виходять з проектних конструктивних та експлуатаційних особливостей маневрування судна [2, 3, 25, 66, 78]. Зокрема:

- безпечне водіння судна передбачає активну протидію природним збуренням, яка забезпечує утримання його на траєкторії маршруту шляхом маневрування;

- процеси маневрування передбачають наявність законів стабілізації судна при широтному відхиленні або перебудову ділянки маршруту за пеленгом на їх кінцеву точку;

- закони стабілізації судна за відхиленням визначають напрямки руху в момент обсервацій та забезпечують стабільність курсу між інтервалами обсервацій;

Робочі гіпотези цього дослідження направлені на:

- ефективні підкачка та стискання вхідних навігаційних даних у скалярній та векторній формах при автоматичній обробці досягаються графоаналітичним способом за умов представлення елементів руху судна у векторній формі;

- графоаналітична ідентифікація процесів судноводіння у просторі досягається логістичним алгоритмом з урахуванням внутрішніх та зовнішніх впливів;

- логістична формалізація законів стабілізації судна досягається за умов широтного відхилення від заданого курсу на площині.

Інформація, що надходить від судових навігаційних систем, відіграє вирішальну роль у забезпеченні точності та ефективності управління судном на маршруті під впливом зовнішніх впливів. Вона дозволяє системі управління в реальному часі коригувати рух судна, враховуючи різноманітні фактори, такі як течії, вітро-хвильове збурення та інші.

2.2.3 Обґрунтування завдань та методів дослідження

Інформація, що надходить від судових навігаційних систем, відіграє вирішальну роль у забезпеченні точності та ефективності управління судном на маршруті під впливом зовнішніх впливів. Вона дозволяє системі управління в реальному часі коригувати рух судна, враховуючи різноманітні фактори, такі як течії, вітро-хвильове збурення та інші.

Сучасні системи визначення місця судна відрізняються високою точністю, де радіальна середньо-квадратична похибка зазвичай становить лише 2-3 метри. Ця точність дозволяє ефективно контролювати рух судна, уникати аварій та забезпечує надійні дані для автоматизованих систем управління.

Виникає необхідність створення автоматичних алгоритмів планування маршруту, опираючись на отриману інформацію, що дозволить оптимізувати траєкторію судна з урахуванням впливу зовнішніх факторів. Вони спрямовані на підвищення ефективності руху та зниження впливу зовнішніх збурень.

У зв'язку з динамікою судна та впливом зовнішніх факторів, важливим є розширення обсягів оперативного розрахунку параметрів руху судна на маршруті. Це дозволить системі управління ефективно реагувати на зміни у середовищі та забезпечувати стабільність руху.

Модель системи управління маршрутом повинна враховувати отриману інформацію від суднових навігаційних систем, використовувати її для автоматичного планування оптимального маршруту та коригування руху судна на маршруті. Така модель сприяє ефективному управлінню судном в умовах змінного середовища.

Згідно прийнятим гіпотезам, дослідження полягає в розробці алгоритмів, які дозволяють ефективно враховувати вплив течії, вітру, хвильового збурення та інших факторів на рух судна на заданому шляху. Це включає в себе уточнені математичні моделі та методи обробки даних. У такій постановці завдання оперативного розрахунку параметрів руху для планування траєкторії і високоточного управління судном на маршруті ставиться вперше.

Теоретичною базою дослідження прийняті властивості трикутників [42].

Основні співвідношення між елементами шляхового трикутника на площині.

До основних елементів трикутників відносяться a, b, c – сторони; A, B, C – кути трикутника; $p = 0,5(a + b + c)$ – півпериметр; h – висота; S – площа; R – радіус описаного кола; r – радіус вписаного кола; r_a – радіус кола, дотичного до

сторони a і продовження сторін b і c (зовнішньо вписане коло; h_a – висота, яка опущена на сторону a ; β_A – бісектриса кута A).

Теорема косинусів:

$$\begin{aligned} a^2 &= b^2 + c^2 - 2bc \cos A \quad \text{або} \quad \cos A = 0,5(a^2 - b^2 - c^2) / b / c; \\ b^2 &= a^2 - c^2 + 2ac \cos B \quad \text{або} \quad \cos B = 0,5(b^2 - a^2 + c^2) / a / c; \\ c^2 &= a^2 - b^2 + 2ab \cos C \quad \text{або} \quad \cos C = 0,5(c^2 - a^2 + b^2) / a / b. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Теорема синусів:

$$a \sin^{-1} A = b \sin^{-1} B = c \sin^{-1} C = 2R. \quad (2.2)$$

Теорема тангенсів (формула Регіомонтана):

$$(a+b)/(a-b) = \operatorname{tg}[0,5(A+B)] / \operatorname{tg}[0,5(A-B)] = \operatorname{ctg}(0,5C) / \operatorname{tg}[0,5(A-B)] \quad (2.3)$$

Формули Мольвейде:

$$\begin{aligned} (a+b)/c &= \cos[0,5(A-B)] / \sin(0,5C); \\ (a-b)/c &= \sin[0,5(A-B)] / \cos(0,5C) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Формули площини:

$$\begin{aligned} S &= 0,5bc \cos A; S = 0,5b^2 \sin A \sin C / \sin B; \\ S &= \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}; S = 0,5h^2 \sin A \sin B / \sin A / \sin C; \\ S &= r^2 \operatorname{ctg}(0,5A) \operatorname{ctg}(0,5B) \operatorname{ctg}(0,5C); S = p^2 \operatorname{tg}(0,5A) \operatorname{tg}(0,5B) \operatorname{tg}(0,5C); \\ S &= p(p-1) \operatorname{tg}(0,5A); S = 0,5h_a^2 \sin A / \sin B / \sin C; S = \sqrt{rr_a r_b r_c}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Радіуси описаного, вписаного і зовнішньо дотичних кіл:

$$\begin{aligned} R &= 0,5a / \sin A = 0,25abc / S = \\ &= 0,25p / \cos(0,5A) / \cos(0,5B) / \cos(0,5C) = 0,5bc / h_a = 0,25(r_a + r_b + r_c - r); \\ r &= S / p = (p-a) \operatorname{tg}(0,5A) = a \sin(0,5B) \cdot \sin(0,5C) / \cos(0,5A) \\ &= 4R \sin(0,5A) \sin(0,5B) \sin(0,5C); \\ r^{-1} &= r_a^{-1} + r_b^{-1} + r_c^{-1}; \\ r_a &= S / (p-a) = p \operatorname{tg}(p-a). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Бісектриси:

$$\begin{aligned} \beta_A &= h_a / \cos[0,5(B-c)]; \\ \beta_B &= h_b / \cos[0,5(A-c)]; \\ \beta_C &= h_c / \cos[0,5(A-B)]. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Основні співвідношення між елементами швидкісного трикутника.

В багатьох питаннях механіки і фізики розглядаються величини, які залежать від часу t й виражаються формулою:

$$A_t = A_M \sin(\omega t - \varphi), \quad (2.8)$$

де A_t , A_M – змінна за часом та максимальна амплітуди гармонійного коливання; ω , φ – початкова частота та початкова фаза гармонічного коливання. В теорії хитавиці судна остання величина зветься циклічною або обертовою частотою, а період $T = 2\pi / \omega$ визначається як довжина хвилі.

Величину A_t можна представити у наступній формі на площині:

$$A_t = a \sin \omega t + b \cos \omega t, \quad (2.9)$$

причому $A_M = \sqrt{(a^2 + b^2)}$, $\operatorname{tg} \varphi = b / a$; величини a , b , A_M , φ можуть бути представлені сторонами шляхового прямокутного трикутника, причому φ -кут протилежний стороні b , що знаходиться між сторонами a , A_M .

Найважливішою особливістю управління судном на маршруті є врахування впливу зовнішніх природних збурень, таких як вітер, хвилі та течія. Ці фактори можуть суттєво впливати на швидкість, стабільність курсу та економічність судна. Тому ефективне навігаційне управління повинно базуватися на глибокому аналізі та моделюванні дії цих збурень, а також розробці оптимальних стратегій реагування з метою мінімізації їх негативного впливу. Особливу увагу слід приділяти балансуванню рушійних сил судна та сил опору для досягнення оптимального режиму руху. Крім того, важливо постійно відслідковувати відхилення від заданого курсу та оперативно коригувати його з урахуванням поточної ситуації. Застосування сучасних навігаційних технологій дозволить підвищити точність і надійність управління судном в умовах дії зовнішніх збурень.

Для вирішення головного завдання – розробки алгоритму стабілізації судна на маршруті потрібно вирішення трьох допоміжних завдань:

- розробка графоаналітичного способу визначення елементів руху судна шляхом аналізу його складових на етапі планування маршруту;
- розробка алгоритму повернення судна на лінію маршруту з урахуванням модулю та напрямку природнього збурення, отриманого в результаті обсервації;
- розробка алгоритму вибору оптимальної швидкості для повернення судна в координатну точку маршруту.

Методи дослідження. Розробка методів оперативного визначення параметрів руху судна під час планування маршруту ґрунтується на експериментальному розв'язанні дослідницьких завдань з використанням загальної методологічної бази.

Зокрема, **математичне моделювання** застосовується для побудови моделей руху судна з урахуванням гідродинаміки, впливу вітру, хвиль, течій. **Натурні спостереження** дозволяють провести вимірювання швидкості, курсу, відхилень судна в морі за різних умов. Аналіз даних бортових приладів передбачає обробку інформації з лага, гірокомпаса, супутникової навігації для оцінки точності руху. Розробка алгоритмів управління орієнтувалася на створення адаптивних і робастних законів управління рулем і двигунами. Припускається, що за допомогою імітаційного моделювання можна буде відпрацювати стратегії стабілізації курсу і компенсації збурень у програмному середовищі. Аналіз методів навігації дозволяв оцінити точність наявних методів визначення місцеположення та курсу судна. **Економічний аналіз** притаманний оптимізації режимів руху і роботі двигунів з огляду на погодні умови.

З позицій теорії систем розглядаються взаємозв'язки між підсистемами судна під час збурень.

Аналітична геометрія уможливлює побудову математичної моделі траєкторії з урахуванням течій і вітру.

2.3 Формування технологічної карти досліджень

Структура методологічного забезпечення досліджень, представлених в дисертації, наведена в технологічній карті, яка зображена на рис. 2.1. Ця структура є втіленням системного підходу до послідовного аналізу проблеми та організації процесу її вирішення. Методологічні принципи дослідження реалізують систематичне структуроване вивчення питання та моделювання шляхів його розв'язання.

Згідно з технологічної карти тема наукової роботи сформульована на підставі детального аналізу проблеми безпеки судноплавства в водах України за 20-ть років, таких як втрата швидкості, ризик рискання, економічність, точність дотримання графіку руху, великий знос з лінії заданого маршруту та невідповідності при вимірюванні пройденої відстані, що дозволило виявити недоліки існуючих методів управління та окреслити шляхи їх удосконалення на основі поглибленого системного аналізу всіх чинників, що впливають на рух судна, враховуючи прямі та зворотні зв'язки між елементами навігаційної системи, а також здійснення ретельних спостережень реального процесу руху судна з метою виявлення проблем, які потребують нових наукових рішень.

Прийнято наукову гіпотезу про можливість стабілізації руху судна на заданому маршруті шляхом розробки і реалізації алгоритмів автоматичного розрахунку ключових параметрів - переміщення відносно лінії курсу та ширини маневреного зсуву. Це дасть змогу оперативно оцінювати відхилення та здійснювати ефективне управління рухом для своєчасної корекції курсу і підтримання оптимального режиму на маршруті на основі розрахованих параметрів.

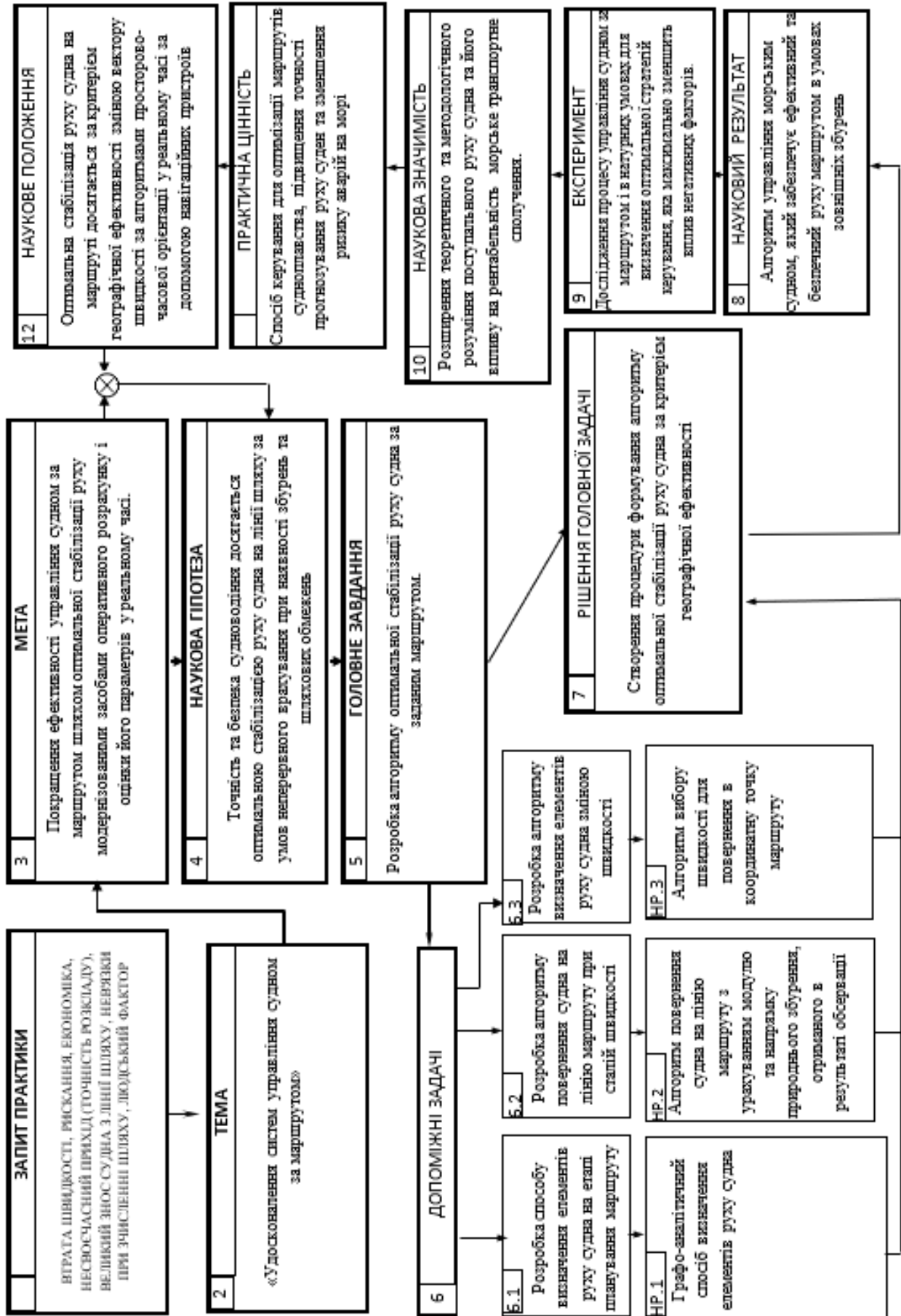


Рисунок 2.1 – Технологічна карта дослідження

Головним завданням являється розробка алгоритму оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті.

На основі проведеного аналізу головне завдання визначено та висвітлено через постановку трьох допоміжних завдань: аналіз елементів (параметрів) руху судна на етапі планування маршруту; аналіз елементів руху судна при обсервації; дослідження елементів руху судна при зміні швидкості.

Вирішення **першого допоміжного завдання** планується виконати в три етапи: встановлена послідовність визначення кутів швидкісного трикутника з урахуванням вектору збурення; визначені сторони (модулі) векторів швидкостей; встановлений порядок визначення координат вершин швидкісного трикутника.

При вирішенні першого допоміжного завдання необхідно удосконалити існуючі способи визначення швидкостей руху та формування прогностичних швидкісних трикутників при зчисленні шляху. Для її вирішення важливо розробити більш точні та короткі алгоритми, які забезпечать суден у річкових та морських умовах плавання.

Вирішення **другого допоміжного завдання** планується виконати в три етапи: аналіз ідентифікації природних збурень та їх впливу на рух судна; розробка ефективного алгоритму розрахунку повернення судна на лінію маршруту з урахуванням модулю та напрямку природнього збурення; визначення оптимального кута повороту судна для зменшення впливу зовнішніх збурень на його рух.

Вирішення **третього допоміжного завдання** також планується виконати у три етапи: аналіз елементів руху судна при зміні швидкості для визначення основних факторів, що впливають на оптимальний вибір швидкості; розробка математичної моделі, яка враховує зміни в русі судна і визначає оптимальну швидкість для повернення в координатну точку маршруту; вдосконалення алгоритму вибору оптимальної швидкості на основі розробленої математичної моделі.

Науковим результатом рішення головного завдання планується алгоритм оптимальної стабілізації руху судна.

Рішення головного завдання пропонується здійснити шляхом синтезу наукових рішень допоміжних задач, який приводить до розробки глобального алгоритму управління судном.

Для верифікації точності теоретичних результатів у дисертації передбачене імітаційне моделювання процесу планування маршруту та проводки т/х «THALASSA HELLAS» методом оптимальної стабілізації руху судна на маршруті, що враховує вплив морського хвилювання, вітру, течій та інших атмосферних і гідродинамічних факторів.

Наукова новизна вирішення головного завдання передбачає розробку інноваційного методу, який не лише враховує складність впливу зовнішніх чинників та змін умов довкілля на характеристики руху судна, а й забезпечує надійність, швидкість та точність визначення цих параметрів.

Наукова значимість результатів дослідження полягає в розширенні теоретичного та методологічного розуміння прямолінійного поступального рівномірного руху судна та його впливу на сучасне морське транспортне сполучення.

Практична цінність результатів полягає в можливості використання розробленого алгоритму для оптимізації маршрутів судноплавства, підвищення точності прогнозування руху суден та зменшення ризику аварійної ситуації на морі. Це сприяє підвищенню ефективності та безпеки морських перевезень, що є критичним для розвитку та функціонування світової торгівлі та економіки.

Наукове положення дослідження полягає в тому, що безпека процесу управління судном на маршруті забезпечується розробкою та застосуванням інноваційних підходів до оптимізації руху судна. Це охоплює вивчення та аналіз елементів руху на різних етапах плавання, включаючи планування маршруту, обсервацію та зміну швидкості. Шляхом розробки алгоритмів стабілізації та вибору оптимальної швидкості з урахуванням різних факторів, таких як збурення та шляхові обмеження, забезпечується ефективне та безпечне керування судном.

2.4 Об'єкт верифікації результатів наукового дослідження

Спеціалізовані рейсові випробування є систематизованим комплексом процедур, спрямованим на дослідження та аналіз особливостей нових або альтернативних режимів експлуатації судна, методів планування та перепланування маршруту в залежності від впливу зовнішніх факторів руху. Під час цих випробувань також проводиться пошук ефективних методів покращення ключових параметрів функціонування судна під час виконання рейсових місій [11].

Досліджуваним об'єктом у ході експериментальних спостережень та вивчення став контейнеровоз «THALASSA HELLAS» (рис. 2.2), побудований у 2013 році на верфі «HYUNDAI HEAVY INDUSTRY» в Кореї та зареєстрований у Сінгапурі. Цей вибір викликаний необхідністю глибокого розуміння технічних та експлуатаційних характеристик великовантажного судна в контексті сучасних вимог до морських перевезень. Застосування «THALASSA HELLAS» у ролі об'єкта наукових досліджень надає можливість проведення докладного аналізу функціональних аспектів сучасних морських перевезень та визначення перспектив оптимізації операційної ефективності судна в умовах реалізації морських експлуатаційних сценаріїв у реальному часі.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд контейнеровозу «THALASSA HELLAS»

Технічні характеристики судна

Довжина повна	368,47 м
Довжина між перпендикулярами	352 м
Ширина максимальна	51 м
Висота борту	25,63 м

Таблиця 2.1 – Граничні об’ємні характеристики судна

Місткість	Міжнародна	Панамський канал	Суецький канал
Валова (GT)	148667	-	151638,05
Чиста (NT)	66853	-	138057,59

Водотоннажність (у вантажі)	195707 mt
Легка водотоннажність	43363,3 mt
Головний двигун:	HYUNDAI-MAN B&W 11S90ME-C9.2
Експлуатаційна швидкість	23 вузла
Район плавання	необмежений

Таблиця 2.2 – Об’ємні характеристики судна в залежності від щільності води

Вантажна марка	Вільний борт, м	Осадка, м	Водотоннажність, т	Дедвейт, т
Тропічнапрісна	4,051	16,462	200832	157468,7
Прісна	4,433	16,133	195732	152368,7
Тропічна	4,327	16,150	200895	157531,7
Літня	4,656	15,821	195707	152343,7
Зимова	4,985	15,492	190561	147197,7

У контексті проведення рейсових випробувань передбачене різноманіття вимірювань та обліку параметрів, що охоплюють різні аспекти експлуатації судна. До основних завдань включаються наступні: систематичний моніторинг часу відправлення та прибуття в порти; визначення координат місця знаходження судна, його курсу, напрямку, інтенсивності вітру та хвиль; вимірювання

дистанцій, швидкостей судна (машинної, відносної та абсолютної), потужності двигуна, витрат пального та масла. Акумуляовані дані є основою для систематичної оцінки та аналізу ефективності функціонування судна під час виконання рейсових завдань, а також для виявлення потенційних напрямків для подальших поліпшень у його експлуатації. Представлений набір вимірювань формує комплексний та об'єктивний образ характеристик судна, що сприяє глибокому науковому розумінню продуктивності морського перевезення.

Усі параметри, які піддають контролю та визначенню, реєструються щодобово протягом не менше шести переходів судна. Підготовка екіпажа до випробувань проводиться в рамках професійної підготовки та сертифікації, необхідної для отримання диплома штурмана дальнього плавання. Цей підхід гарантує систематичний та детальний моніторинг усіх важливих показників суднового руху та експлуатації, забезпечуючи надійні дані для подальшого аналізу та вдосконалення. Підготовка до рейсових випробувань включає в себе професійне навчання та оцінку компетентності, які необхідні для високого стандарту навігаційних навичок та управління судном у дальніх плаваннях.

Таблиці спостережень та робочі записи презентуються у формі стандартних листингів та програмного продукту. Такий підхід до представлення інформації є визначеним стандартом в області обробки та аналізу даних, оскільки він дозволяє систематизувати та структурувати отриману інформацію для подальшого зручного використання. Стандартні листинги, що використовуються для візуалізації даних, забезпечують чітку репрезентацію інформації, тоді як програмний продукт використовується для автоматизації обробки та інтерпретації накопичених результатів. Цей підхід відповідає високим стандартам ефективного аналізу даних та дозволяє користувачеві здійснювати зручний та точний моніторинг відповідних параметрів або явищ у відповідних контекстах [8].

Умови проведення спеціальних випробувань визначаються за наявності ряду необхідних умов, які підлягають дотриманню:

- корпус судна повинен знаходитися у задовільному технічному стані та бути вільним від значущого нальоту;

- гребний гвинт повинен перебувати в належному технічному стані, не маючи пошкоджень (деформацій та сильної корозії) на обрію і поверхні лопатей;
- силова енергетична установка повинна бути в технічно справному стані, при цьому двигуни повинні бути налаштовані для роботи відповідно до стандартних експлуатаційних характеристик;
- керуючий механізм, перо керма та автокермо повинні відповідати паспортним характеристикам та параметрам, зокрема щодо швидкості перемикання руля та ступеня статичності автокерма;
- всі контрольно-вимірювальні прилади та апаратура повинні бути перевірені в строки, визначені інструкцією з їх експлуатації або вимогами класифікаційних товариств;
- судно під час перевезення вантажу повинно мати повне навантаження при мінімумі баластних переходів;
- судно повинно бути забункеровано тим паливом і мастилом, яке використовується для його постійної експлуатації.

Забезпечення виконання цих умов гарантує відповідність обладнання та судна необхідним технічним та експлуатаційним стандартам під час проведення спеціальних випробувань.

2.5 Висновки до другого розділу

1. При розробці алгоритму управління судном на маршруті враховуються зовнішні збурення, такі як течія, вітер, хвильове збурення та інші фактори, для створення ефективної моделі управління в змінному середовищі, що підвищує безпеку та ефективність морських перевезень. Важливість створення математичних моделей для розрахунку параметрів управління морським судном на маршруті в умовах зовнішніх збурень підкреслюється, оскільки ці моделі дозволяють точно прогнозувати рух судна та приймати оптимальні рішення, забезпечуючи високий рівень безпеки та ефективності перевезень.

2. Головним завданням являється розробка алгоритму оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті.

3. Під час розробки технологічної карти наукового дослідження використовувався системний підхід. Згідно з цим підходом основне завдання було розбите на допоміжні завдання, результати вирішення яких були використані при синтезі системи управління судном по маршруту.

4. Для досягнення поставленої мети були виконані натурні спостереження руху судна на маршрути при різних умовах, таких як гідродинаміка, вплив вітру, хвиль, течій. Також був проведений розрахунковий експеримент для моделювання руху судна в умовах зовнішніх збурень. Рішення допоміжних завдань дозволили запропонувати способи оперативного визначення параметрів руху судна на маршруті. Це важливо для забезпечення ефективного управління судном в реальному часі, зокрема для коригування руху судна з урахуванням змін у середовищі та забезпечення стабільності руху.

5. Результати досліджень можуть бути використані на морських судах для широкого використання способів оперативного визначення параметрів руху судна при розробці нових навігаційних систем підтримки прийняття рішень для організації безпечного управління рухом. Це дозволить підвищити рівень безпеки та ефективності управління морськими суднами, забезпечуючи точність та

оперативність у визначенні параметрів руху для прийняття оптимальних рішень у реальному часі.

Результати, описані у розділі, висвітлені у публікаціях [11, 17].

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГРАФОАНАЛІТИЧНОГО СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ РУХУ СУДНА ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ СУДНОМ В ЗВИЧАЙНИХ УМОВАХ ПЛАВАННЯ

Постановка задачі планування і управління рухом судна полягає в виборі способу формування координат заданого безпечного шляху та параметрів управління таким чином, щоб воно безаварійно перемістилось із координат початкового стану в кінцевий. Зазвичай рухом судна можливо управляти в кожний момент часу t параметрами $u_1(t), \dots, u_n(t)$, які дозволяють коригувати вектор пересування при відхиленні від заданих координат.

Письмове числення буває двох видів: просте і складове. При простому численні виконують розрахунок координат кінцевого пункту за відомими координатами початкового пункту відходу та курсу ІК плавання. Складове числення використовують у випадках, коли плавання виконують декількома курсами.

Таким чином, числення при визначенні координат називають ще методом математичного моделювання. Його точність залежить від похибок в розрахунку величини кута вітрового дрейфу, кута зносу течією та наявності кута зсуву при riskанні під час управління. Однак методи планування координат криволінійних відрізків шляху з урахуванням характеристик повороткості судна залишаються не розглянутими.

Існує два основні способи оптимальної стабілізації руху судна у стислих умовах: векторне числення методом експертної оцінки та метод математичного моделювання [43, 38]. Для підвищення точності планування та виконання числення в роботі [27] використаний метод траєкторних точок (ТТ) для планування шляху при маневруванні під час заходу в порт, який розроблений в роботі [138]. Однак метод математичного моделювання має недолік у тому, що

він вимагає розрахунку параметрів впливу на судно зовнішніх збурень заздалегідь [121, 152]. Точність визначення таких збурень перевірити складно. Крім того існуюча методика графічного розрахунку кута зсуву при дрейфі і течії недостатньо коректна, оскільки приймається припущення, що напрямок руху при дії вітру не змінюється, а тільки повертається по напрямку вітру на кут α .

Для підвищення точності і оперативності процесу управління пропонується відмовитися від розрахунку параметрів зовнішніх збурень у вигляді кутів зсуву. Замість цього потрібно плановий шлях представляти у вигляді матриць траєкторних точок, яка зручна для комп'ютерної обробки. В подальшому числення ведеться по заданому шляху, як показано на рис. 3.1.

На лінії ІК наносять ТТ и позначають опірні точки (0, 1, ...i...n) через однаковий інтервал часу і відстані, які обирають в залежності від швидкості руху і навігаційних умов плавання. У момент проходження 1-ої точки експерт визначає місце судна високоточним способом і оперативно розраховує вектор і кут зсуву. Направляють вектор зсуву у 2-гу опірну точку, і з'єднують обсервовану точку з початком вектору зсуву і визначають ІК в другу опірну точку, виправляють його поправкою компаса і виконують управління по компасу. Інтервал дискретизації біля 2-ої точки експерт визначає місце судна і якщо опірна та обсервована точки співпадають, то це означає, що вектор зсуву визначили вірно і зовнішні фактори не змінилися. Тому направляють вектор зсуву у 3-ю численну точку, і з'єднують 2-гу опірну точку з початком вектору зсуву в третю і визначають курс при подальшому русі. Якщо в подальшому обсервовані точки співпадають з опірними, то зберігаємо визначений курс та швидкість. Якщо виникає відхилення від лінії планового шляху, то процедуру потрібно повторити аналогічним чином спочатку.

Метод експертних оцінок відрізняється від методу математичного моделювання тим, що відпадає необхідність розраховувати параметри зовнішніх збурень та розраховувати кути зсуву від вітру, течії та рискання при управлінні рухом, що значно підвищує точність пересування та оперативність контролю місця.

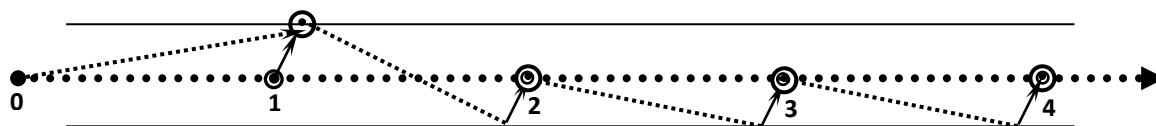


Рисунок 3.1 – Графічна схема вибору вектору руху по опорним точкам

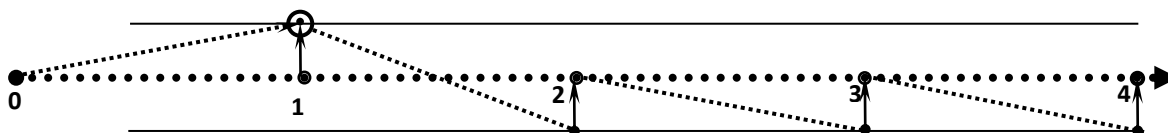


Рисунок 3.2 – Графічна схема вибору вектору руху по вектору бічного зсуву

На рис. 3.2 визначається сумарний вектор бічного зсуву від усіх факторів, розраховується вектор руху по координатах, які визначені високоточними навігаційними засобами та планові траєкторні точки методом перебору траєкторних точок та направляють вектор бічного зсуву у 2-гу траєкторну точку. Після цього розраховується вектор руху із обсервованої точки в початок вектору бічного зсуву в 2-ій траєкторній точці і якщо обсерваційні координати співпадають з контрольними, то це означає, що зовнішні збурення не змінилися. Далі направляють вектор бічного зсуву у 3-тю траєкторну точку і визначають вектор подальшого руху. Якщо в 4-ій точці обсервовані і контрольна точка співпадають, то продовжують подальший рух без зміни вектору руху, а якщо появиться вектор зсуву, то процедура повторюється спочатку.

Таким чином, використання методу експертних оцінок має перевагу перед методом математичного моделювання у швидкості, врахуванні усіх факторів, які діють на судно у повному обсязі, що підвищує точність позиціювання в стислих водах. Цей метод може бути використаний в навігаційних системах підтримки прийняття рішень.

Важливим компонентом високоякісного керування є методика вибору та обчислення параметрів руху. При визначенні параметра заданого управління необхідно враховувати некерований вплив зовнішніх факторів. Залежно від методу обчислення керованого параметра та визначення коригувань під впливом зовнішніх чинників можна виділити чотири різних підходи до управління:

курсний, курсний з урахуванням зовнішніх факторів; курсний з визначенням координат місця; курсний комбінований [24, 28, 29, 60, 62, 65, 80, 131].

Спочатку визначимо алгоритм функціонування судноводія в умовах використання кожного з методичних підходів. В якості вхідних параметрів розглядаються координати точок відправлення та прибуття. При застосуванні курсового методу судноводій проводить розрахунок істинного курсу з точки відправлення до точки прибуття, додає корекцію компаса і отримує необхідний курс за компасом.

$$KK_{\text{зад}} = IK + \Delta K, \quad (3.1)$$

При застосуванні даного методу, напрямок курсу не зазнає змін впродовж процесу переміщення. Під час використання курсового методу з урахуванням зовнішніх впливів визначають параметри збурення, а саме кути дрейфу α , зсуву від течії, позначеного як β , та проводять обчислення $KK_{\text{зад}}$, що зберігається під час всього переходу:

$$KK_{\text{зад}} = IK + \Delta K + \alpha + \beta \quad (3.2)$$

При застосуванні курсового методу для визначення місця судноводій визначає коефіцієнт кореляції заданого явища, $KK_{\text{зад}}$, відповідно до формули (3.1) та підтримують його сталим протягом усього переходу до моменту визначення точного місця. Після цього, враховуючи боковий зсув, виконують перерахунок для отримання нового значення $KK_{\text{зад1}}$.

У разі використання курсового комбінованого методу спочатку обчислюють $KK_{\text{зад}}$ відповідно до формули (3.2), а потім проводять перерахунок при визначенні місця. Цей метод є найбільш економічним, але нечасто застосовується, оскільки на судні не завжди доступний навігаційний пристрій для розрахунку вітрового дрейфу, а тому інформація про течію може бути невідомою.

Вибір методичного підходу для використання в даному контексті обумовлений особливістю існуючої загальної методології планування переходу, яка використовується на підставі рекомендацій для моряків [28, 29, 60, 62, 80, 131]. Ці рекомендації знаходяться в національних та міжнародних нормативних документах, що регулюють навігаційне забезпечення морського руху. Сутність

вимог, які містяться у зазначених документах, полягає в наступному підході. Планування маршруту повинно бути виконано з точки виходу з порту до точки прибуття до порту у формі координат шляхових точок (ШТ) і введено у навігаційний прилад для визначення місця у формі таблиці з деталізацією курсів і відстаней між ними. Цей підхід не враховує криволінійних ділянок маршруту, які виникають при зміні курсу з одного на інший, а також ширину маневрового зсуву.

3.1 Інформаційне забезпечення судна про погодні умови

Інформація, що стосується погодних умов для морських суден, надходить від Всесвітньої Метеорологічної Організації (ВМО). Одночасно, інформація про морську безпеку (MSI) подається через міжнародно координовану мережу, призначену для ретрансляції інформації про безпеку на морі [5, 31].

Ця мережа включає в себе компоненти, такі як навігаційні попередження, метеорологічні прогнози та попередження, а також повідомлення про можливі небезпечні ситуації. MSI є неодмінною складовою Глобальної системи морської катастрофи та безпеки (GMDSS), і кожне судно, яке перебуває в морі, повинно мати можливість передавати та приймати інформацію про морську безпеку. Важливо відзначити, що ця послуга надається безкоштовно всім суднам.

Інформація про морську безпеку передається за допомогою різних засобів зв'язку, включаючи наземний та супутниковий радіозв'язок. Система GMDSS підтримує дві незалежні системи передачі інформації про морську безпеку [30]:

- наземний радіопередавач NAVTEX, що працює на частоті MF і охоплює багато прибережних районів.
- SafetyNET, який використовує розширений груповий дзвінок Inmarsat-C (EGC) і забезпечує охоплення всіх регіонів океану Inmarsat, включаючи прибережні райони.

Для забезпечення надійного збереження і передачі інформації про морську безпеку (MSI) суднам, особливо в конкретних морських областях та для конкретних предметів, Міжнародною морською організацією (IMO) була розроблена система планування та координації трансляцій MSI. Ця система

передбачає встановлення графіку та організацію трансляцій для наземних станцій та різних регіонів океану [78].

Відповідно до Резолюції Асамблеї IMO A.706 (17), прийнятої 6 листопада 1991 року, Світовий океан поділений на 21 регіон (відомих як NAVAREAS або METAREAS). Уряди кожної держави відповідають за надання навігаційних послуг та попереджень про погодні умови в межах свого відповідного регіону [41].

Необхідна інформація про морську безпеку подається одержувачам за допомогою системи Inmarsat SafetyNET в рамках Морської мовної системи (WMO Marine Broadcast System) для Глобальної системи морської катастрофи та безпеки (GMDSS) у всіх морських районах (від A1 до A4).

Важливу роль у GMDSS відіграє NAVTEX (навігаційний телекс), який відповідно до Міжнародної конвенції SOLAS з 1 серпня 1993 року мають обладнувати певні класи суден. NAVTEX - це міжнародна автоматизована система середньо частотного телексу для надання навігаційних та метеорологічних попереджень, прогнозів та невідкладної інформації про морську безпеку на судах. Ця система була створена з метою забезпечення суден у морі простим та ефективним засобом отримання необхідної інформації, і вона надається користувачам безкоштовно, оскільки трансляції зазвичай проводяться національними владними органами в морських акваторіях.

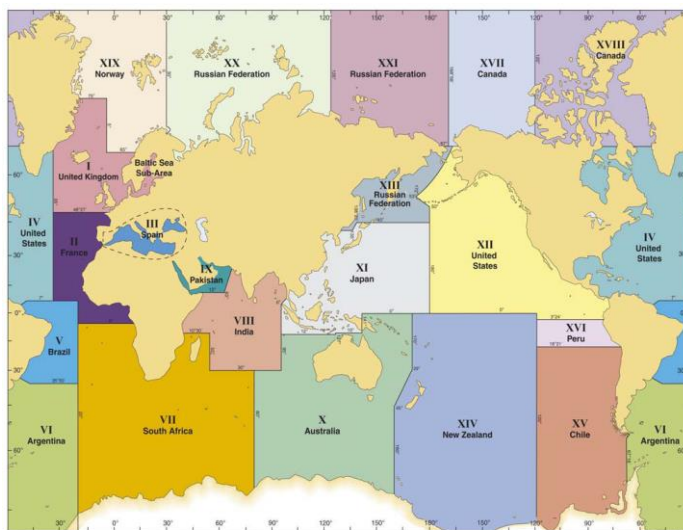


Рисунок 3.3 – Зони NAVAREA

ІТ-сектор представляє собою один із швидкозростаючих секторів світової економіки. Майбутні навігаційні системи повинні забезпечувати впевнену взаємодію з усіма ланцюгами, пов'язаними з використанням навігаційної інформації, та надавати цю інформацію «особам, що приймають рішення». Екіпаж на борту судна повинен мати можливість ефективно реагувати на майбутні зміни в умовах плавання. Вже зараз внесені певні зміни, і подальша співпраця сприятиме подальшому вдосконаленню цих систем.

Для наочного прикладу можна звернутися до бортової системи оптимізації експлуатаційних характеристик судна (SPOS), розробленої MeteoGroup UK Limited. SPOS Onboard - це вбудована система маршрутизації погоди, що дозволяє оптимізувати маршрут судна, враховуючи морські умови, такі як хвилі, течії, здуття, вітер і інші фактори погоди. Система має систему своєчасних оновлень, яка забезпечує екіпаж інформацією про стан навколишнього середовища та прогнози погоди.

SPOS Onboard сприяє безпечному та ефективному плаванню суден по всьому світу, зменшуючи споживання палива та сприяючи збереженню природи. Ця система була розроблена для покращення експлуатаційних характеристик судна та забезпечення безпеки екіпажу, судна та вантажу. Вона надає докладну інформацію про погоду на борту та надає поради під час планування та здійснення морських подорожей. Прогнози погоди отримуються щодня по електронній пошті, а карти погоди можуть бути відображені на екрані або надруковані. Капітан та екіпаж мають можливість вводити та оновлювати дані про судно та рейс під час подорожі. Система дозволяє щодня вибирати найкращий маршрут та оновлювати прогнози погоди.

Важливо зазначити, що навіть Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) визнала наявність проблем з якістю та надійністю погодних прогнозів. Незважаючи на досягнення в цій сфері, є потенціал для подальшого вдосконалення. Відповідно до звіту ВМО за 2009 рік та звіту Світового банку за 2013 рік, рекомендується модернізація та інвестиції у метеорологічні та гідрологічні агенції, сприяння співпраці між ними, вирішення технічних та

технологічних проблем, покращення якості даних та їх просторової та часової роздільності, а також технічне обслуговування обладнання та його модернізація.

Суднові офіцери завжди проявляли високий рівень вмінь та навичок, не лише в здатності одночасно використовувати різні джерела інформації про погоду та аналізувати отримані результати, але й в умінні активно спостерігати та ретельно аналізувати погодні умови в поточний момент. Цей віковий підхід був підданий випробуванню практикою та виявив свою надзвичайну ефективність.

Але в останні 10-20 років на морських шляхах стали відбуватися значні зміни, в результаті чого швидкість руху суден і судноплавних об'єктів значно зросла. Ця динаміка спричинила відчутне скорочення часу, доступного для проведення необхідних погодних спостережень екіпажем корабля.

Твердження про те, що нинішнім часом не вистачає часу для проведення цих спостережень, не може бути виправдано. У сучасних системах погодних маршрутів доступна надзвичайно цінна, точна і корисна інформація, зокрема з фокусом на технічному стані і характеристиках конкретних суден. Урахування морських умов і специфікацій корабельних рейсів стає обґрунтованим економічним вибором.

Екіпаж судна не завжди має можливість передбачити і оцінити параметри хвиль на своєму маршруті, однак береговий персонал, який має доступ до даних про погоду в реальному часі та архівних погодних подій, здатен здійснювати це від імені екіпажу.

Синергія між екіпажем на судні та береговим персоналом, а також постійне вдосконалення технічного обладнання з обох сторін, відкриває шлях для продуктивної, ефективної та безперебійної співпраці, роблячи морські рейси не лише більш безпечними, але і більш передбачуваними.

Також, схожі системи, які вже успішно використовуються в інших видах транспорту, доступні і від компанії Vaisala. Vaisala керує Міжнародним бюро, яке централізовано збирає дані спостережень (через Inmarsat та інші схожі системи), обробляє ці дані з метою забезпечення їх якості та надійності, і робить ці дані доступними для осіб, які приймають рішення, а також для синоптиків, майже в

режимі реального часу. Зазвичай, дані в режимі реального часу будуються на основі останніх прогнозованих даних, що підвищує достовірність прогнозів, або на запит для оновлення прогнозу.

Важливо також відзначити, що інформація про погоду не обмежується лише даними про вітер. Температура, вологість, барометричний тиск, видимість та опади - всі ці параметри погоди на поверхні можуть бути автоматично зібрані та розповсюджені у відкритому морі.

Інформація про погоду в портах має дві основні мети: короткострокове (щоденне) та довгострокове планування. Перше призначення спрямоване на забезпечення щоденного та тижневого планування всіх аспектів, що впливають на операції в порту. Друге призначене для майбутнього планування операцій порту з огляду на можливі зміни в місцевому кліматі.

Кожна з цих категорій створює свої виклики та проблеми. Екстремальні погодні умови, такі як сильні вітри та шторми, повені від припливів, води з річок або суша через інтенсивні опади, сніг або ожеледиця та екстремальні температури, можуть призвести до порушень у роботі порту. Ці умови можуть створити небезпеку для персоналу, вплинути на портову інфраструктуру та призвести до додаткових витрат через зниження продуктивності, затримки, нещасні випадки та страхові витрати.

На кожному етапі, коли корабель заходить у порт, завантажує або розвантажує свій вантаж і відправляється, погодні умови можуть вплинути на безпеку, ефективність та вартість операцій. Наприклад, сильні вітри можуть вирішально впливати на можливість використання портальних та контейнерних кранів, а також на можливість судна причалювати. Високі швидкості вітру можуть призвести до затримок в прибутті і відході суден, що впливає на пересадку пілотів, пілотаж та маневрування судами. Вплив надзвичайно високих або низьких температур може вплинути на здатність працівників порту працювати безпечно і не загрожуючи їхньому здоров'ю та безпеці. Збільшення кількості опадів та снігу може призвести до повені, що вплине на логістику порту та може завдати шкоди вантажам та інфраструктурі. Сильний снігопад може

спричинити проблеми для берегових бортових перевізників контейнерних терміналів або може призвести до перерв у автомобільних та залізничних мережах, які спрямовані до порту.

Згідно з висновками проекту EWENT, обробка вантажів становить від 75 % до 90 % портових витрат, тому розуміння можливих негативних погодних умов вельми важливе для прийняття інформованих рішень та визначення ефективності та вартості операцій.

Для забезпечення щоденного планування операцій порту відводиться важливе місце в обробці точної та своєчасної погодної інформації. Передбачаючи можливі екстремальні погодні умови, портові органи активно застосовують низку заходів. Ці заходи включають в себе призупинення обробки вантажів, фіксацію великих кранів та іншого обладнання, а також впровадження заходів для захисту від повені та евакуацію. Крім того, портові органи передають інформацію про погоду суднам, що прибувають або відправляються з порту, надаючи відомості щодо вітру, припливів, відливів, видимості, туману, хвиль, опадів, температури та атмосферного тиску.

Довгострокове планування вимагає глибокого розуміння тенденцій екстремальних погодних явищ. Оскільки виконання планів та заходів захисту вимагає значних зусиль та ресурсів, важливо мати точну інформацію про майбутні потреби. При оцінці впливу кліматичних змін порти мають враховувати розташування та топографію регіону. Особливу увагу приділяється портам, які розташовані в низько географічних районах, оскільки вони стають уразливими перед загрозами, такими як підвищення рівня моря та інші зміни в кліматі. В такому плануванні наявність надійного обладнання, що може витримати екстремальні умови, і оновлення інфраструктури для адаптації до змін температур, опадів та вітру є критично важливими. Прийняття комплексного підходу, який охоплює різні аспекти соціально-економічного життя та інфраструктури порту, відіграє важливу роль у забезпеченні стійкості та ефективності портових операцій в умовах зміни клімату.

3.2 Особливості «людського фактору» при управлінні водним транспортним засобом

Особливість людського фактору в судноводінні полягає в тому, що він, як свідчить статистика аварій на флоті, впливає на безпеку судноплавства. У сучасній науці управління рухомими об'єктами широко використовують термін «людський фактор», який часто називають головною причиною аварійності на різних видах транспорту. За середньостатистичними даними, цей чинник посідає середньому 70-80 % аварій. У водному транспорті ця цифра, за даними деяких джерел, досягає 90%.

Незважаючи на визнання світовим морським співтовариством людського фактору одним із основних та впливаючих на позитивну динаміку зростання досліджень з цієї теми, проблема людського фактору залишається невирішеною. Основним підходом до вивчення феномена людського фактору є психологічний підхід у трактуванні наук про мореплавання, а сам фактор вважається психофізіологічним. У психофізіології під "людським фактором" маються на увазі "інтегральні характеристики зв'язку людини і технічного устрою, що виявляються в конкретних умовах їх взаємодії в рамках так званої системи людина-машина". Удосконалення однієї з ланок цієї системи — «машини» (судна) та недостатня увага до іншої ланки — «людини» (судноводію) призвело до різкого зростання аварійності.

На фоні впровадження на морських суднах високотехнологічних систем управління, приладів та засобів автоматизації аварійність не знизилася, а, навпаки, підвищилася. Слід зазначити, що аналогічна ситуація спостерігалася під час впровадження радіолокаційних систем (РЛС).

Таким чином, низка серйозних морських аварій і катастроф, що сталися наприкінці минулого століття і були явно викликані людськими помилками та недоліками управління, змусила міжнародне морське співтовариство поглянути на нову систему безпеки мореплавання та проблему людського чинника. У 1997 р. Міжнародною морською організацією (ІМО) було прийнято Резолюцію А.850(20). Концепція людського елемента, принципи та цілі організації (ІМО). Резолюція

ІМО стала потужним стимулом до вивчення людського чинника в усіх галузях море господарської діяльності. Зазвичай людський фактор розглядається як фактор, що визначає здібності судноводія щодо прийому та обробки навігаційної інформації. Вивчаються можливості судноводія на основі інформації, що надійшла приймати адекватні сформованим умовам плавання рішення, спрямовані на забезпечення безпеки, комерційної експлуатації судна та охорони навколишнього середовища. Досліджуються здатності судноводія діяти в екстремальних навігаційних ситуаціях та складних умовах плавання.

Можливо, саме в тому, що при впровадженні на морських судах засобів автоматизації судноводій як регулятор людино-машинної системи втратив свої звичні функції і не встиг адаптуватися до нової системи управління, полягає основна причина аварійності кінця XX ст. На даний момент цей факт враховується при впровадженні на морських судах електронних засобів для скоординованого збору, інтеграції, передачі, відтворення та аналізу інформації про ситуацію на морі, на борту суден та на березі. В рамках проекту e-Navigation ІМО продиктовано необхідність урахування людського фактору і в цьому напрямі проводяться наукові дослідження.

Проте, враховуючи стрімкий розвиток нових інформаційних технологій та їх активне впровадження на морських судах, не виключено повторення негативної ситуації кінця XX ст.

Таким чином, високотехнологічні інформаційні системи морських суден призвели до інформаційної надмірності вахтового помічника капітана, яка досягла таких розмірів, що є однією із проблем сучасного судноплавства. Крім того, нормативне робоче навантаження на екіпаж, відповідно до МКУБ, ПДНВ, СОЛАС, МАРПОЛ та вимог Кодексу ОСПС, посилює стресовий тиск на судноводія і негативно може позначитися на людському факторі судноводіння.

3.3 Аналіз елементів руху судна на етапі планування маршруту та розробка графоаналітичного способу визначення цих елементів

При здійсненні річкових та морських перевезень (вантажів та пасажирів) відбувається неперервний і дискретний контроль місця судна шляхом зчислення.

Зчислення представляє траєкторію руху судна у вигляді геометричного місця точок, в кожному з яких воно послідовно знаходиться.

Складність такого відображення полягає у рухомості водної поверхні та повітряного середовища між собою та відносно Землі. Земне тяжіння здійснює на масу судна гравітаційне, інерційне навантаження, а стан зовнішнього природнього середовища – збурюючий неінерційний вплив. Компенсація гравітаційного та інерційного навантаження забезпечується плавучістю та ходкістю судна, а подолання опору від збурень – його здібністю рухатись зі швидкістю за напрямком.

Знаходження координат руху судна відносно води та Землі здійснюється за допомогою шляхових та швидкісних трикутників. Шляхове зчислення передбачає знаходження місця судна, задаючись інтервалом часу від початку руху судна з урахуванням його швидкості на цьому інтервалі з подальшим визначенням відстані від попередньої точки до наступної за умовами рівномірного прямолінійного руху на часових інтервалах.

Швидкісне зчислення передбачає визначення координат точки по її компонентам - приросту ординати та аргументу на площині відносно попередньої зчисленої точки, які формують елементи руху судна: швидкість та шляховий кут.

При цьому на перший план виходять точність та швидкодія алгоритмів визначення швидкостей плавання та шляхового руху. Хоча правила побудови та одночасного визначення сторін, кутів та координат вершин трикутників відомі, а наявність швидкості як фізичної величини передбачає її векторну форму представлення, проблемними залишаються: форма та порядок запису векторів швидкості як функцій модулів, кутів та координат початку та кінця їх дії, методи, способи та алгоритми зчислення яких складають основу сучасних операцій маневрування.

Існують два способи визначення вектору шляхової швидкості судна: по випередженню (з початкової точки) та відхиленню (у наступній точці траєкторії) під сумарною дією векторів швидкостей гравітаційного навантаження та природних збурень. При «малих» за модулем швидкостях збурень вдається утримувати судно від рискання на лінії шляху, але при «великих» за модулем збуреннях воно зноситься в сторону протилежну вектору сумарної швидкості збурень навіть при інваріантному утриманні шляхового кута руху.

Графоаналітичний спосіб зчислення передбачає звичайне складання векторів швидкостей у послідовності зображень на рис 3.2, згідно якому судно, рухаючись по спокійній воді з $\overline{V}_C = const$ на проміжку $\Delta t = 1$ год., знаходиться під впливом невизначеного за модулем сумарного збурення, діючого за напрямком K_{II} . Сумарним вектором переміщення стає невизначений вектор шляху, який діє у напрямку K_{III} .

Під час руху судна вздовж зазначеного маршруту виникає наступна важлива проблема: забезпечення ефективного спостереження за потенційними природними та техногенними завадами. Цей аспект навігації стає особливо актуальним та складним у сучасних умовах, і тому вирішення цієї проблеми є ключовим завданням рішення першої допоміжної задачі, що досягається шляхом посилення ефективності системи управління судном за допомогою передових технологій е-навігації.

Щоб досягти вищого рівня точності та оптимальної швидкості руху, нині важливо звертати увагу на збільшення кількості та частоти обсервацій за статичними критеріями. Цей підхід дозволяє виявляти потенційні небезпеки та завади з достатньою оперативністю, що є важливим для забезпечення безпеки та оптимальної ефективності в морських умовах.

Паралельно з цим, розвиток методів графічного та аналітичного зчислення шляху визначає основні принципи навігації сучасного судна. Ці методи виступають не лише інструментами визначення оптимального маршруту, але й стають важливими компонентами системи, що реагує на зовнішні впливи та забезпечує адаптивність до різних ситуацій на морі.

Однак, в контексті постійного вдосконалення, важливо не втрачати з огляду локальні критерії, які враховують всі аспекти фізичної сутності процесу руху судна. Це відкриває можливості для глибокого розуміння та оптимізації навігаційних вирішень, сприяючи підвищенню рівня безпеки та продуктивності у сучасному морському середовищі.

Визначення траєкторії руху судна вздовж заданого маршруту базується на принципі багатокутника, де сторони цього геометричного утворення представлені векторами швидкості шляху, судна і збурень, таких як вітер, хвилювання та течія. Ключовим елементом цього підходу є точне визначення величини вектору збурення, оскільки невірна оцінка цього параметру може призвести до значного відхилення траєкторії судна від заданого маршруту.

Основна складність пов'язана з досягненням високої точності вимірювань величини вектору збурення. Навігаційні системи повинні надійно фіксувати вплив вітру, хвильових коливань та течії, щоб забезпечити надійне передбачення траєкторії судна. Навіть невелика неточність у визначенні цих величин може відзначитися подовженням шляху судна, що призводить до збільшення енергетичних витрат і фінансових витрат на транспортний супровід та обслуговування судна.

Для оптимізації точності визначення вектору збурення і, відповідно, траєкторії судна, сучасні навігаційні технології та алгоритми повинні активно використовувати дані з різноманітних датчиків та супутникових систем. Постійне вдосконалення цих методів визначення стає критичним для забезпечення ефективного та економічного руху суден.

При здійсненні річкових та морських перевезень вантажів та пасажирів використовується система неперервного і дискретного контролю за місцезнаходженням суден шляхом здійснення зчислення їхньої траєкторії.

Зчислення, в цьому випадку, визначає траєкторію руху судна, яка подається у вигляді геометричного місця точок, що вказують послідовний розташування судна протягом певного періоду часу. Цей підхід дозволяє системам навігації

точно відстежувати та реєструвати шлях судна з точністю до конкретних географічних координат.

Неперервний контроль місцезнаходження забезпечує постійне оновлення інформації про рух судна, що є важливим для забезпечення безпеки та ефективності перевезень. З іншого боку, дискретний контроль, який базується на регулярних інтервалах зчислення, дозволяє більш ефективно збирати та аналізувати дані про рух суден, враховуючи особливості конкретних періодів або подій.

Цей комбінований підхід до зчислення траєкторії руху суден допомагає вдосконалювати системи навігації та забезпечувати оптимальний контроль за рухом вантажів та пасажирів у морському та річковому транспорті.

Складність відображення траєкторії руху судна обумовлена взаємодією рухомості водної поверхні та атмосферного середовища як між собою, так і відносно поверхні Землі. Земне тяжіння створює гравітаційне та інерційне навантаження на масу судна, водночас стан зовнішнього природного середовища вносить збурюючий неінерційний вплив.

Ефективна компенсація гравітаційного та інерційного навантажень досягається завдяки властивостям плавучості та ходкості судна. Плавучість забезпечує можливість судна підніматися на воді, опираючись на власну вагу, тоді як ходкість визначає його здатність до руху вздовж поверхні води. Ці фізичні характеристики грають важливу роль у стабілізації та управлінні судном під впливом гравітаційних сил.

Подолання опору від збурень забезпечується здатністю судна рухатися зі швидкістю в напрямку, викликану впливом зовнішнього середовища. Такий маневренний підхід дозволяє судну ефективно пристосовуватися до змінних умов морського або річкового середовища, забезпечуючи стабільність та безпеку плавання. Усі ці фактори взаємодіють та спільно визначають траєкторію руху судна, ускладнюючи завдання контролю та навігації в морських та річкових умовах.

Процес визначення координат руху судна відносно води та Землі базується на використанні шляхових та швидкісних трикутників (2.1...2.7). Шляхове зчислення, яке входить у цей процес, передбачає систематичне визначення місцезнаходження судна протягом періоду його руху, здійснюючи виміри на певні інтервали часу від моменту початку подорожі. Це виконується з урахуванням швидкості судна на цих інтервалах.

В рамках шляхового зчислення, відстань між точками визначається на основі рівномірного прямолінійного руху судна протягом певного періоду часу. За умови рівномірного руху, визначення координат може бути виконане за допомогою формул, які враховують швидкість та час подорожі. Періодичні виміри та обчислення відстаней дозволяють побудувати траєкторію руху судна з високою точністю.

Швидкісне зчислення включає в себе визначення швидкості руху судна на основі вимірів, здійснюваних у відомі моменти часу. Знання шляху та швидкості дозволяє визначити координати судна, враховуючи його рух відносно води та поверхні Землі. Такий підхід до зчислення координат є важливою складовою для ефективної навігації та контролю руху судна в різноманітних умовах морського або річкового середовища.

Швидкісне зчислення включає в себе визначення координат точки руху судна на площині шляхом врахування приросту ординати та аргументу відносно попередньо зчисленої точки. Ці параметри утворюють основні елементи руху судна: швидкість та шляховий кут.

У процесі швидкісного зчислення, приріст ординати представляє собою відстань, яку судно пододало вздовж певного напрямку, а приріст аргументу визначає зміну кута між напрямком руху судна та обраною початковою лінією. Такі дані формують основу для визначення швидкості та шляхового кута, які є ключовими елементами для подальшого прогнозування руху судна.

У сучасному контексті навігації та маневрування суден на передній план висуваються точність та швидкодія алгоритмів визначення швидкостей плавання та шляхового руху. Навіть при наявності відомих правил для побудови та

одночасного визначення сторін, кутів та координат вершин трикутників, проблемами виявляється форма та порядок запису векторів швидкості, які, як фізичні величини, передбачають їхнє векторне представлення.

Незважаючи на те, що швидкість можна представити у векторній формі, виникають виклики у формуванні та записі векторів швидкості як функцій модулів, кутів та координат початку та кінця їхньої дії. Проблематика також включає методи, способи та алгоритми зчислення цих векторів, що становлять основу для сучасних операцій маневрування.

Забезпечення ефективного та точного управління судном вимагає розробки та застосування алгоритмів, які враховують не лише фізичні властивості судна, але і умови навколишнього середовища. Досягнення оптимального маневрування передбачає використання високопродуктивних та точних методів обчислення, а також інноваційних підходів до аналізу та інтерпретації даних для вдосконалення та оптимізації процесів навігації та маневрування.

Векторна форма передбачає графоаналітичне визначення складових шляхового та швидкісного трикутників, які зображені на площині у прямокутній та круговій системах координат. При цьому об'єктом дослідження є процес руху судна, а предметом – елементи, або параметри, цього руху.

Мова йде про кінематичний склад руху, де передбачається постійні модулі швидкостей, проте змінні напрямки та точки прикладення векторів. Основний акцент робиться на аналізі динаміки руху, враховуючи різні точки прикладення векторів швидкості та їхні змінні напрямки в процесі руху судна.

Графоаналітичний підхід передбачає використання методів графічного представлення та аналізу даних для визначення модулів, кутів та вершин трикутників, що відображають рухові параметри судна. Врахування кругової системи координат дозволяє більш точно відтворити зміну напрямків та точок прикладення векторів у просторі.

Такий підхід до дослідження кінематики руху судна виявляється особливо важливим при розгляді різних сценаріїв та умов руху, а також при формуванні оптимальних стратегій маневрування та навігації.

Мета дослідження першого допоміжного завдання полягає у розробці інноваційного та надійного методу для швидкого та точного визначення характеристик прямолінійного поступового рівномірного руху судна. У цьому контексті розглядаються три вектори швидкості: збурення ($\overline{V}_n$), відносної ($\overline{V}_c$) та абсолютної ($\overline{V}_m$).

Для досягнення цієї мети, важливим є розробка новаторських методів обчислення та визначення параметрів руху. Ці методи повинні забезпечити точне вимірювання та аналіз впливу збурень на рух судна, а також ефективно врахування відносної швидкості в порівнянні з оточуючим середовищем.

Інноваційний характер даного дослідження передбачає використання передових технологій та алгоритмів для обробки великого обсягу даних, що стосуються руху судна. Додатково, система повинна бути здатна ефективно інтегрувати абсолютну швидкість судна, яка враховує його рух відносно Землі.

Важливою складовою цього дослідження є забезпечення надійності та швидкодії методу, що робить його практично застосовним для реальних умов навігації. Такий інноваційний підхід має потенціал вдосконалити якість та ефективність визначення характеристик руху суден, сприяючи в розвитку сучасних технологій навігації та маневрування в морському середовищі.

Робоча гіпотеза дослідження передбачає, що забезпечення паралельності визначення сторін, кутів та вершин відносної та абсолютної складових шляхового вектору швидкості руху судна може виявитися більш інформативним та швидкодіючим порівняно з альтернативною, по-компонентною формою його представлення.

За цією гіпотезою, паралельний підхід до визначення характеристик руху судна може спростити та прискорити аналіз важливих параметрів, таких як сторони, кути та вершини шляхового трикутника, що виникає в результаті взаємодії відносної та абсолютної швидкостей.

Використання паралельних методів для обчислення цих параметрів може дозволити отримати більш повне та інформативне розуміння динаміки руху судна. Цей підхід має на меті забезпечити високу ефективність та точність

визначення характеристик, сприяючи при цьому прискоренню обчислювальних процесів.

Порівняно з по-компонентним підходом, який розглядає окремі компоненти шляхового вектору, паралельний метод може виявитися більш оптимальним у відношенні швидкості та ефективності обчислень. Такий підхід може викликати інтерес серед дослідників та практиків в галузі навігації та маневрування суден через свою потенційну здатність прискорити та поліпшити процес визначення параметрів руху судна.

За наявності інформаційних початкових вхідних обмежень треба вирішити головне завдання: охарактеризувати вектори $\overline{V}_n$, $\overline{V}_c$, $\overline{V}_m$ чотирма параметрами (модулем, напрямком, координатами точок початку та кінця дії кожного вектору).

Постановка завдання для пошуку інноваційного способу визначення елементів швидкостей руху та формування прогнозних швидкісних трикутників при зчисленні шляху може бути сформульована наступним чином:

1. Визначення кутів:

- Встановити алгоритм для точного визначення кутів швидкісних трикутників, використовуючи вихідні дані про відносну та абсолютну швидкість руху судна.
- Врахувати правила складання (віднімання) кутів у пучку промінів, забезпечуючи високу точність та надійність визначення напрямку руху.

2. Визначення сторін:

- Розробити методику для ефективного визначення модулів сторін швидкісних трикутників, враховуючи абсолютну та відносну швидкість, а також збурення.
- Забезпечити високу швидкість обчислень та точність визначення довжини сторін трикутника.

3. Визначення координат вершин:

- Розробити алгоритм для точного визначення координат вершин швидкісних трикутників, використовуючи вже визначені кути та сторони.

- Врахувати правила побудови та визначення прямолінійних фігур та окружностей на площині у прямокутній та круговій системах координат.

Зазначене завдання передбачає розробку інноваційного підходу, який дозволяє послідовно та ефективно визначати параметри швидкісних трикутників у контексті навігації та маневрування суден. Підходить науково-дослідницьке дослідження повинно враховувати всі аспекти точності та ефективності обчислень для оптимального визначення шляху та прогнозування швидкостей руху суден.

Зчислення графоаналітичним методом, хоча має значуще практичне застосування, в теорії навігації часто сприймається як вторинний елемент. Основна увага приділяється визначенню оптимальної послідовності побудови простих фігур в широких діапазонах зміни параметрів векторів, таких як модуль швидкості від 0 до 30 м/с, частота обертання від 0 до градусів, та просторові координати від 0 до 90 градусів (Північної та Південної широти) та від 0 до 180 градусів (Західної та Східної довготи).

Цей підхід в теорії навігації дозволяє ефективно враховувати різноманітні умови та сценарії руху судна, оскільки величезний діапазон параметрів дозволяє збагачувати базу знань та враховувати різні умови навколишнього середовища та обставини плавання. У змінних умовах, таких як змінна швидкість вітру, обертання судна та географічне положення, графоаналітичний метод може виявитися особливо ефективним для розуміння та передбачення руху судна.

Такий підхід також забезпечує великий потенціал для дослідження взаємодії різних параметрів та їх впливу на шлях та швидкість руху. Однак важливо враховувати, що в теоретичних розглядах слід також зосереджуватися на забезпеченні практичної застосовності та ефективності отриманих результатів у реальних умовах морської навігації [45, 48].

3.4 Розрахунок морського хвилювання

Основну збурюючу дію при стабілізації швидкості судна на курсі надає морське хвилювання. У відкритому морі воно нерегулярне. Крім того, в штормову погоду на власні коливання судна на курсі накладаються вимушені коливання, а

так само спостерігається зміна швидкості. Під час руху судна при вітрі і схвильованій поверхні моря найбільші втрати швидкості спостерігаються при посиленні швидкості носового зустрічного вітру і збільшенні висоти хвилі. Із завданням оцінки і прогнозу зміни швидкості судна при вітровому і хвильовому збурення стикаються всі учасники процесу морського перевезення вантажу – від судноводіїв та судномеханіків морських суден, яким знання швидкості ходу судна необхідно для розрахунку параметрів рейсу і запасів палива, до судновласників при вирішенні завдань комерційної ефективності рейсу.

Проблема вибору методу оцінки втрати швидкості при вітровому і хвильовому впливі становить особливий інтерес. В результаті раніше проведених досліджень ряду авторів [4, 14, 26, 67, 68, 93, 97, 98] були отримані емпіричні залежності втрати швидкості судна при впливі вітро-хвильових збурень. Однак, складність визначення деяких параметрів, що входять в отримані залежності, і часткове визначення параметрів засобами емпірики безпосередньо на судні, віддалили існуючі методи від практичного використання судноводієм на флоті.

В роботі [74] за результатами експерименту були отримані залежності, що відображають спектр зміни значень витрати палива і від швидкості і швидкості від висоти хвилі. За наведеною залежністю, зроблено висновок про зростання швидкості на попутному хвилюванні при незмінних параметрах роботи пропульсивного комплексу в середньому на 0.8-1 вузла.

Для зустрічного хвилювання отримані залежності мають вигляд:

$$V = 192,42 B_{\text{м}}^{-0,9}, \quad (3.3)$$

$$V = 8,66 h_{3\%}^{-0,1}, \quad (3.4)$$

У свою чергу, залежності для попутного хвилювання.

$$V = 156,74 B_{\text{м}}^{-0,9}, \quad (3.5)$$

$$V = 9,48 h_{3\%}^{-0,1}, \quad (3.6)$$

де $B_{\text{м}}$ – витрата палива, л/миля, $h_{3\%}$ – висота хвилі 3 % забезпеченості, м, V – падіння швидкості, вузл.

Наведені залежності отримані для суден з водотоннажністю від 3000 до 5740 рт.

У роботі А. С. Мальцева [26] наведено формулу швидкості дрейфу:

$$V_{dp} = W_i / \sin \alpha \cdot \sqrt{C_{ay} / C_2 \cdot \rho_s / \rho \cdot S_n / S_n \cdot \sin q_i}, \quad (3.7)$$

де α – кут вітрового дрейфу, W_i – швидкість істинного вітру, C_{ay} / C_2 – відношення безрозмірних коефіцієнтів поперечної і аеро-гідродинамічної сил, S_n – площа поверхні зануреної частини корпусу судна, q_i – кут істинного вітру.

Розрахунок швидкості судна на хвилювання за формулою:

$$V = V_0 - (ah_{3\%} + bh_{3\%}^2) + kq_k h_{3\%}, \quad (3.8)$$

де V_0 – швидкість судна на тихій воді, a, b, k – емпіричні коефіцієнти, q_k – курсовий кут хвилі.

Для порівняння наведемо подібну формулу визначення швидкості судна на хвилюванні, залежну тільки від самих основних конструктивних елементів судна і поточної осадки:

$$V = V_o - (0,745h_{3\%} - 0,275q_k h_{3\%})(1 - 1,35 \cdot 10^{-6} DV_o), \quad (3.9)$$

де D – водотоннажність судна.

Наступний розглянутий спосіб визначення впливу хвильового збурення на судно розроблений А. В. Юрканським [74] та заснований на визначенні безрозмірних коефіцієнтів хвильових сил по просторових осях і моменту C_m^w за результатами випробувань суден в натурних умовах:

$$\begin{cases} C_x^w = 0,062B/T - 0,0085L/T + 0,328\delta_v; \\ C_y^w = 0,0823L/B + 2,56T/L + 0,90\delta_v^2; \\ C_m^w = 0,15\delta_v + 0,197\delta_v^2 - 0,00373L/T; \end{cases} \quad (3.10)$$

де B – ширина судна, T – осадка, δ_v – коефіцієнт загальної повноти судна.

Дані залежності справедливі для співвідношень L/T 10-23, B/T 1-3.7, L/B 5-12, δ_v 0,6-0,8.

Після перетворень формул можна знайти величину плеча сили хвильової природи:

$$l_w = C_m^w / C_y^w \cdot \sin(2q_w) / 2 - q_w / \pi / \sin q_w \cdot L \quad (3.11)$$

де q_w – курсовий кут бігу хвилі.

У роботі [98], ґрунтуючись на лінійній теорії качки і суперпозиції пропонує оцінювати силу хвильового впливу за формулою:

$$R_{ey} = 0,5 \rho g L h_{3\%} K_{ey} \quad (3.12)$$

де ρ – щільність морської води, R_{ey} – сила хвильового впливу, L – довжина судна між перпендикулярами, K_{ey} – безрозмірний хвильовий коефіцієнт, який залежить від розмірів судна і можуть бути визначені за графіками, наведеними в довіднику [68], довжини хвилі та її курсового кута.

Далі розглянемо розрахунок опору руху судна від вітру і регулярного хвилювання (здибі).

Формула розрахунку опору руху судна за рахунок здибі:

$$\Delta R_b = \rho (V_o + c) / 2 \cdot B h / \pi (1 - \cos \varphi) \quad (3.13)$$

де φ – кут входу носової гілки ватерлінії, c – швидкість бігу хвилі.

Формула розрахунку додаткового опору руху судна від вітру:

$$R_s = C_x \cdot \rho_s w^2 / 2 \cdot S \quad (3.14)$$

де C_x – безрозмірний коефіцієнт опору повітря, ρ_s – щільність повітря, S – площа проекції надводної частини судна на площину мідель-шпангоута.

Формула втрати швидкості при вітро-волновому впливі [14]:

$$\Delta V_o = 0,01 \cdot V_C [m' / L (\Delta_w / 10 - \Delta_w) + n] \quad (3.15)$$

$$m' = \begin{cases} 900 \text{ при } 0^\circ \leq q_w < \pm 30^\circ, \\ 42(27,1 - \Delta_w) \text{ при } \pm 30^\circ \leq q_w < \pm 60^\circ, \\ 34(15,5 - \Delta_w) \text{ при } \pm 60^\circ \leq q_w < \pm 120^\circ, \\ 29,2(\Delta_w - 1,57) \text{ при } \pm 120^\circ \leq q_w < \pm 180^\circ. \end{cases} \quad n = \begin{cases} 4,7(\Delta_w - 4,6) \text{ при } 0^\circ \leq q_w < \pm 30^\circ, \\ 3,2(\Delta_w - 4,37) \text{ при } \pm 30^\circ \leq q_w < \pm 60^\circ, \\ 2(\Delta_w - 4,5) \text{ при } \pm 60^\circ \leq q_w < \pm 120^\circ, \\ (\Delta_w - 5) \text{ при } \pm 120^\circ \leq q_w < \pm 180^\circ. \end{cases}$$

де Δ_w – інтенсивність хвилювання, q_w – курсовий кут хвилювання, L – довжина судна, м.

Для швидкохідних суден (швидкість ходу 15 - 18 вузлів) Г. Аертсен запропонував емпіричну формулу для оцінки втрати швидкості:

$$100 \frac{\Delta v_w}{v_o} = \frac{m}{L} + n \quad (3.16)$$

де v_w – втрата швидкості при хвилюванні, вузли; m та n – емпіричні коефіцієнти представлені в табличній формі, які залежать від інтенсивності Δ_w і напрямку хвилювання щодо курсу q_w .

У роботі О. Л. Вагущенко [4] наведена модель для прогнозу втрат швидкості від вітру та хвилювання з малою кількістю параметрів:

$$\Delta V = 0,01 \cdot V_0 \cdot Z_1 \cdot h_z^{Z_2} / \sqrt{1 + (Z_3 q_w / \pi)^2} = 0,01 \cdot V_0 f_w(Z_1, Z_2, Z_3) \quad (3.17)$$

де $Z_1 \approx 120/L + 0,5$; $Z_2 \approx 1,7$; $Z_3 \approx 3,0$ – коефіцієнти, h_z – висота значної хвилі.

Результати досліджень. У результаті дослідження, були обрані формули, які будуть гранично простими щодо вихідних даних по судну і параметрам вітру і хвилювання при цьому даючи досить точні результати.

На підставі аналізу наведених формул, можна зробити наступний висновок. У випадку, коли відомі лише основні параметри судна, найбільш прості в застосуванні формули (3.15) та (3.17). Формула (3.9) так само має перевагу з точки зору універсальності (за типом судна), але ускладнена необхідністю знання фактичної водотоннажності судна.

Важливо відзначити, що згідно з дослідженнями [117], втрати швидкості судна за умов морського хвилювання можуть досягати до 20 % при експлуатації у важких метеоумовах. Умови вітру також істотно впливають на втрати швидкості: при вітрі менше 5 балів втрата швидкості зазвичай становить близько 1 %, у той час як при вітрі більше 8 балів ця величина може зрости приблизно до 60 %. Також варто зазначити, що попутне хвилювання може спричинити втрату швидкості близько 15 %.

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що аналіз та облік впливу морського хвилювання на рух судна є невід'ємною частиною планування та безпечної експлуатації морських суден. Оперативне реагування на змінні морські умови та вжиття відповідних заходів на борту судна мають ключове значення для забезпечення безпеки та ефективності морських перевезень.

Для швидкохідних суден, тобто суден, здатних розвивати швидкість ходу в межах 15 - 18 вузлів, дослідник Г. Аертсен запропонував застосовувати емпіричну формулу для більш точної оцінки втрати швидкості. Ця формула, розроблена спеціально для судів такого класу, є важливим інструментом визначення впливу різних чинників на рух і маневреність таких судів.

Важливо відзначити, що висока швидкість ходу робить швидкохідні судна схильними до різних впливів, включаючи вплив морського хвилювання, течій, вітру та інших атмосферних і гідродинамічних факторів. У зв'язку з цим оцінка втрати швидкості під час планування маршруту та управління такими судами стає критично важливою.

Формула, запропонована Г. Аертсеном, враховує низку параметрів, що впливають на втрату швидкості. Вивчення та аналіз цих параметрів дозволяють покращити прогнозування та управління рухом швидкохідних суден, що, у свою чергу, сприяє підвищенню ефективності та безпеки морських перевезень. Такий підхід до оцінки втрати швидкості є важливою частиною сучасних методів навігації та морської техніки.

Проте, слід зазначити, що формула, запропонована Г. Аертсеном для оцінки втрати швидкості швидкохідних суден, може бути предметом досліджень та адаптації до застосування в інших контекстах. Її потенційне використання не обмежується лише швидкохідними суднами та певною швидкістю ходу.

Можливо, цю формулу можна адаптувати для оцінки втрати швидкості інших типів судів, включаючи повільнохідні судна або судна з різними баластними характеристиками. Для цього може знадобитися проведення додаткових досліджень та аналізу даних, щоб врахувати специфіку кожного типу судна та його реакцію на вплив навколишнього середовища.

Крім того, такі формули можуть бути адаптовані і для оцінки впливу різних рівнів морського хвилювання на судна з різним ступенем стійкості та маневреності. Це може бути особливо корисним при плануванні маршрутів та прийнятті рішень щодо безпеки судноплавства в різних кліматичних та географічних умовах.

Таким чином, формула Г. Аертсена, хоч і розроблена для швидкохідних суден, може послужити відправною точкою для подальших досліджень та адаптації з метою ширшого застосування в морській навігації та морській інженерії.

Необхідно провести поліноміальну апроксимацію табличних даних для використання за будь-яких балів хвилювання, а не тільки для зазначених у таблиці. Цей підхід дозволить розширити діапазон значень балів хвилювання, котрим можна застосовувати отриману формулу. Замість обмеження на конкретні значення балів модель буде здатною надавати оцінку втрати швидкості судна для будь-якої заданої величини хвилювання.

Таким чином, буде створено більш універсальний інструмент для морської навігації та планування рейсів, який враховуватиме різноманітні умови на морі. Шляхом поліноміальної апроксимації можна буде точніше дослідити залежність між балами хвилювання та втратою швидкості судна, що дозволить морякам та судновласникам приймати більш поінформовані рішення при виборі маршрутів та визначенні безпечних умов для плавання.

Знаходимо модуль швидкості вектору хвильового впливу [14]:

$$\Delta V_o = 0,01 \cdot V_C \left[m' / L (\Delta_w / 10 - \Delta_w) + n \right] \quad (3.18)$$

$$m' = \begin{cases} 50\Delta_w^3 - 700\Delta_w^2 + 3550\Delta_w - 5600 & \text{при } 0^\circ \leq q_w < \pm 30^\circ, \\ 66,667\Delta_w^3 - 1150\Delta_w^2 + 6883,3\Delta_w - 13300 & \text{при } \pm 30^\circ \leq q_w < \pm 60^\circ, \\ 8,3333\Delta_w^3 - 125\Delta_w^2 + 766,67\Delta_w - 1400 & \text{при } \pm 60^\circ \leq q_w < \pm 120^\circ, \\ 50\Delta_w^2 - 450\Delta_w + 1100 & \text{при } \pm 120^\circ \leq q_w < \pm 180^\circ. \end{cases} \quad (3.19)$$

$$n = \begin{cases} 0,1667\Delta_w^3 - 2,5\Delta_w^2 + 16,333\Delta_w - 38 & \text{при } 0^\circ \leq q_w < \pm 30^\circ, \\ 0,1667\Delta_w^3 - 3\Delta_w^2 + 20,833\Delta_w - 48 & \text{при } \pm 30^\circ \leq q_w < \pm 60^\circ, \\ 2\Delta_w - 9 & \text{при } \pm 60^\circ \leq q_w < \pm 120^\circ, \\ \Delta_w - 5 & \text{при } \pm 120^\circ \leq q_w < \pm 180^\circ. \end{cases} \quad (3.20)$$

де Δ_w – інтенсивність хвилювання в балах, q_w – курсовий кут хвилювання, L – довжина судна, м.; m , n – емпіричні коефіцієнти.

Після проведених обчислень таблиця емпіричних коефіцієнтів приймає новий вигляд:

Таблиця 3.1 – Значення емпіричних коефіцієнтів

Інтенсивність хвилювання, бали	Напрямок хвилювання							
	Зустрічне		Скулове		Траверзне		Попутне	
	M	n	m	n	M	N	m	n
1	-2700	-24	-7500	-30	-750	-7	-400	-4
2	-900	-14	-3600	-17	-300	-5	-200	-3
3	100	-7	-1200	-8	0	-3	-100	-2
4	600	-2	100	-2	200	-1	0	-1
5	900	2	700	2	350	1	100	0
6	1300	6	1000	5	500	3	200	1
7	2100	11	1400	8	700	5	400	2
8	3600	18	2300	12	1000	7	700	3
9	6100	28	4100	18	1500	9	1100	4

Графоаналітичний спосіб зчислення передбачає звичайне складання векторів швидкостей у послідовності зображень на рис 1., згідно якому судно, рухаючись по спокійній воді з $\overline{V}_C = const$ на проміжку $\Delta t = 1$ год., знаходиться під впливом невизначеного за модулем сумарного збурення, діючого за напрямком K_{II} . Сумарним вектором переміщення стає невизначений вектор шляху, який діє у напрямку K_{III} .

Рішення головного завдання передбачає застосування координатного метода, в якому ведучу роль грають обчислення, а геометричні побудови мають допоміжне значення.

На першому етапі проводиться аналіз впливу зовнішніх збурень на судно з подальшим визначенням їх впливу за допомогою зазначеної формули. Для врахування ефектів хвильового впливу необхідно розрахувати втрату швидкості.

На другому етапі враховується течія з врахуванням її швидкості та істинного кута від північного напрямку. На третьому етапі здійснюється розрахунок швидкості хвилі.

3.5 Оптимізація управління судном з урахуванням вітрового збурення

В умовах руху судна під впливом вітру, окрім бічного відхилення, виникає сила, що діє вздовж його довговажільної осі, що збільшує або зменшує його переносну швидкість. Ці зміни ураховуються за допомогою відносного лагу, тому

цей факт не вивчається окремо; натомість курс коригується залежно від величини вітрового дрейфу. При векторному описі руху та визначенні місцезнаходження судна відносно Землі такий підхід призводить до виникнення помилок, що в обмежених умовах та під час навігації у каналах та фарватерах є неприпустимими. Спричинено потребою у підході, що дозволить керівнику судна точніше та безаварійно керувати процесом руху.

Урахування вітрового дрейфу є важливим аспектом в морській навігації та судноплавстві, оскільки він суттєво впливає на рух судна під впливом вітру. Вітровий дрейф виникає через різницю між курсом судна та напрямком вітру, що може призводити до відхилення судна від його заданого курсу.

Неврахування вітрового дрейфу може призвести до некоректного прогнозування траєкторії судна та ускладнення процесу навігації. Зокрема, це особливо актуально при маневрах у складних метеоумовах та при виконанні портових операцій. Урахування вітрового дрейфу дозволяє капітану та екіпажу адекватно реагувати на вплив вітру, коригувати курс та забезпечувати безпечний та ефективний рух судна.

Збереження врахування вітрового дрейфу в морських навігаційних обчисленнях та розрахунках є важливим елементом для забезпечення точності та надійності маневрування судна в умовах мінливого вітрового середовища. Врахування цього фактору є ключовим для забезпечення безпеки судноплавства та попередження можливих аварій чи інцидентів в процесі руху судна.

У роботі [26] запропоновано використання рівняння у наступній формі, що робить його практично застосовним у автоматизованих системах та при розрахунках кутів дрейфу на судні.

$$\operatorname{tg} \alpha = -0,11 + \sqrt{0,0121 + K_{\alpha}^2 \cdot (W / V_0)^2 \cdot \sin q_w}, \quad (3.21)$$

де K_{α} – коефіцієнт бічної сили, що визначається за формулою:

$$K_{\alpha} = (0,16\delta_{оп} - 0,5T_{cp} / L) \cdot \sqrt{S_H / S_{II}} \quad (3.22)$$

$\delta_{оп}$ – коефіцієнт загальної повноти, відн. од; T_{cp} – середня осадка, м;
 S_H – площа проекції надводної частини корпусу судна на ДП, м²; S_{II} – площа проекції підводної частини корпусу судна на ДП, м².

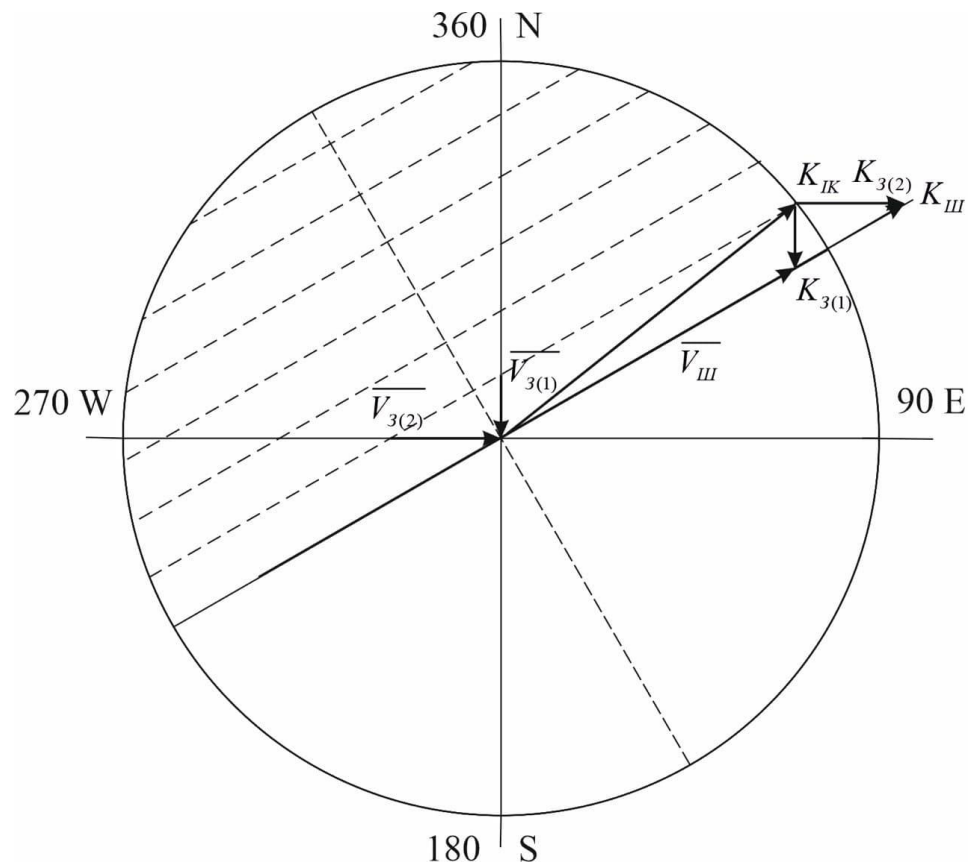


Рисунок 3.4 – Визначення елементів руху судна на етапі планування маршруту

Для створення ефективного методу зчислення траєкторії руху судна з урахуванням впливу вітру, хвилювання і течій, скористаємося апаратом векторної алгебри та аналітичної геометрії. Використовуючи їхні фундаментальні засади, можна вивести наступні співвідношення:

Виходячи з принципів, законів, аксіом та правил аналітичної геометрії:

$$V_g = V_c \cdot \sin \alpha / \sin(180 - q_w) \quad (3.23)$$

де V_g – швидкість вітру, вузли; V_c – швидкість судна, вузли.

Виконаємо розрахунок координат течії та вітру.

$$\begin{aligned}
\lambda_T &= V_T \cdot \cos K_T, \\
\varphi_T &= V_T \cdot \sin K_T, \\
\lambda_6 &= V_6 \cdot \cos K_6, \\
\varphi_6 &= V_6 \cdot \sin K_6.
\end{aligned}
\tag{3.24}$$

де V_T – швидкість течії, вузли; K_T – курс течії від норду, градуси; K_6 – курс вітру від норду.

Розрахуємо координати вектору збурення:

$$\begin{aligned}
\lambda_3 &= \lambda_T + \lambda_6, \\
\varphi_3 &= \varphi_T + \varphi_6.
\end{aligned}
\tag{3.25}$$

Розрахуємо швидкість збурення:

$$V_3 = \sqrt{\lambda_3^2 + \varphi_3^2} \tag{3.26}$$

Розрахуємо кут збурення:

$$K_3 = \arctan(\varphi_3 / \lambda_3) \tag{3.27}$$

Розрахуємо курсовий кут збурення:

$$q_3 = K_{III} - K_3 \tag{3.28}$$

де K_{III} – курс шляху, градуси.

Внутрішні кути трикутника:

$$\begin{aligned}
\alpha &= \arcsin(V_3 \cdot \sin \beta / V_c), \\
\beta &= 180 - q_3, \\
\gamma &= 180 - \beta - \alpha.
\end{aligned}
\tag{3.29}$$

Розрахуємо шляхову швидкість:

$$V_{III} = V_c \cdot \sin \gamma / \sin \beta \tag{3.30}$$

Врахуємо зміну швидкості судна при хвилюванні і виконаємо перерахунок кутів:

$$V_{III} = V_u + \Delta V_o \tag{3.31}$$

$$V_3 = \sqrt{V_u^2 + V_c^2 - 2 \cdot V_u \cdot V_c \cdot \cos \alpha} \tag{3.32}$$

$$\beta = \arcsin(V_c \cdot \sin \alpha / V_3) \tag{3.33}$$

Істинний курс:

$$K_{IK} = K_{III} - \alpha \tag{3.34}$$

Розрахуємо координати векторів:

$$\text{Векторы } \overline{V}_C : \begin{cases} \varphi_{V_C(2)} = \varphi_{V_C(1)} + |\overline{V}_C| \cos K_{IK}, \\ \lambda_{V_C(2)} = \lambda_{V_C(1)} + |\overline{V}_C| \sin K_{IK}; \end{cases} \quad (3.35)$$

$$\text{Векторы } \overline{V}_{III} : \begin{cases} \varphi_{V_{III}(2)} = \varphi_{V_{III}(1)} + |\overline{V}_{III}| \cos K_{III}, \\ \lambda_{V_{III}(2)} = \lambda_{V_{III}(1)} + |\overline{V}_{III}| \sin K_{III}; \end{cases} \quad (3.36)$$

$$\text{Векторы } \overline{V}_\Pi : \begin{cases} \varphi_{V_\Pi(1)} = \varphi_{V_C(2)}, \lambda_{V_\Pi(1)} = \lambda_{V_C(2)}, \\ \lambda_{V_\Pi(2)} = \lambda_{V_{III}(2)}, \lambda_{V_\Pi(2)} = \lambda_{V_{III}(2)}. \end{cases} \quad (3.37)$$

3.6 Висновки до третього розділу

1. Існують різні методи числення для розрахунку координат маршруту судна: просте числення та складове числення. Метод векторного забезпечення, базований на реальному коригуванні вектору переміщення, забезпечує більш точне слідування заданому маршруту в умовах динамічних змін.

2. Інформація про погодні умови для морських суден надходить від Всесвітньої Метеорологічної Організації (ВМО) та через систему GMDSS, яка включає компоненти NAVTEX та SafetyNET. Ефективне використання цієї інформації, а також її своєчасна передача екіпажу на борту, дозволяє приймати оперативні рішення та коригувати маршрут судна, підвищуючи безпеку плавання та знижуючи ризики аварійних ситуацій.

3. Метод векторного забезпечення дозволяє оперативно коригувати курс судна на основі поточних даних про відхилення від заданого маршруту, враховуючи вплив зовнішніх факторів, таких як вітер та течії. Це забезпечує більшу гнучкість та точність управління судном у реальних умовах.

4. Метод векторної візуалізації може бути ефективно використаний у складних умовах навігації, таких як маневрування у порту та проходження вузьких проток. Інтеграція з сучасними навігаційними системами та бортовими системами оптимізації маршруту дозволяє автоматизувати процес управління судном.

5. Важливо забезпечити ефективну взаємодію між екіпажем на борту та береговим персоналом, який має доступ до актуальних даних про погодні умови. Це сприяє кращому прогнозуванню та управлінню судном, підвищуючи безпеку та ефективність морських перевезень.

6. Застосування методу векторної візуалізації сприяє зменшенню витрат палива за рахунок оптимізації маршруту та зниження відхилень від курсу. Це також сприяє зниженню впливу на довкілля та підвищенню економічної ефективності морських перевезень, дозволяючи більш точно прогнозувати час прибуття судна в порт.

Основні результати розділу опубліковані в наукових працях [43, 45, 48]. і отримано патент [38].

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ВИБОРУ ШВИДКОСТІ ТА ПОВЕРНЕННЯ СУДНА НА ЛІНІЮ МАРШРУТУ

У сучасному мореплавстві точність навігації відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки судноплавства, ефективності морських перевезень та зменшенні впливу на навколишнє середовище. Одним з найважливіших аспектів навігації є аналіз елементів руху судна при обсервації, який дозволяє визначити фактичне положення судна та внести необхідні корективи в його курс.

Традиційні методи навігації часто не враховують повною мірою вплив природних збурень на рух судна, що може призвести до відхилення від запланованого маршруту та збільшення витрат палива. У цьому контексті розробка нових методів аналізу руху судна стає особливо актуальною.

Рішення другої допоміжної задачі присвячене інноваційному методу аналізу елементів руху судна при обсервації, який виконується в три етапи. Цей метод дозволяє не лише точно визначити положення судна, але й ефективно скоригувати його курс з урахуванням природних збурень.

Перший етап методу фокусується на аналізі та ідентифікації природних збурень, таких як вітер, течії та хвилі, а також оцінці їх впливу на рух судна. Це дозволяє створити точну картину зовнішніх факторів, що впливають на траєкторію руху.

Другий етап передбачає розробку ефективного алгоритму для розрахунку оптимального шляху повернення судна на лінію запланованого маршруту. Цей алгоритм враховує як модуль, так і напрямок виявлених природних збурень, що дозволяє мінімізувати витрати ресурсів на корекцію курсу.

Третій етап методу зосереджений на визначенні оптимального кута повороту судна. Цей крок має критичне значення для зменшення впливу зовнішніх збурень на рух судна та забезпечення його стабільності на новому курсі.

Запропонований метод має потенціал значно підвищити точність навігації, зменшити витрати палива та підвищити загальну ефективність морських перевезень. У наступних розділах цієї глави ми детально розглянемо кожен етап методу, його теоретичне обґрунтування та практичне застосування.

4.1 Аналіз руху судна при обсервації та розробка алгоритму повернення судна на лінію маршруту при наявності природнього збурення

Аналіз руху судна при обсервації є фундаментальним аспектом сучасної морської навігації, який має критичне значення для безпеки, ефективності та економічності морських перевезень. Розглянемо детально ключові аспекти значення цього аналізу.

По-перше, безпека судноплавства – це точне визначення положення судна, яке допомагає уникнути зіткнень з іншими суднами, підводними перешкодами та береговою лінією; дозволяє вчасно виявити відхилення від запланованого маршруту, що може призвести до небезпечних ситуацій; забезпечує можливість швидкого реагування на зміни навколишнього середовища, такі як погіршення погодних умов або зміни течій.

По-друге, економічна ефективність складається з оптимізації маршруту, яка дозволяє: зменшити витрати палива; скоротити час переходу за рахунок вибору найбільш ефективного шляху; зменшити знос шляхом через оптимального управління судном в умовах зовнішніх збурень.

По-третє, екологічний аспект, направлений на зменшення викидів CO₂ та інших шкідливих речовин завдяки оптимізації маршруту та зменшенню витрат палива; мінімізацію впливу на морські екосистеми шляхом точного дотримання встановлених маршрутів та уникнення заходу в екологічно чутливі зони.

По-четверте, юридична відповідальність за точний рух судна, який забезпечує: дотримання міжнародних та національних правил судноплавства; у разі інцидентів, точні дані про рух судна стають важливим доказом при розслідуваннях.

По-п'яте, оперативне планування дозволяє: точно прогнозувати час прибуття в порт (ETA - Estimated Time of Arrival), що важливо для логістичних операцій; забезпечує можливість оперативного коригування плану рейсу в залежності від змін умов або вимог.

По-шосте, навігаційна точність підвищує загальну точність навігації, що особливо важливо в складних навігаційних умовах (вузькі протоки, порти, тощо) та дозволяє враховувати і компенсувати вплив зовнішніх факторів (течії, вітер, хвилі) на рух судна.

По-сьоме, інтеграція з сучасними технологіями, зокрема аналізом руху судна є ключовим елементом для: роботи систем автоматичного управління курсом (автопілот); забезпечує дані для систем попередження зіткнень та систем управління рухом суден (VTS - Vessel Traffic Service).

По-восьме, підвищення кваліфікації екіпажу: сприяє підвищенню навичок навігації у членів екіпажу; дозволяє виявляти та виправляти систематичні помилки в навігації.

По-дев'яте, оптимізація вантажних операцій дозволяє: оптимізувати завантаження та розвантаження, враховуючи вплив вантажу на стабільність судна.

По-десяте, наукові дослідження можуть бути використані для досліджень в галузі океанографії, метеорології та інших морських наук.

По-одинадцяте, страхування: точні дані про рух судна можуть впливати на страхові премії та врегулювання страхових випадків.

Таким чином, аналіз руху судна при обсервації є багатогранним і критично важливим аспектом морської навігації, який впливає на всі напрямки морських перевезень - від безпеки та економіки до екології та наукових досліджень. Постійне вдосконалення методів цього аналізу є ключовим фактором для подальшого розвитку морської галузі.

4.1.1 Аналіз точності обсервації місця судна

Точність обсервації є критично важливим аспектом морської навігації, який постійно вдосконалюється завдяки розвитку технологій та методик. Високоточна обсервація не лише забезпечує безпеку мореплавства, але й сприяє підвищенню ефективності морських перевезень та зменшенню їх впливу на навколишнє середовище [61, 94].

Фактори, що впливають на точність обсервації наступні:

- Методи обсервації – візуальні (секстант, пеленгатор);
- супутникові навігаційні системи (GPS) – сучасні системи забезпечують точність близько 10...15 метрів, що для більшості морських застосувань становить похибку менше 0,1 % від відстані; високоточні системи з диференціальною корекцією можуть досягати точності до 1...3 метрів, що відповідає похибці менше 0,01 % для більшості навігаційних задач [96, 149];
- радіолокаційні методи з точністю 1-2 % від дальності дії радару; для сучасних морських радарів з дальністю дії 48 морських миль це означає похибку близько 0,5...1,0 морської милі, або приблизно 2...4 % від максимальної дальності [92];
- візуальні методи (секстант) – точність залежить від досвіду штурмана та умов спостереження: у хороших умовах похибка може складати близько 1...2 морських миль, що відповідає приблизно 3...6 % від видимого горизонту (близько 12 морських миль для спостерігача на висоті 10 метрів над рівнем моря) [113];
- радіопеленгаторні методи: точність зазвичай оцінюється в 2...3 % від відстані до радіомаяка [115];
- інерціальні навігаційні системи, точність яких залежить від часу роботи без корекції; типова похибка складає близько 1 морської милі на годину, що може відповідати 0,1...1,0 % від пройденої відстані залежно від швидкості судна [123];
- зовнішні умови: видимість; стан моря; атмосферні умови;
- технічний стан обладнання: якість та калібрування приладів; точність хронометрів;

- людський фактор: досвід та кваліфікація штурмана; втома та уважність персоналу;
- оцінка точності обсервації: середня квадратична похибка (СКП) – основний показник точності обсервації, зазвичай виражається в милях або кабельтових; еліпс похибок (графічне представлення області, в якій з певною ймовірністю знаходиться істинне місце судна);
- довірчі інтервали визначають діапазон, в якому з заданою ймовірністю знаходиться істинне значення координат.
- методи підвищення точності обсервації – це комбінування різних методів обсервації та використання кількох незалежних методів для взаємної перевірки [124].
- збільшення кількості вимірювань: проведення серії вимірювань з подальшим усередненням результатів;
- вибір оптимального часу для обсервації шляхом врахування умов видимості, стану моря, тощо;
- використання сучасних технологій: застосування високоточних GPS-приймачів; інтеграція з інерціальними навігаційними системами

4.1.2 Вплив точності обсервації на навігацію

Безпека судноплавства – це точна обсервація, яка дозволяє уникнути навігаційних небезпек

Економічна ефективність – це оптимізація маршруту та зменшення витрат палива.

Юридичні аспекти уявляють точні дані обсервації, які можуть бути критичними у випадку морських інцидентів.

Сучасні тенденції в підвищенні точності обсервації наступні.

Розвиток супутникових систем: впровадження нових поколінь GPS та розробка європейської системи Galileo [90].

Інтеграція з іншими системами: використання AIS (Automatic Identification System); застосування ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) [144].

Автоматизація процесів обсервації: розробка систем автоматичного визначення місця судна

Використання штучного інтелекту: застосування алгоритмів машинного навчання для підвищення точності обсервації [150].

Розглянемо міжнародні вимоги до точності обсервації. Міжнародна морська організація (ІМО) встановлює стандарти точності для різних типів навігації та обладнання, ключові вимоги:

- Загальні вимоги ІМО до точності визначення місця судна: у відкритому морі похибка не повинна перевищувати 4 % від відстані до найближчої навігаційної небезпеки, але не більше 4 морських миль; у прибережних водах: похибка не повинна перевищувати 0.25 морської милі (460 метрів).

- Вимоги до електронних картографічних навігаційно-інформаційних систем (ECDIS): точність відображення місця судна: в межах 1 % від загальної шкали обраної електронної карти або 30 метрів, залежно від того, яке значення більше.

- Вимоги до систем глобальної навігації (GNSS) для морського застосування: горизонтальна точність (з ймовірністю 95 %): краще 10 метрів; попередження про втрату точності: протягом 10 секунд.

- Вимоги до автоматичних ідентифікаційних систем (AIS): точність передачі позиції, краще 10 метрів.

- Вимоги до радіолокаційного обладнання: точність вимірювання пеленгу $\pm 1^\circ$ для цілей на відстані від 0.5 до 10 морських миль; точність вимірювання відстані менше 30 метрів або 1 від шкали дальності, залежно від того, яке значення більше.

- Вимоги до системи відображення електронних карт (ECS): точність відображення місця судна: краще 1 % від використовуваної шкали карти.

- Вимоги до інтегрованих навігаційних систем (INS): горизонтальна точність (з ймовірністю 95 %): краще 10 метрів у режимі точної навігації.

Важливо зазначити, що ці вимоги є мінімальними, і багато сучасних систем забезпечують значно вищу точність. Наприклад, системи диференціальної корекції GPS можуть забезпечувати точність до 1...3 метрів.

У сучасному мореплавстві точність навігації відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки судноплавства, економічної ефективності рейсів та дотримання міжнародних морських конвенцій. Одним з найважливіших аспектів навігаційної практики є здатність судна дотримуватися запланованого маршруту, незважаючи на постійний вплив зовнішніх факторів, таких як вітер, течії та хвилі.

Метод повернення судна на лінію маршруту після обсервації та коригування курсу з урахуванням модулю та напрямку природного збурення є фундаментальною навігаційною процедурою, яка дозволяє підтримувати судно на оптимальному курсі, мінімізуючи відхилення та забезпечуючи ефективне досягнення пункту призначення. Цей метод поєднує в собі точні навігаційні розрахунки, глибоке розуміння гідрометеорологічних умов та майстерне управління судном.

У цьому дослідженні розглядаються теоретичні основи та практичні аспекти застосування даного методу. Особлива увага приділяється аналізу факторів, що впливають на відхилення судна від курсу, методам проведення обсервацій, техніці розрахунку коригувань курсу та способам ефективного повернення на заплановану лінію маршруту.

Важливість цього методу підкреслюється його прямим впливом на безпеку мореплавства, економічну ефективність рейсів та екологічну відповідальність при морських перевезеннях. Крім того, володіння цим методом є невід'ємною частиною професійної компетенції сучасних морських офіцерів, що відповідає вимогам Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти.

Розуміння та ефективне застосування цього методу дозволяє оптимізувати навігаційний процес, зменшити ризики, пов'язані з відхиленням від курсу,

забезпечити високий рівень безпеки та ефективності морських перевезень у складних та динамічних умовах світового океану.

4.1.3 Внесення поправки після першої обсервації

Внесення поправки після першої обсервації здійснюється у наступній послідовності [49]:

Крок 1. Раннє виявлення відхилень: Перша обсервація дозволяє швидко помітити будь-які розбіжності між розрахунковим та фактичним положенням судна.

Крок 2. Мінімізація накопичення помилок: Чим раніше виявлено та виправлено відхилення, тим менше воно впливатиме на подальший рух судна.

Крок 3. Економія ресурсів: Швидке коригування курсу зменшує необхідність більш значних змін пізніше, що може вимагати додаткових витрат палива.

Крок 4. Підвищення точності прогнозування: Раннє коригування дозволяє точніше прогнозувати подальший рух судна.

Крок 5. Оцінка зовнішніх впливів: Перша обсервація дає можливість оцінити реальний вплив течій, вітру та інших факторів на рух судна.

Крок 6. Адаптація до умов: Дозволяє швидко адаптувати навігаційний план до фактичних умов плавання.

Крок 7. Забезпечення безпеки: Раннє виявлення відхилень може бути критичним для уникнення небезпечних ситуацій, особливо в складних навігаційних умовах.

Крок 8. Унікальність кожного рейсу: Кожне завантаження судна змінює його характеристики (осадку, остійність, інерцію), що впливає на поведінку судна в морі.

Розвиваючи цю думку з урахуванням міжнародних документів, можна зазначити наступне:

- SOLAS, Глава V, Правило 34 «Безпечне плавання та уникнення небезпечних ситуацій»: вимагає, щоб до відходу було складено план рейсу з

урахуванням усіх відповідних факторів. Це включає необхідність регулярного моніторингу позиції судна та коригування курсу для дотримання запланованого маршруту [86].

- Резолюція ІМО А.893(21) «Керівництво з планування рейсу»: підкреслює важливість постійного моніторингу прогресу судна відносно плану рейсу, зокрема, вказує на необхідність проведення регулярних перевірок для визначення відхилень від запланованого маршруту; наголошує на важливості врахування всіх чинників, що впливають на рух судна, включаючи течії та вітер (природні збурення) [84].

- ПДНВ, Розділ А-VIII/2, Частина 3-1 «Планування рейсу»: вимагає від офіцерів навігаційної вахти вміння коригувати курс судна для підтримки безпеки та ефективності навігації; підкреслює необхідність врахування гідрометеорологічних умов при виконанні плану переходу [87].

- ISM Code, Розділ 7 «Розробка планів операцій на судах»: вимагає наявності процедур підготовки планів та інструкцій для ключових операцій на судні, включаючи коригування курсу та повернення на заплановану лінію маршруту [88].

- Резолюція ІМО А.1172 (34) «Керівництво з використання системи інформації про положення й навігації»: хоча безпосередньо не стосується коригування курсу, але підкреслює важливість точного визначення позиції судна та використання цієї інформації для безпечної навігації [85].

- МППЗС-72, Правило 8 «Дії для запобігання зіткненню»: вимагає, щоб будь-які зміни курсу були явними та своєчасними, що важливо при коригуванні курсу після обсервації [82].

Ці документи підкреслюють важливість своєчасного виявлення відхилень від запланованого маршруту, точної оцінки впливу природних факторів і швидкого реагування для повернення судна на правильний курс. Це не лише забезпечує ефективність навігації, але й є ключовим аспектом безпеки мореплавства відповідно до міжнародних стандартів.

У сучасному мореплавстві точність навігації та здатність судна дотримуватися запланованого маршруту є критично важливими для безпеки, ефективності та економічності морських перевезень. Однак, постійний вплив зовнішніх факторів, таких як вітер, течії та хвилі, неминуче призводить до відхилень судна від заданого курсу. Саме тому розробка та вдосконалення методів повернення судна на лінію маршруту після проведення першої обсервації є одним з ключових завдань сучасної навігаційної науки та практики.

Представлений метод комплексного зчислення траєкторії руху судна пропонує системний підхід до вирішення цієї задачі. Він базується на поєднанні точних математичних розрахунків, геометричних побудов та врахування реальних гідрометеорологічних умов. Ключовою особливістю методу є його здатність адаптуватися до мінливих умов плавання та забезпечувати високу точність навігації при мінімальних вхідних даних.

У другій допоміжній задачі розглядаються етапи застосування методу, починаючи від проведення обсервації та введення отриманих координат, через розрахунок внутрішніх кутів швидкісного трикутника та визначення кута нишпорення, до обчислення істинного курсу судна для наступної ділянки шляху. Особлива увага буде приділена аналізу переваг запропонованого методу порівняно з існуючими підходами, включаючи його високу обчислювальну ефективність, гнучкість та можливість інтеграції в сучасні навігаційні системи.

Цей метод не лише забезпечує точне визначення місцезнаходження судна та оптимальне коригування його курсу, але й відкриває нові можливості для підвищення безпеки мореплавства, особливо в складних погодних умовах та при виконанні складних маневрів. Його впровадження має потенціал значно вплинути на якість та надійність морських перевезень, що робить дане дослідження актуальним та важливим для розвитку морської галузі в цілому.

Після того, як судно завершило прохід чергової годинної ділянки маршруту, необхідно звірити його фактичне місцезнаходження з розрахунковими даними за допомогою обсервації. Зібрана під час обсервації інформація дозволить відкоригувати параметри руху для подальшого переходу на наступну ділянку

шляху. Для цього проведемо розрахунок $V_{ш(о)}$ та $V_{з(о)}$ та введемо координати φ_o , λ_o після проведення першої обсервації

$$|\overline{V_{ш(о)}}| = \sqrt{(\varphi_o - \varphi_{ш(1)})^2 + (\lambda_o - \lambda_{ш(1)})^2}, \quad (4.1)$$

$$|\overline{V_{з(о)}}| = \sqrt{(\varphi_o - \varphi_{з(2)})^2 + (\lambda_o - \lambda_{з(2)})^2}. \quad (4.2)$$

Після введення координат, отриманих під час обсервації, та розрахунку $V_{ш(о)}$ і $V_{з(о)}$, можна перейти до визначення внутрішніх кутів швидкісного трикутника, побудованого за даними обсервації. Ці кути необхідні для коригування курсу судна на наступній ділянці переходу з урахуванням фактичного впливу збурюючих факторів. Проведемо розрахунок внутрішніх кутів трикутника, отриманих в результаті обсервації:

$$\begin{aligned} \alpha_o &= \arccos \left(\left(|\overline{V_c}|^2 + |\overline{V_{ш(о)}}|^2 - |\overline{V_{з(о)}}|^2 \right) / 2 |\overline{V_c}| |\overline{V_{ш(о)}}| \right), \\ \beta_o &= \arccos \left(\left(|\overline{V_c}|^2 + |\overline{V_{з(о)}}|^2 - |\overline{V_{ш(о)}}|^2 \right) / 2 |\overline{V_c}| |\overline{V_{з(о)}}| \right), \\ \gamma_o &= 180 - \beta_o - \alpha_o. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Після розрахунку внутрішніх кутів швидкісного трикутника за даними обсервації, необхідно визначити кут нишпорення судна. Цей кут відображає відхилення дійсного напрямку руху судна від заданого курсу внаслідок дії внутрішніх та зовнішніх збурюючих факторів. Правильне визначення кута нишпорення є важливим для коригування курсу на наступній ділянці переходу з метою утримання судна на запланованій траєкторії руху. Визначаємо кут нишпорення:

$$p = \alpha_o - \alpha \quad (4.4)$$

При переході на наступну ділянку шляху визначаємо істинний курс судна

$$K_{IK(C_2)} = K_{IK(C_1)} - 2p \quad (4.5)$$

Для знаходження кута $V_{C(2)}OV_{C(3)}$ необхідно визначити кут між N (нордом) та вектором обсервованого збурення $V_{C(2)}O$.

$$\angle N = \operatorname{arccot} \left(\left| \varphi_{V_{C(2)}} - \varphi_o \right| / \left| \lambda_{V_{C(2)}} - \lambda_o \right| \right),$$

Представлений у роботі метод комплексного зчислення траєкторії руху судна має низку істотних переваг порівняно з існуючими підходами. По-перше, він системно враховує вплив різноманітних зовнішніх факторів, таких як вітер, течії, хвилювання, замість спрощених припущень. Це дозволяє більш адекватно моделювати реальні умови плавання і підвищує точність визначення місцезнаходження судна.

Одним з ключових факторів високої ефективності методу є використання паралельного обчислення складових шляхового вектору швидкості, що забезпечує значно вищу обчислювальну швидкість порівняно з послідовними алгоритмами. Це є критично важливим для можливості оперативного коригування курсу в режимі реального часу.

Поєднання аналітичних розрахунків з геометричними побудовами на основі швидкісних трикутників надає методу наочності та підвищує точність визначення кутів, модулів векторів і координат траєкторії. Графічна інтерпретація додатково полегшує розуміння і візуалізацію процесу судноводіння.

Метод є гнучким завдяки введенню векторів збурень та корекції швидкості за емпіричними формулами відповідно до мінливих факторів морського середовища. При цьому для розрахунків потрібен мінімум вхідних даних, які можливо виміряти чи спостерігати в реальних умовах плавання, таких як швидкість і напрямок вітру, течії, хвилювання.

Важливою перевагою представленого підходу є можливість точного обчислення вітрового дрейфу та кутів відхилення від курсу для безпечного проведення маневрів і портових операцій в екстремальних погодних умовах.

На відміну від одноразового задання курсу, запропонований метод реалізує координатний підхід з поетапними ітераціями, забезпечуючи постійний моніторинг траєкторії та її коригування за результатами обсервації наприкінці кожного відрізка шляху.

Загалом, розроблений метод є високоефективним, гнучким і масштабованим рішенням, орієнтованим на автоматизацію та інтеграцію в сучасні навігаційні

системи судноплавства. Його впровадження здатне суттєво підвищити точність, надійність та безпеку морських перевезень.

4.1.4 Висновки по другій допоміжній задачі

Запропонований метод комплексного зчислення траєкторії руху судна демонструє значні переваги порівняно з традиційними підходами, забезпечуючи більш точне моделювання реальних умов плавання та підвищуючи точність визначення місцезнаходження судна.

Використання паралельного обчислення складових шляхового вектору швидкості суттєво підвищує обчислювальну ефективність методу, що є критично важливим для оперативного коригування курсу в режимі реального часу.

Поєднання аналітичних розрахунків з геометричними побудовами на основі швидкісних трикутників підвищує точність визначення навігаційних параметрів та полегшує візуалізацію процесу судноводіння.

Гнучкість методу забезпечується введенням векторів збурень та корекцією швидкості за емпіричними формулами, що дозволяє адаптуватися до мінливих факторів морського середовища при мінімальних вхідних даних.

Метод дозволяє точно обчислювати вітровий дрейф та кути відхилення від курсу, що є особливо важливим для безпечного маневрування в екстремальних погодних умовах.

Реалізація координатного підходу з поетапними ітераціями забезпечує постійний моніторинг траєкторії та її коригування, що підвищує загальну точність навігації.

Впровадження розробленого методу має потенціал для суттєвого підвищення точності, надійності та безпеки морських перевезень, а також для інтеграції в сучасні автоматизовані навігаційні системи.

Метод відповідає вимогам міжнародних морських конвенцій та стандартів, зокрема SOLAS, ПДНВ та резолюціям ІМО, що підкреслює його практичну значущість та відповідність сучасним вимогам морської галузі.

4.2 Дослідження руху судна при зміні його швидкості

Безпечна та ефективна навігація морських суден потребує ретельного обліку безлічі факторів, одним із ключових з яких є вплив зовнішніх сил, що викликають знесення судна щодо заданого курсу. Феномен зносу дрейфом є відхилення фактичної траєкторії руху судна від спочатку заданого курсу внаслідок впливу вітру і морських течій на корпус судна [148]. Відповідно до визнаних праць з лоції та судноводіння, коректний облік цього явища є необхідною умовою успішної навігації [100, 103].

Протягом багатьох років для компенсації зносу дрейфом використовувалися різні методи, такі як візуальні спостереження та застосування спеціалізованих навігаційних приладів [116]. Однак із удосконаленням технологій ці традиційні підходи були доповнені більш точними способами розрахунку величини та напрямки зносу.

Еволюція методів контролю швидкості морської навігації пройшла довгий шлях від примітивних методів до сучасних високотехнологічних рішень. На початку мореплавання капітани суден покладалися виключно на візуальні спостереження та власні навички для підтримки курсу та швидкості. Примітивні навігаційні прилади, такі як компаси та секстанти, були єдиними доступними інструментами для визначення положення судна та коригування його курсу [47].

У XIX столітті з розвитком парусного флоту та появою перших пароплавів почався активний розвиток механічних навігаційних приладів. З'явилися точніші компаси, хронометри та інші інструменти, які дозволяли краще враховувати вплив вітру та течій на рух судна. Однак методи розрахунку оптимальної швидкості залишалися досить примітивними і вимагали значного досвіду та інтуїції капітанів.

З середини XX століття, з появою радіонавігаційних систем, таких як LORAN та Десса, капітани отримали можливість точніше визначати своє місце розташування та враховувати зовнішні впливи. Ці системи дозволяли судноводіям точніше розраховувати необхідну швидкість і курс компенсації зносу, викликаного вітром і течіями.

З розвитком супутникових технологій наприкінці XX століття та запровадженням систем глобального позиціонування (GPS), методи контролю швидкості та курсу судів значно вдосконалилися. Сучасні системи навігації, такі як GPS та AIS (Automatic Identification System), дозволяють у реальному часі відстежувати місцезнаходження судна з високою точністю та враховувати вплив різних зовнішніх факторів. Це відкрило нові можливості для більш точного розрахунку змінної швидкості та оптимального курсу руху.

В останні десятиліття активно розвиваються автоматизовані системи управління рухом суден, які дозволяють мінімізувати вплив людського фактора та підвищити безпеку мореплавання. Ці системи використовують складні алгоритми для розрахунку оптимальної швидкості та курсу, враховуючи безліч параметрів, таких як погодні умови, поточні та прогнозовані течії, а також інші навігаційні дані [109].

Історичний розвиток методів контролю швидкості суден від примітивних до сучасних високотехнологічних рішень показує, наскільки важливим є цей аспект навігації для забезпечення безпеки та ефективності морських перевезень. Сучасні технології дозволяють значно підвищити точність розрахунків та мінімізувати ризики, пов'язані з неправильним вибором швидкості та курсу.

Сучасні методи та технології контролю змінної швидкості суден значно покращили безпеку та ефективність морської навігації. Ці технології дозволяють капітанам та операторам судів більш точно враховувати зовнішні умови та коригувати курс та швидкість для досягнення оптимальних результатів.

Глобальна система позиціонування (GPS)

Система глобального позиціонування є основою сучасних навігаційних технологій. Вона дозволяє судноводіям отримувати точні дані про місцезнаходження судна у реальному часі. GPS забезпечує високу точність визначення координат, що дуже важливо для розрахунку оптимального курсу та швидкості. У поєднанні з іншими навігаційними системами, такими як Galileo та GPS надає комплексну та надійну інформацію про положення судна.

Автоматична ідентифікаційна система (AIS)

Автоматична ідентифікаційна система (AIS) дозволяє судам обмінюватися даними про своє місцезнаходження, швидкість і курс з іншими судами та береговими службами. Це значно підвищує безпеку навігації, особливо у зонах з інтенсивним судноплавством. AIS надає інформацію, необхідну для коригування швидкості та курсу судна з урахуванням рухів інших суден та запобігання зіткненням.

Прогнозування погоди та течій

Сучасні системи прогнозування погоди та течій відіграють ключову роль в управлінні змінною швидкістю суден. Метеорологічні послуги надають дані про поточні та прогнозовані погодні умови, такі як вітер, опади та температура. Прогнози течій дозволяють враховувати їхній вплив на рух судна. Використання цих даних допомагає капітанам вибирати оптимальну швидкість для мінімізації часу в дорозі та витрати палива [103].

Комп'ютерні системи управління рухом

Сучасні судна оснащені комп'ютерними системами управління рухом, які дозволяють автоматизувати процес розрахунку курсу та швидкості. Ці системи використовують складні алгоритми та враховують безліч факторів, таких як вага та вантажопідйомність судна, поточні та прогнозовані погодні умови, а також наявність інших суден у районі. Автоматизація дозволяє знизити вплив людського фактора та підвищити точність та безпеку навігації [118].

Інтеграція навігаційних систем

Сучасні судна оснащені інтегрованими навігаційними системами, які поєднують дані з різних джерел, таких як GPS, AIS, радары та ехолоти. Ці системи надають капітанам комплексну картину поточної навігаційної ситуації та допомагають приймати більш обґрунтовані рішення щодо швидкості та курсу судна. Інтеграція даних дозволяє більш точно враховувати вплив зовнішніх факторів та коригувати змінну швидкість для досягнення оптимального результату [69].

Неправильний вибір швидкості руху судна для компенсації зносу дрейфом може мати катастрофічні наслідки та призвести до серйозних аварій, як показують результати численних розслідувань морських інцидентів.

У звіті Транспортного агентства Нідерландів про втрату управління контейнеровозом *Portunus* у 2019 році зазначається, що надмірно висока швидкість не дозволила судну ефективно компенсувати поздовжнє та бічне знесення у штормових умовах, що призвело до небезпечного дрейфу та ризику посадки на мілину [76].

Згідно з остаточним звітом Корейського агентства з розслідування морських інцидентів, однією з ключових причин катастрофи круїзного лайнера *Sewol* у 2014 році, яка забрала життя майже 300 осіб, була занадто низька швидкість судна в умовах сильної течії та хвилювання, що не дозволило подолати потужне бокове знесення [108].

Під час бурі в Ла-Манші в 1987 році ролкер *Townsend Thoresen* втратив управління і отримав серйозні ушкодження, оскільки, як встановило незалежне розслідування, капітан судна неправильно розрахував величину зносу і не вибрав оптимальну швидкість його компенсації в екстремальних погодних умовах [106].

У звіті Британського агентства з розслідування морських аварій зазначено, що однією з основних причин зіткнення порома *Baltic Ace* з контейнеровозом *Cypress* в Ла-Манші в 2008 році, яке забрало життя 11 моряків, стало невірне визначення швидкості, необхідної для подолання зносу від сильного південного вітру. серйозно скомпрометувало керування порома [105].

Інцидент зі зіткненням круїзного судна *Norwegian Dawn* з причалом у Бостоні в 2005 році, що завдав багатомільйонних збитків, згідно з аналізом *Maritime Injury Guide*, стався через помилку у виборі швидкості при компенсації бічного зносу [107].

Остаточний звіт Іспанської комісії з надзвичайних ситуацій на морі вказує, що катастрофа танкера *Prestige* у 2002 році, яка стала однією з найбільших екологічних катастроф в історії, була частково спричинена неправильним вибором швидкості в умовах шторму, що призвело до втрати керування та

розлому судна через надмірну навантаження на корпус при спробі компенсувати знос на високій швидкості [59].

Аналіз аварій показує, наскільки важливим є правильний вибір швидкості та курсу для забезпечення безпеки мореплавання. Аналіз помилок, допущених у кожному з цих випадків, дозволяє виділити кілька ключових уроків:

1. Облік усіх зовнішніх факторів: вітер, течія та погодні умови повинні бути завжди враховані під час планування маршруту та вибору швидкості судна.

2. Використання сучасних технологій: сучасні навігаційні системи та інструменти дозволяють отримувати точні дані про зовнішні умови та коригувати курс та швидкість у реальному часі.

3. Навчання та підготовка екіпажу: екіпаж судна повинен мати необхідні знання та навички для ефективного використання навігаційних систем та прийняття правильних рішень у складних умовах.

4. Постійний моніторинг та коригування: постійний моніторинг поточних умов та коригування курсу та швидкості в реальному часі дозволяють мінімізувати ризики відхилень від маршруту та аварій.

Ці та багато інших авторитетних розслідувань наочно демонструють, наскільки важливо правильно визначати необхідну швидкість судна для подолання зносу відповідно до фактичних обставин плавання. Неправильний вибір швидкості може повністю позбавити екіпаж контролю за судном, створивши пряму загрозу безпеці мореплавання.

4.2.1 Математичні та обчислювальні методи для оптимізації швидкості та курсу судна

Для оптимізації швидкості та курсу судна використовуються різні математичні та обчислювальні методи, що включають моделювання, алгоритми оптимізації та чисельні методи. Основні цілі таких методів включають мінімізацію паливних витрат, зниження викидів, забезпечення безпеки та скорочення часу в дорозі. Розглянемо кілька ключових підходів.

Моделювання опору та потужності судна

Основою для розрахунку оптимальної швидкості судна є моделювання опору води та потужності двигуна. Опір води можна описати наступним рівнянням:

$$R = R_f + R_w, \quad (4.11)$$

де R – загальний опір, R_f – опір тертя, R_w – хвильовий опір.

Потужність двигуна P можна виразити через швидкість судна V :

$$P = kV^3, \quad (4.12)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від характеристик судна та двигуна [132].

Оптимізація маршруту з урахуванням погодних умов

Оптимізація маршруту судна часто виконується з урахуванням поточних та прогнозованих погодних умов. Для цього використовуються методи, такі як генетичні алгоритми (GA), які дозволяють мінімізувати паливні витрати з огляду на змінні погодні умови:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i(V_i, W_i), \quad (4.13)$$

де F – загальні паливні витрати, f_i – паливні витрати на i -ій ділянці шляху, V_i – швидкість на i -му ділянці, W_i – погодні умови на i -ій ділянці [153].

Алгоритми оптимізації маршрутів

Серед методів оптимізації маршрутів виділяються алгоритми Дейкстри та A-*, які використовують мережеві моделі для знаходження найкоротших шляхів. Ці методи можуть бути адаптовані для обліку швидкості судна на різних ділянках маршруту:

$$T_{ij} = d_{ij} / V_{ij}, \quad (4.14)$$

де T_{ij} – час проходження ділянки між точками i і j , d_{ij} – відстань між цими точками, V_{ij} – швидкість на цій ділянці.

Розглянемо приклад розрахунку оптимальної швидкості маршруту судна. Припустимо, що у нас є дані про опір судна та характеристики двигуна. Модель потужності двигуна може бути описана наступним рівнянням:

$$P = \eta V^3, \quad (4.15)$$

де η – коефіцієнт ефективності двигуна. Оптимізація швидкості на кожній ділянці шляху може бути виконана за допомогою генетичного алгоритму, який мінімізує такі витрати палива:

$$F = \sum_{i=1}^n ((P_i / V_i) t_i), \quad (4.16)$$

де t_i – час проходження i -ї ділянки шляху.

Розширені методи розрахунку оптимальної швидкості та курсу судна

Математична модель та рівняння оптимізації. Оптимізація маршруту судна включає математичне моделювання, яке використовує різні рівняння для розрахунку оптимальних швидкостей і курсів. Одним із таких методів є використання рівнянь лінійного програмування, які дозволяють мінімізувати паливні витрати за дотримання обмежень за часом прибуття.

Для моделі швидкості можна використовувати такі рівняння:

$$F_{cons} = f(V, \theta, W) \quad (4.17)$$

де: F_{cons} – витрата палива, V – швидкість судна, θ – курс судна, W – метеоумови (наприклад, швидкість та напрям вітру).

- Алгоритм A^* . Алгоритм A^* використовується для оптимізації маршруту, враховуючи швидкість та курс судна. Цей алгоритм будує граф, де вершини репрезентують можливі позиції судна, а ребра – можливі переходи з урахуванням швидкості та курсу. Вартість переходу включає в себе оцінку часу та палива:

$$g(n) = g(n-1) + C(n-1, n) \quad (4.18)$$

де $g(n)$ – вартість шляху до вузла n , а $C(n-1, n)$ – вартість переходу між вузлами.

4.3 Розробка алгоритму оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті

4.3.1 Використання генетичного алгоритму для глобальної оптимізації маршруту

Використання генетичного алгоритму для глобальної оптимізації маршруту дозволяє враховувати багатовимірні обмеження та цілі, такі як мінімізація палива та часу, а також уникнення небезпечних метеоумов.

Модель генетичного алгоритму включає:

- початкове нанесення маршрутів;
- фітнес-функцію, що оцінює кожен маршрут за витратами палива та часу;
- операції схрещування та мутації для створення нових маршрутів;
- процедури відбору для збереження найкращих рішень.

Приклад розрахунку оптимального маршруту. Дослідження, проведене на маршруті з Тайваню до Лос-Анджелесу, показало, що оптимізований маршрут (червона лінія) заощаджує близько 130,93 тонн палива (7,25 %) порівняно з історичним маршрутом, збільшуючи час подорожі всього на 4.35 годин (1,08 %) [154, 101].

4.3.2 Метаевристичні алгоритми

Метаевристичні алгоритми, такі як генетичний алгоритм (GA), оптимізація роєм частинок (PSO) та алгоритм мурашиної колонії (ACO), широко використовуються для вирішення складних завдань оптимізації маршруту та швидкості судна. Ці алгоритми є ефективними для пошуку глобальних оптимумів у багатовимірних просторах рішень.

Приклад генетичного алгоритму:

- ініціалізація початкової популяції маршрутів;
- оцінка фітнес-функцій для кожного маршруту;
- застосування операторів схрещування та мутації для створення нових маршрутів;
- відбір найкращих маршрутів для наступної ітерації.

Фітнес-функція може включати витрати палива, час у дорозі та ризик зіткнення з несприятливими погодними умовами.

4.3.3 Комбінована оптимізація швидкості та маршруту

Комбіновані методи оптимізації одночасно враховують швидкість та маршрут судна для досягнення найкращого балансу між паливною ефективністю та часом у дорозі. Ці методи можуть використовувати як дискретні, і безперервні підходи до оптимізації.

Рівняння для комбінованої оптимізації:

$$Z = \min_{V, \theta} \left(\sum_{i=1}^n F_i(V_i, \theta_i) + \lambda T \right), \quad (4.20)$$

де Z – цільова функція, F_i – паливні витрати на i -му ділянці, θ_i – курс на i -му ділянці, λ – ваговий коефіцієнт для часу T .

4.3.4 Оптимізація на основі нейронних мереж

Використання штучних нейронних мереж (ANN) для прогнозування витрати палива та оптимізації швидкості судна є одним із сучасних підходів. ANN навчаються на даних про минулий маршрут, погодні умови та експлуатаційні параметри судна для точного прогнозування витрати палива.

Модель ANN може бути представлена таким чином:

$$F_{pred} = f(V, \theta, W, H), \quad (4.21)$$

де F_{pred} – прогнозована витрата палива, V – швидкість судна, θ – курс судна, W – погодні умови, H – гідрологічні умови.

4.3.5 Метод прогнозування на основі часових рядів

Цей метод використовує аналіз часових рядів для прогнозування зміни погодних умов і, отже, коригування швидкості та курсу судна. Тимчасові ряди дозволяють враховувати сезонні коливання та тенденції, що робить прогноз точнішим.

Приклад моделі часових рядів:

$$X(t) = \alpha X(t-1) + \beta Y(t-1) + \gamma \quad (4.22)$$

де $X(t)$ – прогнозоване значення на момент часу t , $Y(t-1)$ – значення погодніх параметра на момент часу $t-1$, α, β, γ – коефіцієнти моделі.

4.3.6 Методика векторних швидкісних трикутників для оптимізації швидкості судна

Метод векторних швидкісних трикутників (Vector Speed Triangles) використовується для оптимізації швидкості та курсу судна, особливо в умовах вітру та течії. Цей метод дозволяє графічно та аналітично визначити оптимальний курс та швидкість, мінімізуючи вплив зовнішніх сил.

Основні принципи застосування методу такі.

Вектор швидкісного трикутника включає три компоненти:

- швидкість судна щодо води (V_s);
- швидкість течії (V_c);
- швидкість судна щодо землі (V_g).

Ці вектори формують трикутник швидкостей: $V_g = V_s + V_c$.

Оптимізація курсу та швидкості судна включає наступні кроки:

Крок 1. Визначення параметрів течії: обчислення швидкості та напрямку течії (V_c).

Крок 2. Побудова трикутника швидкостей: використання векторів для побудови трикутника швидкостей.

Крок 3. Аналіз оптимального курсу: Визначення курсу, у якому досягається мінімальний опір чи оптимальне використання течії.

Крок 4. Обчислення оптимальної швидкості: Визначення швидкості судна (V_s), за якої досягається найкраще співвідношення між енерговитратами та часом у дорозі.

Приклади та застосування векторного методу:

Приклад 1: Оптимізація за умов попутного перебігу хвиль.

При побіжному перебігу хвиль судно може рухатися швидше щодо землі, використовуючи менше палива. У цьому випадку важливо налаштувати курс так,

щоб максимально використовувати попутний перебіг, мінімізуючи відхилення від цільового спрямування.

Приклад 2: Оптимізація в умовах бічної течії

У разі бокової течії важливо скоригувати курс таким чином, щоб компенсувати зсув, викликаний перебігом, зберігаючи при цьому оптимальну швидкість.

Метод векторних швидкісних трикутників застосовується для:

- розробка навігаційних систем;
- оптимізація маршрутів в умовах змінних течій та вітрів;
- підвищення паливної ефективності суден;
- навчання навігаційного персоналу.

Метод векторних швидкісних трикутників є потужним інструментом для навігаційної оптимізації, дозволяючи враховувати зовнішні фактори та точно розраховувати курс та швидкість судна. Цей метод використовується у поєднанні з іншими алгоритмами та моделями для досягнення максимальної ефективності у морських перевезеннях.

Фундаментальним аспектом забезпечення безпеки мореплавання є точне визначення курсу та швидкості судна для компенсації його зносу від впливу зовнішніх факторів, таких як вітер, морські течії та хвилювання. Численні авторитетні розслідування аварійних інцидентів на морі переконливо демонструють, що неправильний вибір цих параметрів може призвести до втрати керованості суден і, як наслідок, катастрофічних наслідків з людськими жертвами та екологічними збитками. Ця критична проблематика зумовлює необхідність розробки науково обґрунтованих та валідованих методів навігаційних розрахунків.

З метою вирішення головного завдання, нами був розроблений новий метод визначення необхідних коригувань курсу та швидкості для компенсації зносу судна. Він базується на побудові та аналізі векторних трикутників з використанням даних спостережень за попередній астрономічний час. Цей підхід передбачає векторне подання сил, що впливають на рух судна, а саме напрямків і

модулів вітру, течії, курсу та швидкості самого судна. Шляхом геометричних побудов та математичних розрахунків з використанням цих векторних величин можна визначити оптимальні параметри руху для успішного проведення переходу в конкретних умовах плавання.

Деталізований розгляд усіх етапів розробленого методу має вирішальне значення для оволодіння судноводіями необхідними компетенціями в галузі навігаційних обчислень та керування рухом суден [46]. Першим кроком даного підходу є визначення відстані між поточною обсервованою точкою та наступною шляховою точкою запланованого маршруту (рис. 4.2):

Крок 1. Знайдемо відстань між обсервованою точкою та наступною шляховою точкою:

$$V_{w(2)} = \sqrt{(\lambda_{V_{w(3)}} - \lambda_o)^2 + (\varphi_{V_{w(3)}} - \varphi_o)^2}; \quad (4.23)$$

Крок 2. Використовуючи метод зсуву, виконаємо паралельне перенесення обсервованого вектору збурення. Знайдемо вектор зсуву між початковою та кінцевою точками вектору. Для цього віднімемо координати початкової точки з координат кінцевої точки:

Вектор зсуву $S = (\text{Кінцева точка} - \text{Початкова точка})$

$$S = (\lambda_{V_{C(1)}} - \lambda_o); (\varphi_{V_{C(1)}} - \varphi_o); \quad (4.24)$$

Крок 3. Тепер додаємо вектор зсуву до нової точки ($V_{w(2)}$), з якої ми хочемо, щоб вектор виходив. Новий кінець вектору дорівнюватиме:

Новий кінець вектору = Нова точка + S

$$V_{C(3)} = V_{w(2)} + S \quad (4.25)$$

Крок 4. Знайдемо відстань між обсервованою точкою та точкою $V_{C(3)}$:

$$V_{C(3)} = \sqrt{(\lambda_{V_{C(3)}} - \lambda_o)^2 + (\varphi_{V_{C(3)}} - \varphi_o)^2}; \quad (4.26)$$

Крок 5. Розрахуємо внутрішні кути трикутника:

$$\begin{aligned} \alpha &= \arccos(V_{w(2)}^2 + V_{C(2)}^2 - V_{3(2)}^2 / 2 \cdot V_{w(2)} \cdot V_{C(2)}) \\ \beta &= \arccos(V_{w(2)}^2 + V_{3(2)}^2 - V_{C(2)}^2 / 2 \cdot V_{w(2)} \cdot V_{3(2)}) \\ \gamma &= 180 - \beta - \alpha. \end{aligned} \quad (4.27)$$

Крок 6. Розрахуємо істинний курс:

$$K_{IK} = K_{III} - \alpha \quad (4.28)$$

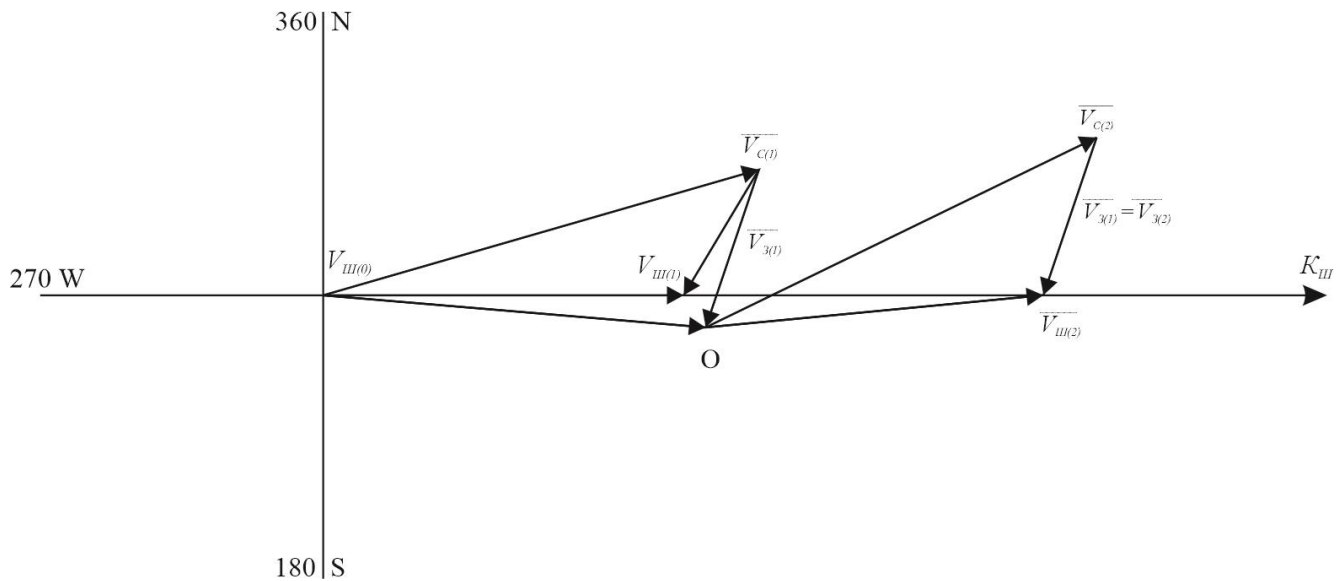


Рисунок 4.2 – Графічне відображення процесу повернення матеріальної точки на лінію маршруту збільшенням V_C

Забезпечення безпечного судноплавства вимагає точного визначення параметрів руху для компенсації зносу суден від впливу зовнішніх факторів, як підтверджують численні аварії з тяжкими наслідками через неправильні розрахунки. Запропонований автором новий метод має низку істотних переваг порівняно з існуючими підходами. По-перше, він ґрунтується на чіткому векторному поданні всіх дієвих сил, включно з вітром, течіями, курсом і швидкістю судна, що забезпечує високу точність обчислень. По-друге, метод передбачає зручні графічні побудови векторних трикутників та чіткі математичні розрахунки, роблячи його максимально наочним та зрозумілим для судноводіїв. По-третє, врахування повного спектру спостережних даних за попередній астрономічний час дозволяє точно визначити оптимальні коригування курсу та швидкості для конкретних умов плавання. Ретельне опанування цього науково обґрунтованого й валідованого методу судноводіями різних рівнів кваліфікації є критично важливим для підвищення безпеки мореплавання шляхом мінімізації ризиків втрати керованості через неправильну компенсацію зносу дрейфом [15].

Ще одна вагома перевага запропонованого методу - його потенціал для подальшого вдосконалення та розширення функціоналу. Фундаментальна векторна основа та чітка математична формалізація відкривають можливості для інтеграції додаткових факторів впливу, уточнення розрахункових моделей, автоматизації обчислень тощо. Це дозволить у перспективі підвищити точність визначення навігаційних параметрів і ще більше мінімізувати ризики помилок при компенсації зносу.

Також варто відзначити високий освітній потенціал методики. Її покрокова структура, наочність побудов та зрозумілий математичний апарат роблять її ідеальним навчальним інструментом для підготовки судноводіїв. Опанування такого науково обґрунтованого підходу сприяє формуванню у курсантів глибоких компетенцій у сфері навігаційних розрахунків.

Запропонований метод визначення параметрів для компенсації зносу дрейфом відзначається високою точністю, універсальністю, гнучкістю, адаптивністю до мінливих умов, потенціалом вдосконалення та ефективністю для навчання судноводіїв. Ці численні переваги роблять його потужним сучасним інструментом підвищення безпеки мореплавання.

Коригування швидкості судна після обсервації є фундаментальним аспектом сучасної морської навігації, що має критичне значення для забезпечення безпеки мореплавства, оптимізації експлуатаційних характеристик суден та підвищення ефективності морських перевезень. Цей процес базується на складній взаємодії різноманітних факторів, включаючи гідродинамічні, метеорологічні, технічні та людські аспекти. Теоретичне обґрунтування необхідності коригування швидкості випливає з основних принципів навігації та фізики руху тіл у водному середовищі. Рух судна в морі визначається балансом сил, що діють на нього, включаючи тягу двигунів, опір води, вплив вітру та течій. Обсервація дозволяє визначити фактичне положення судна, яке може відрізнятися від розрахункового через вплив зовнішніх факторів. Саме тому коригування швидкості після обсервації є ключовим елементом у підтримці точного курсу та забезпеченні безпеки плавання.

Методологія коригування включає проведення обсервації, порівняння фактичного положення з розрахунковим, визначення величини та напрямку зносу, розрахунок необхідної корекції швидкості та курсу, а також внесення відповідних змін у параметри руху судна. На необхідність коригування впливають численні фактори, такі як сила та напрямок вітру, швидкість та напрямок морських течій, стан моря, глибина води, особливості рельєфу дна, зміни у завантаженні судна та його технічний стан. Сучасні технології, включаючи GPS та інтегровані навігаційні комплекси, значно полегшують процес обсервації та розрахунку необхідних коригувань. Автоматизовані системи управління рухом судна можуть в режимі реального часу вносити корективи у швидкість та курс на основі даних обсервації.

Точне коригування швидкості має критичне значення для запобігання зіткненням з іншими суднами, уникнення навігаційних небезпек, дотримання графіку руху та забезпечення стабільності судна в різних погодних умовах. З економічної точки зору, правильне коригування швидкості впливає на оптимізацію витрат палива, зменшення зносу обладнання, дотримання контрактних термінів доставки вантажів та загальну ефективність експлуатації судна. Екологічні аспекти включають зменшення викидів парникових газів, мінімізацію впливу на морські екосистеми та відповідність міжнародним екологічним стандартам. Правові аспекти цього питання регулюються міжнародними конвенціями та національними законодавствами, які вимагають від судноводіїв забезпечення безпеки мореплавства, що включає точне визначення місцеположення та коригування параметрів руху судна. З психологічної точки зору, вміння правильно коригувати швидкість судна є важливою складовою професійної компетентності судноводія, що впливає на впевненість екіпажу у безпеці плавання та загальний психологічний клімат на борту. Розвиток навичок точного коригування швидкості є важливою частиною підготовки морських фахівців, що включає як теоретичну підготовку, так і практичні тренування на симуляторах та в реальних умовах. Історичний аналіз морських катастроф, таких як випадки з Sewol, Baltic Ace та Prestige, демонструє, як неправильне визначення

або коригування швидкості може призвести до трагічних наслідків. Майбутні технології, такі як автономні судна та вдосконалені системи штучного інтелекту, можуть революціонізувати процес коригування швидкості, роблячи його більш точним та ефективним. Вдосконалення методів коригування швидкості вимагає міждисциплінарного підходу та співпраці фахівців з різних галузей, включаючи навігацію, гідродинаміку, метеорологію та інформаційні технології. Глобальні виклики, такі як зміни клімату та пов'язані з ними екстремальні погодні явища, підвищують важливість точного коригування швидкості для адаптації до мінливих умов навколишнього середовища.

Таким чином, коригування швидкості судна після обсервації є комплексним процесом, який має критичне значення для безпеки мореплавства, економічної ефективності та екологічної відповідальності морських перевезень, вимагаючи постійної уваги, вдосконалення методів та технологій, а також підвищення кваліфікації морських фахівців.

Продовжуючи аналіз переваг запропонованого методу визначення необхідних коригувань курсу та швидкості для компенсації зносу дрейфом, варто наголосити на його відповідності актуальним тенденціям розвитку морської галузі. В умовах стрімкої діджиталізації та впровадження інноваційних технологій у судноплаванні, науково обґрунтовані розрахункові підходи на основі точних математичних моделей стають все більш затребуваними. Метод векторного аналізу та побудови трикутників дозволяє найбільш повно врахувати численні фактори, що впливають на рух судна, вносити необхідні корективи в режимі реального часу та мінімізувати вплив людського чинника при прийнятті навігаційних рішень.

Водночас, класичний геометричний інструментарій методу не виключає можливості його подальшої автоматизації та інтеграції у перспективні системи допоміжного судноводіння, засновані на штучному інтелекті, машинному навчанні, обробці великих даних тощо. Завдяки цьому можна буде не лише оптимізувати навігаційні розрахунки, але й забезпечити ефективну візуалізацію та інтерпретацію результатів для судноводіїв.

Важливим аспектом є також відкритість методу до багатоваріантного вдосконалення та деталізації його складових. Наприклад, на основі даної методики можуть бути розроблені додаткові моделі для обліку тертя та гідродинамічного опору корпусу судна в різних погодних умовах, впливу хвилювання і вітрового тиску на надбудови, ефектів зміщення центру мас при перевезенні вантажів тощо. Таким чином, запропонований підхід формує надійну платформу для комплексного наукового опису та аналізу складної динаміки руху судна під впливом різноманітних зовнішніх і внутрішніх чинників.

Загалом, метод векторних трикутників являє собою сучасний та перспективний науково-прикладний інструмент, розвиток якого відповідає тенденціям діджиталізації та підвищення рівня автоматизації процесів навігації. Його системна інтеграція в освітні програми та практичну діяльність судноводіїв здатна вивести забезпечення безпеки мореплавства на якісно новий рівень.

4.4 Висновки до четвертого розділу

1. Проблема точного визначення курсу та швидкості судна для компенсації зносу від зовнішніх факторів є критично важливою для забезпечення безпеки мореплавства. Численні авторитетні розслідування морських інцидентів підтверджують, що неправильний вибір цих параметрів може призвести до катастрофічних наслідків.

2. Запропонований метод визначення необхідних коригувань курсу та швидкості, заснований на побудові та аналізі векторних трикутників, демонструє ряд істотних переваг порівняно з існуючими підходами. Зокрема, він забезпечує високу точність обчислень завдяки чіткому векторному поданню всіх дієвих сил.

3. Методика відзначається наочністю та зрозумілістю для судноводіїв, що робить її ефективним інструментом як для практичного застосування, так і для навчання. Покрокова структура та зрозумілий математичний апарат сприяють формуванню глибоких компетенцій у сфері навігаційних розрахунків.

4. Фундаментальна векторна основа та чітка математична формалізація методу відкривають широкі можливості для його подальшого вдосконалення, включаючи інтеграцію додаткових факторів впливу, уточнення розрахункових моделей та автоматизацію обчислень.

5. Запропонований підхід відповідає сучасним тенденціям діджиталізації морської галузі та має потенціал для інтеграції з інноваційними технологіями, такими як системи допоміжного судноводіння на основі штучного інтелекту та обробки великих даних.

6. Метод демонструє високу адаптивність до мінливих умов плавання та універсальність застосування, що робить його потужним інструментом підвищення безпеки мореплавства в різноманітних навігаційних ситуаціях.

7. Системна інтеграція даного методу в освітні програми та практичну діяльність судноводіїв має потенціал для якісного підвищення рівня безпеки

морських перевезень та мінімізації ризиків, пов'язаних з людським фактором при прийнятті навігаційних рішень.

8. Коригування швидкості судна після обсервації є ключовим процесом у сучасній морській навігації, що забезпечує безпеку, оптимізацію експлуатаційних характеристик та підвищення ефективності морських перевезень. Цей метод дозволяє враховувати гідродинамічні, метеорологічні, технічні та людські фактори для підтримки точного курсу, мінімізації витрат палива та зменшення екологічного впливу. Використання сучасних технологій, таких як GPS та автоматизовані системи управління, дозволяє в режимі реального часу вносити корективи у швидкість та курс, забезпечуючи тим самим економічну та екологічну ефективність морських операцій.

Основні наукові результати, отримані у розділі 4, опубліковані у роботах [15, 47, 49].

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ РУХУ СУДНА НА ЗАДАНОМУ МАРШРУТІ

Спеціальні випробування є невід’ємною частиною підготовки судна до рейсу [70, 99]. Вони дозволяють перевірити роботу суднових механізмів в умовах, максимально наближених до експлуатаційних, та підтвердити їх надійність [83]. Існують різні види випробувань: швартовні, ходові, приймальні тощо [151].

Швартовні випробування проводяться на стоянці для оцінки роботи окремих механізмів перед виходом у рейс. Ходові випробування є найбільш інформативними, оскільки відбуваються в реальних умовах експлуатації.

Рекомендується починати ходові випробування не раніше ніж через 4-6 годин після початку рейсу, коли двигуни повністю прогріті. Випробування проводяться на експлуатаційних режимах у відкритому морі [104].

Зміна режимів роботи вимагає узгодження з капітаном та коригування програми. Відхилення від запланованого маршруту неприпустимі, коригування маршруту можливе лише на етапі планування під керівництвом капітана. Спеціальні випробування є важливим етапом перевірки працездатності суднових механізмів перед рейсом. Планування та безпека є ключовими аспектами їх проведення.

Експериментальні дослідження ефективності морських шляхів.

В теорії судноводіння ще не сформовані загальні принципи оптимізації морського шляху. Традиційно застосовуються два основні підходи: кінематичний та кінетичний [111].

Кінематичний принцип полягає в плануванні маршруту по ортодромії – найкоротшій лінії між пунктами призначення на земній поверхні. Проте така траєкторія може бути неоптимальною за часом, оскільки не враховує вплив течій, вітру, хвиль та інших факторів [129].

Кінетичний принцип базується на мінімізації витрат палива та оптимізації швидкості руху. Він дозволяє економити ресурси, але може збільшувати тривалість рейсу [126].

Запропоновано поєднання цих підходів на основі складних математичних моделей [102]. Проте такі моделі вимагають значних обчислювальних ресурсів. Альтернативою є використання евристичних алгоритмів, зокрема мурашиних, однак їх ефективність ще потребує перевірки [146].

Комплексного підходу до оптимізації руху судна на морському шляху на сьогодні не існує. Необхідні подальші дослідження для розробки універсальних принципів і методів, що враховуватимуть всі значущі фактори.

Відсутність уніфікованого підходу в теорії судноводіння призвела до різноманіття визначень швидкості судна [101, 128]. Виділяються чотири основні категорії швидкості: машинна, лаги, відносна і абсолютна [136].

Машинна швидкість визначається ефективністю роботи головних двигунів та гвинта, і вимірюється за допомогою тахометр. Швидкість лага вказує на рух судна відносно навколишньої води і вимірюється за допомогою лага.

Абсолютна швидкість є результатом руху судна відносно дна, при урахуванні всіх зовнішніх факторів.

Розмаїтість підходів у теорії судноводіння призвело до наявності різних визначень швидкості судна, ускладнюючи уніфікацію методів оптимальної стабілізації руху.

У звітних формах МЕХ-1 та МЕХ-2, що стосуються витрат пального під час рейсу, враховується «машинна» швидкість. Гідродинамічні розрахунки включають в себе відносну швидкість та швидкість лага, тоді як при прокладці маршруту та обчисленні шляху використовується абсолютна швидкість судна.

Важливо відзначити, що величина h_c характеризує внутрішні втрати і впливає на технічний стан судна. Цей вплив посилюється з погіршенням характеристик гідропротульсивного комплексу, таких як заростання корпусу та гвинта, а також зниження потужності на валу. Відносна швидкість судна враховує втрати максимальної «машинної» швидкості в залежності від гідродинамічного

режиму руху по маршруту. Аналітичний зв'язок між цими параметрами розглянуто та представлено в формулах Аертсена та ЦНІМФа.

Взаємозв'язок між абсолютною та відносною швидкістю руху визначається за допомогою правил векторної алгебри та властивостей лінійних і полярних трикутників.

В кінці минулого століття капітан дальнього плавання В.Г. Котельников провів перші експериментальні дослідження для визначення h_C та втрат відносної швидкості на основі путевих опор (зустрічні течії та вітер) та диферента на т/х «Слав'янськ» з валовою (GT) грузопідйомністю 12800/12700 тонн та швидкістю (машинною) в повному завантаженні 17,7/16,5 вузлів. Це пізніше послужило основою для розробки комплексної системи управління експлуатацією судна під науковим керівництвом доктора технічних наук, професора ОНМА А.Є. Потьомкіна, що призвело до отримання патенту на дану систему декільком авторам. Однак факт відносної постійності h_C був теоретично обґрунтований та експериментально підтверджений тільки для розробки рейсового завдання подібних суден.

В подальшому цю проблематику вивчали й інші науковці. Зокрема, дослідження у 2020-х роках представили підхід до прогнозування траєкторії суден на основі глибоких нейронних мереж, що враховує курс і дрейф судна [10, 64]. У 1990-х роках було розвинуто статистичні методи моделювання впливу погодних умов на рух суден, що знайшло відображення у численних дослідженнях, включаючи огляд методів прогнозування руху суден для інтелектуальної навігації. У 2000-х роках дослідники почали застосовувати нейронні мережі для комплексного визначення швидкості судна з урахуванням різних факторів, що було відображено у сучасних дослідженнях [119].

5.1 Постановка задачі оптимальної ефективності управління курсом судна

Проблема ефективного управління курсом судна залишається однією з ключових у сучасній навігації та судноводінні. Складність цього завдання

зумовлена багатфакторністю впливів на рух судна, включаючи як зовнішні гідрометеорологічні умови (вітер, хвилювання, течії), так і внутрішні характеристики судна (водотоннажність, форма корпусу, завантаження). Динамічна природа морського середовища в поєднанні з інерційністю судна як об'єкта управління створює суттєві труднощі для забезпечення точного дотримання заданого судноводієм маршруту [133].

Традиційні методи управління курсом, засновані на простих алгоритмах коригування, часто не забезпечують достатньої точності та ефективності, особливо в умовах сильних зовнішніх збурень. Це призводить до небажаних відхилень від оптимального маршруту, збільшення витрат палива і, як наслідок, до зниження економічної ефективності морських перевезень. Більш того, в складних навігаційних умовах неточності в управлінні курсом можуть створювати потенційні ризики для безпеки судна та екіпажу.

У світлі вищезазначеного, розробка і впровадження більш досконалих способів управління курсом судна викликають особливий інтерес. Зокрема, підходи, які здатні враховувати комплексний вплив зовнішніх факторів та оперативно коригувати рух судна з урахуванням поточної навігаційної обстановки, а також способи, засновані на принципах адаптивного управління і передбачають можливість підвищення точності утримання судна на заданому курсі за рахунок урахування й компенсації зовнішніх збурюючих впливів.

Для досягнення поставленої задачі було проведено натурний експеримент на контейнеровозі в реальних умовах океанського плавання. Вибір контейнеровоза зумовлений його репрезентативністю як типу судна, широко використовуваного в сучасному торговому флоті, а також його чутливістю до зовнішніх збурень через велику парусність.

Експериментальне дослідження було спрямоване на вирішення наступних завдань:

1. Практична реалізація алгоритму оптимальної стабілізації руху судна за збуренням в умовах реального плавання.

2. Збір та аналіз даних про параметри руху судна при використанні досліджуваного способу.

3. Оцінка ефективності сформованого алгоритму в порівнянні з традиційними підходами до управління курсом судна.

4. Виявлення можливих обмежень та областей застосовності методу.

Планується, що результати цього дослідження можуть зробити суттєвий внесок у розвиток теорії та практики управління судном, сприяючи підвищенню точності навігації та безпеки морських перевезень.

5.1.1 Процедура проведення експерименту

Протягом восьмиденного експерименту, проведеного на борту контейнеровоза «THALASSA HELLAS» під час регулярного рейсу за маршрутом Джідда – Порт Кланг, було зібрано та проаналізовано широкий спектр параметрів, що характеризують навігаційні умови та динамічні характеристики судна. Дані збиралися з фіксованими інтервалами часу, що дозволило детально відслідковувати зміни кожного з показників. Серед ключових параметрів, що були враховані, зазначаються: коефіцієнт загальної повноти судна, який відображає об'ємність його корпусу; осадка судна, що є критичним параметром для оцінки його плавучості та стійкості; площа вітрильності, яка впливає на вплив вітрових сил; курсовий кут вітру, що визначає взаємодію судна з навітряними умовами; швидкість вітру, яка є важливою для оцінки аеродинамічного навантаження; швидкість та напрямок течії, які впливають на маневрові характеристики судна; бали хвилювання і напрямок хвилювання, які впливають на стійкість та мореплавство; швидкість судна відносно води, яка є ключовою для оцінки його руху; довжина судна, курс судна та його координати, які є важливими для точного визначення місцезнаходження та орієнтації судна на маршруті. Систематичний збір цих даних дозволив створити комплексну модель взаємодії судна з зовнішніми умовами, що може бути використана для подальшого аналізу та оптимізації його експлуатаційних характеристик.

Процедура включала наступні етапи:

- калібрування та налаштування всього вимірювального обладнання;
- введення параметрів судна та початкове налаштування алгоритму управління курсом;
- послідовне використання традиційного способу управління курсом та досліджуваного способу на різних ділянках маршруту, кожен тривалістю не менше 6 годин;
- безперервний запис даних про параметри руху судна, зовнішніх умов та роботи системи управління;
- проведення контрольних обсервацій кожну годину для оцінки точності утримання судна на заданому маршруті;
- періодичне коригування параметрів алгоритму управління для оцінки його адаптивних можливостей.

5.1.2 Умови навколишнього середовища під час експерименту

Під час експерименту судно проходило через різні кліматичні зони та погодні умови, що дозволило оцінити ефективність способу у різноманітних ситуаціях:

- спокійне море (хвилювання до 2 балів за шкалою Бофорта);
- помірне хвилювання (2-5 балів);
- вітер різної сили та напрямків (від 0 до 30 м/с);
- різні течії (від 0 до 2 вузлів).

5.1.3 Заходи забезпечення достовірності результатів

Для підвищення достовірності отриманих даних були прийняті такі заходи:

- використання дублюючих систем вимірювання ключових параметрів;
- регулярне калібрування вимірювального обладнання;
- застосування статистичних методів обробки даних для мінімізації впливу випадкових помилок;
- проведення контрольних вимірювань із використанням незалежних методів (наприклад, астрономічних спостережень);

– ведення детального журналу експерименту з фіксацією всіх значущих подій та умов

5.1.4 Етичні аспекти та безпека

Експеримент проводився з повної згоди та при підтримці судноплавної компанії та капітана судна. Всі дії виконувалися в суворій відповідності з правилами безпеки мореплавства. У разі виникнення потенційно небезпечних ситуацій передбачалася можливість негайного переходу на стандартний режим управління судном.

5.1.5 Обробка і зберігання даних

Для забезпечення цілісності та доступності експериментальних даних була розроблена наступна методика:

- безперервний запис всіх параметрів з частотою 1 Гц в бортову базу даних;
- щоденне резервне копіювання даних на окремий носій;
- попередня обробка даних для виявлення і усунення очевидних помилок вимірювань;
- синхронізація всіх джерел даних за єдиним часовим стандартом для забезпечення коректності подальшого аналізу.

5.1.6 Урахування людського фактору

Важливим аспектом експерименту стало вивчення взаємодії екіпажу з новою системою управління:

- проведення попереднього інструктажу і навчання вахтових офіцерів роботі з новою системою;
- збір зворотного зв'язку від екіпажу про зручність використання системи та її ефективність;
- аналіз впливу нової системи на робоче навантаження вахтового персоналу;

– оцінка ступеня довіри екіпажу до автоматизованої системи управління в різних ситуаціях.

5.2 Спосіб управління судном за збуренням при послідовному зчисленні та обсервації

Спосіб заснований на врахуванні зовнішніх факторів у вигляді алгоритму оптимальної стабілізації, що впливають на рух судна, таких як вітер, хвилювання і течія. Основні кроки алгоритму:

Крок 1: Розрахунок втрати швидкості на хвилюванні. Спочатку необхідно визначити втрату швидкості судна, спричинену хвилюванням. Для цього використовується емпірична залежність, що включає наступні параметри: інтенсивність хвилювання в балах, курсовий кут хвилювання, довжина судна та відповідні емпіричні коефіцієнти. Інтенсивність хвилювання характеризує висоту та частоту хвиль. Курсовий кут хвилювання вимірюється щодо курсу судна і використовується визначення впливу хвиль на швидкість судна. Довжина судна також відіграє важливу роль, оскільки довгі судна менш схильні до впливу хвиль порівняно з короткими суднами. Емпіричні коефіцієнти, отримані на основі статистичних даних та дослідів, дозволяють враховувати ці параметри та коректно визначити втрату швидкості на хвилюванні.

Крок 2: Облік течії. На наступному етапі необхідно враховувати параметри течії, такі як швидкість течії та її справжній кут щодо північного напрямку. Швидкість течії визначається за допомогою навігаційних приладів, таких як доплерівські вимірювачі швидкості води, гідрологічні карти та дані від метеорологічних служб. Справжній кут течії вимірюється щодо північного напрямку та вказує напрямок потоку води. Ці параметри важливі для коректного визначення впливу течії на траєкторію та швидкість судна. Знання швидкості та напрямку течії дозволяє компенсувати його вплив при розрахунку курсу та швидкості судна.

Крок 3: Розрахунок швидкості хвилювання. Далі проводиться розрахунок швидкості хвилювання. Цей етап включає визначення компонентів швидкості

хвилювання на основі раніше визначених параметрів, таких як швидкість течії та курсовий кут хвилювання. Швидкість хвилювання залежить від взаємодії вітру, хвиль та течії, що потребує врахування комплексних гідродинамічних взаємодій. В результаті обчислень визначається швидкість хвилювання, що є важливим параметром для подальшого розрахунку координат збурення. Це дозволяє враховувати сукупний вплив хвиль та течії на судно та коригувати його курс та швидкість для мінімізації відхилень від заданого маршруту.

Крок 4: Розрахунок координат перебігу та хвилювання. На даному етапі проводиться розрахунок координат течії та хвилювання у прямокутній системі координат. Це робиться для визначення впливу кожного з цих чинників на рух судна. Для течії використовуються значення швидкості та курсового кута течії. Координати течії розраховуються як добуток швидкості течії на косинус і синус курсового кута течії, що дозволяє визначити горизонтальну та вертикальну складові течії. Аналогічно, для хвилювання використовуються значення швидкості хвилювання та курсового кута хвилювання. Координати хвилювання розраховуються аналогічним чином, що дозволяє визначити компоненти хвилювання у горизонтальній та вертикальній площині. Цей етап необхідний для подальшого підсумовування та одержання результуючого вектору збурення.

Крок 5: Розрахунок координат вектору збурення. Після визначення координат перебігу та хвилювання проводиться підсумовування цих координат для отримання координат результуючого вектору збурення. Цей вектор представляє сукупний вплив течії та хвилювання на судно. Координати вектору збурення розраховуються як сума відповідних координат перебігу та хвилювання. Цей етап важливий для визначення загального напрямку і величини зовнішнього впливу на судно. Отримані координати вектору збурення використовуються для подальших розрахунків швидкості та кута збурення, що дозволяє коригувати курс судна.

Крок 6: Розрахунок швидкості збурення. На цьому етапі проводиться розрахунок швидкості збурення. Швидкість збурення визначається з урахуванням раніше розрахованих координат вектору збурення. І тому використовуються

стандартні методи векторної математики. Швидкість збурення визначається квадратним коренем суми квадратів горизонтальної та вертикальної складових вектору збурення. Цей розрахунок важливий для визначення величини сукупного впливу течії і хвилювання на судно. Знання швидкості збурення дозволяє коригувати швидкість судна для мінімізації відхилень від заданого маршруту та забезпечення його стабільного та безпечного руху.

Крок 7: Розрахунок внутрішніх кутів трикутника. На даному етапі необхідно визначити внутрішні кути трикутника, утвореного курсом судна та кутом збурення. Цей трикутник допомагає візуалізувати вплив зовнішніх збурень на рух судна. Внутрішні кути включають такі компоненти:

Бета (β) – кут між істинним курсом судна та напрямом обурення, що визначається як різниця між 180 градусами та курсовим кутом збурення.

Альфа (α) – кут між напрямом збурення та новим курсом судна, що обчислюється з використанням арксинусу функції. Це значення залежить від швидкості судна та швидкості збурення.

Гамма (γ) – кут між істинним курсом судна та новим курсом, що визначається як різниця між 180 градусами та сумою кутів Бета та Альфа.

Ці кути необхідні для подальшого визначення коригувань курсу судна та розрахунку нової траєкторії руху.

Крок 8: Розрахунок нового курсу судна. Після визначення внутрішніх кутів трикутника необхідно розрахувати новий курс судна. Для цього використовується тригонометричний підхід, що включає визначення відношення між сторонами та кутами трикутника. Новий курс судна розраховується на основі кутів Гамма та Бета, а також швидкості судна та швидкості збурення. Розрахунок нового курсу дозволяє судну мінімізувати відхилення від планової лінії шляху та компенсувати вплив зовнішніх збурень. Цей етап є критично важливим для підтримки точності навігації та забезпечення безпечного плавання.

Крок 9: Визначення координат руху судна. На заключному етапі проводиться точний розрахунок нових координат судна з урахуванням усіх

коригувань курсу, впливу зовнішніх збурень та поточної позиції судна. Цей етап включає кілька ключових компонентів:

Визначення нових координат курсу судна. Важливо розрахувати координати з урахуванням швидкості судна та нового курсу. Координати включають широту (φ) та довготу (λ) судна. Формули для обчислення нових координат ґрунтуються на тригонометричних функціях, де широта визначається як сума початкової широти та добутку швидкості судна на косинус курсу, а довгота – як сума початкової довготи та добутку швидкості судна на синус курсу. Ці розрахунки дозволяють визначити точне нове положення судна щодо початкової точки.

Важливим аспектом є коригування координат з урахуванням впливу зовнішніх факторів, таких як течія та вітро-хвильове збурення. Використовуються аналогічні тригонометричні функції обчислення нових координат, враховують збурення. Ці координати включають зміни в широті та довготі, викликані збуреннями, що дозволяє точно визначити нове положення судна.

На останньому етапі проводиться об'єднання всіх розрахунків визначення остаточної позиції судна. Це включає підсумовування координат, отриманих на основі курсу судна та координат збурень. В результаті виходить точне нове положення судна, що враховує всі зовнішні дії та коригування курсу.

Після визначення нових координат ці дані використовуються для оновлення навігаційного плану судна. Це дозволяє коригувати маршрут, мінімізувати відхилення від планового шляху та забезпечити безпечний та точний рух судна.

Крок 10: Розрахунок $|\overline{V_{ш(о)}}|$ і $|\overline{V_{з(о)}}|$ та введення після обсервації координат. На даному етапі проводиться розрахунок швидкостей зовнішніх впливів, а саме вітро-хвильового ($|\overline{V_{ш(о)}}|$) та збурення від течії ($|\overline{V_{з(о)}}|$). Ці параметри враховуються для коригування поточної позиції судна. Після обсервації координати О вводяться в навігаційну систему визначення поточної позиції судна з урахуванням зовнішніх впливів. Розрахунки включають аналіз даних про обсервацію, визначення величини та спрямування векторів збурення, що дозволяє точно

коригувати курс та позицію судна. В результаті цих розрахунків оновлюються координати судна, що забезпечує точне проходження запланованого маршруту з огляду на зовнішні збурення.

Крок 11: Розрахунок внутрішніх кутів трикутника, отриманих в результаті обсервації. Цей етап включає визначення внутрішніх кутів трикутника, який утворюється між лінією шляху судна та вектором обсервованого збурення. Кути розраховуються для точного визначення впливу зовнішніх збурень на курс судна. Внутрішні кути трикутника важливі для визначення кута відхилення судна від запланованого маршруту. Використання теореми косинусів та теореми синусів дозволяє точно обчислити ці кути. Це необхідно для подальшого коригування курсу судна та мінімізації відхилень від заданого маршруту, забезпечуючи точне проходження судна по плановій лінії колії.

Крок 12: Визначення кута нищпорення. На цьому етапі визначається кут рискання, який є кутом між вектором обсервованого збурення та плановим курсом судна. Для знаходження цього кута використовується дані про обсервацію та поточні координати судна. Розрахунок кута рискання проводиться шляхом аналізу напрямку вектору збурення та планового курсу судна. Цей кут важливий для точного керування судном та забезпечення мінімальних відхилень від запланованого маршруту. Це дозволяє судну ефективно долати зовнішні збурення та підтримувати курс по заданим координатам.

Крок 13: Визначення кута $\angle V_{C(2)}OV_{C(3)}$. Для визначення кута $\angle V_{C(2)}OV_{C(3)}$ необхідно обчислити кут між північним напрямком (N) та вектором обсервованого збурення. Спочатку визначається кут N , який обчислюється як арккотангенс відношення різниці широт між поточною позицією судна та позицією збурення до різниці довгот між цими позиціями. Кут N можна висловити словесно так: кут N дорівнює арккотангенсу від відношення різниці широт поточної позиції судна та позиції збурення до різниці довгот між поточною позицією судна та позицією збурення. Потім кут $\angle V_{C(2)}OV_{C(3)}$ визначається як різниця між курсовим кутом судна і кутом N . Таким чином, кут $\angle V_{C(2)}OV_{C(3)}$

дорівнює різниці між курсовим кутом судна та кутом між північним напрямком та вектором обсервованого збурення. Цей кут дорівнює куту $\angle OV_{C(3)}V_{ш(3)}$ за властивостями кутів при діагоналі паралелограма.

Крок 14: Розрахунок результуючої швидкості збурення за теоремою косинусів. На цьому етапі застосовується теорема косинусів для обчислення результуючої швидкості збурення ($V_{ш(2)}$). Теорема косинусів дозволяє визначити довжину сторони трикутника, яка виражається як квадратний корінь із суми квадратів довжин сторін $V_{C(2)}$ і $V_{з(2)}$, зменшеної на подвоєний добуток довжин цих сторін і косинуса кута між ними. Словесно це можна виразити таким чином: результуюча швидкість збурення дорівнює квадратному кореню із суми квадратів курсової швидкості судна та швидкості збурення, зменшеної на подвоєний добуток курсової швидкості судна і швидкості збурення та косинуса кута між ними. Цей розрахунок дозволяє точно визначити результуючу швидкість збурення, що необхідно для коригування курсу судна та забезпечення його безпечного та точного руху в умовах зовнішніх збурень.

Крок 15: Розрахунок кутів по теоремі синусів. На цьому етапі використовується теорема синусів для визначення кута $\angle \gamma_2$. Кут $\angle \gamma_2$ обчислюється як арксинус відтвореної курсової швидкості судна $V_{C(2)}$ та синуса кута $\angle \beta_2$, поділеного на результуючу швидкість збурення $V_{ш(2)}$. Формула для цього кута звучить наступним чином: кут $\angle \gamma_2$ дорівнює арксинусу від твору курсової швидкості судна та синуса кута $\angle \beta_2$, поділеного на результуючу швидкість збурення. Потім обчислюється кут α_2 , який дорівнює 180 градусів мінус кути $\angle \beta_2$ та $\angle \gamma_2$. Цей розрахунок дозволяє точно визначити орієнтацію судна щодо результуючого збурення та коригувати його курс для точного проходження запланованого маршруту.

Крок 16: Визначення координат точок $V_{C(3)}$ і $V_{ш(3)}$. На цьому етапі визначаються координати нових точок $V_{C(3)}$ та $V_{ш(3)}$. Координати точки $V_{C(3)}$ ($\varphi_{V_{C(3)}}, \lambda_{V_{C(3)}}$) обчислюються наступним чином: довгота точки $V_{C(3)}$ дорівнює

довготі точки О плюс добуток курсової швидкості судна та синуса курсового кута $K_{IK(2)}$; широта точки $V_{C(3)}$ дорівнює широті точки О плюс добуток курсової швидкості судна та косинуса курсового кута $K_{IK(2)}$. Координати точки $V_{Ш(3)}(\varphi_{V_{Ш(3)}}, \lambda_{V_{Ш(3)}})$ обчислюються наступним чином: довгота точки $V_{Ш(3)}$ дорівнює довготі точки О плюс добуток результуючої швидкості збурення та синуса суми курсового кута $K_{IK(2)}$ та кута $\angle \alpha_2$; широта точки $V_{Ш(3)}$ дорівнює широті точки О плюс добуток результуючої швидкості збурення та косинуса суми курсового кута $K_{IK(2)}$ та кута $\angle \alpha_2$. Ці обчислення дозволяють точно визначити нові координати судна з урахуванням впливу зовнішніх збурень, що необхідно для коригування курсу та забезпечення точного проходження запланованого маршруту.

Щоб розрахувати абсолютну та відносну похибки рискання на основі двохсот одної пари значень курсу K та K_1 , необхідно виконати такі кроки [7, 9]:

Крок 17. Розрахунок абсолютної похибки рискання. Абсолютна похибка рискання для кожного експерименту дорівнює величині кута між курсом K та курсом після обсервації K_1 . Цей кут рискання можна позначити як $\theta_{\text{рискання}}$.

Для кожної пари значень курсу:

$$\Delta_{\text{рискання}}^{(i)} = \left| \theta_{\text{рискання}}^{(i)} \right| = |K_i - K_{1i}|, \quad (5.1)$$

де: $\Delta_{\text{рискання}}^{(i)}$ – абсолютна похибка рискання для i -го експерименту.

Крок 18. Розрахунок географічної ефективності. Після того як ви розраховали абсолютну похибку для кожної з двохсот одної пари значень, можна знайти середнє значення абсолютної похибки:

$$\overline{\Delta_{\text{рискання}}} = 1 / 201 \sum_{i=1}^{201} \Delta_{\text{рискання}}^{(i)} = 0,94059 \quad (5.2)$$

Крок 19. Визначення відносної похибки рискання. Відносна похибка рискання розраховується як відношення середньої абсолютної похибки до середнього значення рискання, помножене на 100 %:

$$\delta_{\text{рискання}} = \left(\overline{\Delta_{\text{рискання}}} / \bar{K} \right) 100\% = 1,18 \% \quad (5.3)$$

де: $\bar{K}$ – середній курс судна за всі 201 вимірювання, який можна знайти як:

$$\overline{K} = 1 / 201 \sum_{i=1}^{201} K_i \quad (5.4)$$

Крок 20. Розрахунок абсолютної похибки швидкості. Абсолютна похибка швидкості визначається як різниця між очікуваною швидкістю $V_{\text{очікувана}}$ і фактичною швидкістю $V_{\text{обсервована}}$ для кожного вимірювання.

Для кожного з двохсот одного вимірювання:

$$\Delta_{\text{швидкість}}^{(i)} = \left| V_{\text{очікувана}}^{(i)} - V_{\text{обсервована}}^{(i)} \right| \quad (5.5)$$

Крок 21. Розрахунок середньої абсолютної похибки. Після того, як ви розраховували абсолютну похибку для кожної пари значень швидкості, обчислюється середнє значення абсолютної похибки:

$$\overline{\Delta_{\text{швидкість}}} = 1 / 201 \sum_{i=1}^{201} \Delta_{\text{швидкість}}^{(i)} = 0,76649 \quad (5.6)$$

Крок 22. Розрахунок відносної похибки швидкості. Відносна похибка швидкості розраховується як відношення середньої абсолютної похибки до середнього значення очікуваної швидкості, помножене на 100 %:

$$\delta_{\text{швидкість}} = \left(\overline{\Delta_{\text{швидкість}}} / \overline{V_{\text{очікувана}}} \right) 100\% = 3,72661 \% \quad (5.7)$$

де $\overline{V_{\text{очікувана}}}$ – середнє значення очікуваної швидкості за всі 201 вимірювання, яке можна знайти як:

$$\overline{V_{\text{очікувана}}} = 1 / 201 \sum_{i=1}^{201} V_{\text{очікувана}}^{(i)} \quad (5.8)$$

5.3 Висновки до п'ятого розділу

1. Ефективність методу управління курсом судна на маршруті за збуренням при послідовному численні та обсервації була підтверджена в реальних умовах морського плавання. Аналіз експериментальних даних, отриманих протягом восьмиденного рейсу на контейнеровозі «THALASSA HELLAS», показав, що середня абсолютна похибка рискання склала 0,94 градуса, а відносна похибка рискання – 1 ± 20 %. Ці показники свідчать про високу точність утримання заданого курсу та стабільність функціонування алгоритму в різноманітних гідрометеорологічних умовах, що є критично важливим для забезпечення безпеки мореплавства та оптимізації маршруту.

2. Дослідження швидкісних характеристик руху судна продемонструвало задовільні результати застосування розробленого алгоритму. Середня абсолютна похибка швидкості склала 0,76 вузла, а відносна похибка швидкості - 3,72 %. Ці дані вказують на здатність методу ефективно враховувати комплексний вплив зовнішніх факторів на рух судна, включаючи вітер, хвилювання та течії. Отримані результати підкреслюють потенціал методу для оптимізації енергоспоживання та підвищення економічної ефективності морських перевезень за рахунок більш точного дотримання запланованого маршруту та швидкісного режиму.

3. Комплексний підхід до врахування зовнішніх збурень, реалізований у даному методі, продемонстрував свою ефективність у практичному застосуванні. Використання векторного аналізу для розрахунку результуючого вектора збурення, а також застосування теорем синусів і косинусів для визначення внутрішніх кутів трикутника збурення дозволило досягти високої точності в корекції курсу судна. Це підтверджується мінімальними відхиленнями від планової лінії колії, що спостерігалися протягом експерименту. Такий підхід забезпечує більш точне визначення місцеположення судна та оптимізацію його руху в умовах динамічно змінюваного морського середовища.

4. Адаптивність розробленого способу до різних навігаційних умов була підтверджена експериментально. Спосіб продемонстрував стабільну роботу при різних інтенсивностях хвилювання (від 0 до 5 балів за шкалою Бофорта), швидкостях вітру (від 0 до 30 м/с) та течіях (від 0 до 2 вузлів). Ця здатність адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища є ключовою для забезпечення надійної навігації в різних географічних регіонах та сезонних умовах. Крім того, адаптивність алгоритму потенційно дозволяє зменшити навантаження на екіпаж, автоматизуючи процес корекції курсу в складних навігаційних ситуаціях.

5. Результати дослідження вказують на перспективність подальшого розвитку та вдосконалення методів та способів адаптивного управління курсом судна з урахуванням зовнішніх збурень. Отримані експериментальні дані створюють основу для розробки більш складних алгоритмів, які могли б враховувати додаткові фактори, такі як зміни завантаження судна, варіації гідродинамічних характеристик корпусу з часом, а також потенційні зміни клімату та океанічних умов. Інтеграція цього способу з сучасними системами підтримки прийняття рішень та технологіями штучного інтелекту може призвести до створення більш ефективних та безпечних систем управління морськими суднами, що відповідатимуть зростаючим вимогам до екологічності та економічності морських перевезень.

Основні результати розділу висвітлені у публікаціях [7, 9, 10, 73].

ВИСНОВКИ

1. Оцінка стану питання. Безпечне судноводіння є комплексним завданням, яке вимагає оптимального балансу між характеристиками морського шляху, параметрами судна та ефективністю систем керування. У контексті розробленого методу оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті при послідовному численні та обсервації, особлива увага приділяється взаємодії між зовнішніми факторами (такими як вітер, хвилювання та течії) та реакцією судна на ці збурення.

В умовах підвищеного навантаження на людину-оператора (судноводія) збільшується кількість і складність операцій, які необхідно виконувати. У стандартних ситуаціях оператор може діяти на рівні усталених навичок, однак в екстремальних умовах виникає потреба у швидких розрахунках та складних розумових операціях для прийняття рішень. Це може призводити до уповільнення процесу управління судном, що є критичним фактором у морській навігації.

Аналіз параметрів, які описують процес маневрування судна, виявив, що не всі необхідні дані доступні судноводію для безпечного управління, а навігаційні пристрої для їх визначення часто відсутні. Серед таких критичних параметрів - координати вектору збурення, результуюча швидкість збурення та кути відхилення від заданого курсу, які не можуть бути визначені візуально, а час для їх розрахунку в процесі маневрування обмежений.

Запропонований метод управління курсом судна за збуренням адресує ці виклики шляхом автоматизації процесу обробки навігаційної інформації. Він забезпечує автоматичний розрахунок впливу зовнішніх збурень, визначення оптимального курсу та швидкості судна, що дозволяє мінімізувати відхилення від заданого маршруту. Це відповідає сучасним вимогам до навігаційних систем, які повинні обробляти інформацію автоматично та надавати оператору вже готові дані для швидкого прийняття рішень.

Використання оперативних способів розрахунку параметрів руху під час виконання морської операції та контролю управління судном за їх значеннями, яким присвячена дана робота, є перспективним напрямком досліджень і вельми актуальним. Цей метод дозволяє враховувати складні взаємодії між судном та зовнішніми факторами, такими як вітер, хвилювання та течії, що критично важливо для безпечної та ефективної навігації.

2. Формулювання вирішеної наукової задачі та її значення для науки і практики. В результаті вирішення головної задачі дослідження було розроблено та експериментально підтверджено ефективність нового методу оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті. Цей метод дозволяє автоматично розраховувати ключові параметри руху судна, такі як координати вектора збурення, результуючу швидкість збурення та кути відхилення від заданого курсу, використовуючи дані, отримані від існуючих навігаційних приладів. Ключовою особливістю розробленого методу є його здатність враховувати комплексний вплив зовнішніх факторів на рух судна. Метод захищений публікаціями і патентами України.

Вирішення трьох допоміжних задач дозволило розв'язати головну задачу по оптимальній стабілізації руху судна на заданому маршруті для управління судном згідно з технологічною картою процесу виконання морської операції. Отримані результати містять наступну наукову новизну:

удосконалена процедура оптимізації руху судна на маршруті, яка ґрунтується на балансі рухомих сил та сил опору з урахуванням динамічних змін зовнішніх факторів та відрізняється від відомих процедур застосуванням комплексних інноваційних підходів при стабілізації положення судна у просторі та на площині у реальному часі;

удосконалений адаптивний алгоритм корекції траєкторії для повернення на задану лінію шляху, який відрізняється врахуванням поточних даних про модуль та напрямок дії збурюючих чинників таких як вітрові, хвильові та впливи течії;

набула подальшого розвитку методика графоаналітичного розрахунку початкових параметрів руху судна (курсу, швидкості, координат на етапі

планування маршруту, яка відрізняється застосуванням векторного аналізу та візуалізації на картографічній основі;

набули подальшого розвитку розрахункові моделі навігаційних розрахунків, які відрізняються застосуванням способу вибору оптимальної швидкості ходу судна для безпечного відновлення руху траєкторії маршруту;

набув подальшого розвитку ефективний спосіб стабілізації руху судна та уникнення загроз безпеці мореплавства, який відрізняється застосуванням системного (комплексного) підходу до врахування впливу факторів навколишнього середовища на процес судноводіння.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що алгоритми, розрахункові схеми і методики можуть бути використані для створення нових систем підтримки прийняття рішень, заснованих на використанні існуючих навігаційних приладів, включаючи системи навігації для автоматичного управління судном.

3. Висновки і рекомендації що до наукового та практичного використання отриманих результатів. Отримані теоретичні та практичні результати можуть бути використані при виконанні наукових досліджень, розробці навігаційних приладів і систем підтримки прийняття рішення при управлінні судном на маршруті, а також в морських учбових закладах в процесі навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів.

Якісним показником отриманих результатів є можливість оперативного отримання параметрів руху судна в режимі реального часу, включаючи координати вектора збурення, результуючу швидкість збурення та кути відхилення від заданого курсу. Метод дозволяє здійснювати оцінку зміщення відносно планової траєкторії і при необхідності виконувати корекцію курсу та швидкості судна. Важливою якісною характеристикою є адаптивність методу до різних навігаційних умов, що підтверджено його стабільною роботою при різних інтенсивностях хвилювання, швидкостях вітру та течіях.

Кількісним показником є оцінка точності запропонованої моделі за результатами натурних випробувань на контейнеровозі «THALASSA HELLAS». Експериментальні дані показали, що середня абсолютна похибка рискання склала 0,94059 градуса, а відносна похибка рискання – $1, \pm 20$ %. Щодо швидкісних характеристик, середня абсолютна похибка швидкості склала 0,76 вузла, а відносна похибка швидкості - 3,72 %. Ці показники демонструють високу точність відповідності теоретичних розрахунків реальним параметрам руху судна.

5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів.

Достовірність отриманих результатів підтверджується проведенням повномасштабного натурального експерименту в реальних умовах морського плавання. Експеримент проводився протягом восьмиденного рейсу на діючому контейнеровозі, що дозволило отримати дані в різноманітних навігаційних умовах. Використання існуючих навігаційних приладів для збору даних забезпечило реалістичність вхідної інформації для розрахунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойчук, О. А. Нормально-розв'язні крайові задачі для операторно-диференціальних рівнянь / О. А. Бойчук, О. А. Покутний. – 2022. – 223 с.
2. Будашко В. В. Енергоефективна система позиціонування судна подвійного призначення / В. В. Будашко, В. В. Голіков, О.М. Мазур, В. В. Сапіга, О. А. Онищенко, Т. С. Обнявко // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 21.03.2019 – 22.03.2019.– Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 17 – 21.
3. Бурмака І. О. Безпечне розходження суден з врахуванням їх інерційності: дисерт. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук за спеціальністю 05.22.16 – судноводіння. – Одеса: ОНМА, 2004. – 184 с.
4. Вагущенко О. Л. Вдосконалення методів оперативної корекції маршруту судна: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.13 / Вагущенко Олександр Леонідович; Одеська національна морська академія (ОНМА). - О., 2008. - 22 с.
5. Всесвітня метеорологічна організація. Керівництво з морських метеорологічних служб / Всесвітня метеорологічна організація. – 2023. – URL: <https://public.wmo.int/en/resources/library/guide-marine-meteorological-services>.
6. Голіков В. В. Керівництво з правових питань безпеки судноплавства на водних шляхах України / В. В.Голіков: Основне керівництво по експлуатації суден ТОВ СП «Нібулон» – Одеса: «ВидавІнформ», ОНМА, 2011. – 213 с.
7. Голіков В. А. Верифікація деяких показників енергетичної ефективності роботи контейнеровоза класу DNV-GL (13800 TEU) на лінії шовкового шляху / В. А Голіков, В. В. Голіков, К. С Данілов, К. О. Сінюта // Матеріали

- науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт» – 22-23 березня 2023 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 19-22.
8. Голіков В. А. Використання технологій методології науки у дослідженнях морського та внутрішнього водного транспорту / В. А. Голіков, В. В. Голіков, О. А. Онищенко // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2022. – Випуск 1 (35). – 5-11 с.
 9. Голіков В. А. Експериментальне визначення показників енергетичної ефективності роботи контейнеровоза класу DNV-GL (13800 TEU) / В. А. Голіков, К. С. Данілов, К. О. Сінюта. // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – Вип. 46. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 33-41.
 10. Голіков В. В. Глибоке навчання у контексті штучного інтелекту в морській навігації / В. В. Голіков, К. О. Сінюта // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2024. – Випуск 1 (39). – 104-111 с.
 11. Голіков В. В. Координатний метод визначення коефіцієнту ефективності рискання судна / В. В. Голіков, К. О. Сінюта // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» – 12-13 листопада 2020 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 63.
 12. Голіков В. В. Методи оцінки зміни швидкості судна при вітровому і хвильовому впливі / В. В. Голіков, К. О. Сінюта // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2021)» – 25-27 травня 2021 р. – Херсон: ХДМА, 2021. – С. 74.
 13. Голіков В. В. Основні підходи до управління рухом судна на курсі / В. В. Голіков, К. О. Сінюта. // Транспортні системи і технології: зб. наук. праць / ДУІТ. – Вип. 39. – Київ: ДУІТ, 2022. – С. 209-215.

14. Голіков В. В. Удосконалення методів вибору економічно вигідних і безпечних морських шляхів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.16 / Голіков Володимир Володимирович; Одеська національна морська академія. - О., 2007. - 22 с.
15. Голіков В. В. Інверсний метод числення для підвищення точності маневрування судном на маршруті / В. В Голіков, К. О. Сінюта // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» – 14-15 листопада 2019 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 145.
16. Голіков, В. А. Методологія наукових досліджень: навч. посібн. // В. А. Голіков, М. А. Козьмініх, О. А. Онищенко. – Одеса: ОНМА, 2014. – 163 с.
17. Голікова В. В. Особливості ергономіки робочого місця майбутніх фахівців водного транспорту / В. В. Голікова, В. І. Крайнова, Д. Г. Парменова, К. О. Сінюта. // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2022. – Вип. 2(36). – С. 218-224. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2>.
18. Дудченко С. В. Удосконалення методу формування безпечного оптимального за часом руху маршруту переходу суден з урахуванням прогнозу погодних умов / С. В. Дудченко, В. І. Литовченко // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2024. – Випуск 1 (39). – С. 226–237.
19. Звіт «Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 2021 рік з наростаючим підсумком» [Електронний ресурс] // Державна служба морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України. - 2021. - Режим доступу: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/Zvit_2021rik.pdf

20. Звіт «Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна, за січень – грудень 2023 року з наростаючим підсумком» [Електронний ресурс] // Державна служба морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України. - 2023. - Режим доступу:
21. Звіт «Стан безпеки судноплавства та аварійності із суднами на морському та внутрішньому водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна, за 2022 рік з наростаючим підсумком» [Електронний ресурс] // Державна служба морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України. - 2022. - Режим доступу: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/Zvit_4_2022.pdf
22. Клімова Є. М. Актуальні питання міжнародно-правового регулювання безпеки мореплавства / Є. М. Клімова // 75-а річниця ООН – сучасний стан та розвиток міжнародного права: збірник матеріалів Всеукр. наук. студент. конф. (м. Одеса, 30 листопада 2020 р.) / МОН України, НУ «ОЮА»; відп. вед. М. Р. Аракелян. – Одеса : Гельветика, 2020. – С. 298-300.
23. Колегаєв М. О. Основні напрямки вдосконалення безпеки сучасного мореплавства / М. О. Колегаєв // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт». – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 9-12.
24. Конвенція про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі, 1972 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_137.
25. Мальцев А. С. Керівництво по маневрених характеристиках штовхаючих складів суден (барж NBL-90 і буксира POSS-115) / А. С. Мальцев, В. В. Голіков. – Основне керівництво по експлуатації ТОВ СП «Нібулон». – Одеса: «ВидавІнформ», ОНМА, 2011. – 99 с.

26. Мальцев А. С. Теорія і практика безпечного управління судном при маневруванні : автореф. дис. на здоб. наук. ступ. д.т.н. / Мальцев Анатолій Сидорович. – Одеса, 2007. – 36 с.
27. Мальцев С. Е. Навігаційний пристрій прийняття рішення при автоматичному плануванні руху судна траєкторними точками при заході/виході із порту. / С. Е.Мальцев / Eastern-EuropeanJournalofEnterprise Technologies. Naturaland TechnicalSciences.- 2019. V11 (25), issue 206. P. 41-46.
28. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі, 1974 рік (СОЛАС-74) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.cc/law/document/read/995_251.
29. Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти, 1978 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_053.
30. Міжнародна морська організація. (2017). Посібник NAVTEX. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/NAVTEX.aspx>.
31. Міжнародна морська організація. (2021). Міжнародний посібник SafetyNET. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Inmarsat.aspx>.
32. Міністерство транспорту та зв'язку України. (2004). Інструкція про порядок здійснення контролю за виконанням судноплавними компаніями України нормативних актів з питань безпеки судноплавства: Наказ від 26 листопада 2004 р. № 1048. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14 грудня 2004 р. за № 1584/10183. [Електронний ресурс]. URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=87632 (дата звернення: 21.10.2024).
33. Міусов М. В. Оптимальне управління комбінованим пропульсивним комплексом судна з вітрорушіями / М. В. Міусов, О. Ф. Кривий // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». – Вип. 36. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. – С. 116–130. – DOI: 10.31653/2306-5761.36.2024.116-130.

34. Міюсов М. В. Нові математичні моделі повздовжніх гідродинамічних сил на корпусі судна / М. В. Міюсов, О. Ф. Кривий // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». – Вип. 30. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 88–99.
35. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 29 травня 2006 року № 516 «Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами»
36. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року / Ukraine-EuropaAid/136284/DH/SER/UA, травень 2017. – К.: Мінінфраструктури України, 2017. – 145 с.
37. Нікольський В. В. Вдосконалення систем віддаленого моніторингу параметрів суднових дизелів з електронним управлінням / В. В. Нікольський, М. В. Левінський, М. В. Нікольський, М. В. Слободянюк, Б. В. Кузьмінський // Суднові енергетичні установки. – Національний університет «Одеська морська академія». – 2023. – № 47. – С. 97-108. – DOI: 10.31653/smf47.2023.97-108.
38. Патент 150390 UA. МПК(2006.01) G08G 3/02. Корисна модель Система оперативного динамічного позиціонування судна при маневруванні в стислих умовах /Мальцев А. С., Сінюта К. О., Сурінов І. Л. Заявник Одеська національна морська академія. - № 2021 05306; заявлено 20.09.2021; опубліковано 09.02.2022, Бюл. № 6.
39. Рекомендації щодо організації штурманської служби на морських судах України (РІШСУ-98).– О.: ЮжНИИМФ, 1998. – 111 с.
40. Сагін, С. В. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден / С. В. Сагін, С. С. Сагін. // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2024. – Випуск 1 (40). – 215-225 с.
41. Світовий банк. (2013). Модернізація метеорологічних та гідрологічних служб у Південно-Східній Європі.
42. Ситникова Ю. В. Лінійна та векторна алгебра у схемах і таблицях: навчальний довідник для самостійного вивчення курсу вищої математики

- (для студентів 1, 2 курсів денної та заочної форм навчання) / Ю. В. Ситникова, С. М. Ламтюгова, Г. А. Кузнецова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 109 с.
43. Сінюта К. О. Dynamic positioning methods under limited conditions / К. О. Сінюта // Матеріали науково-технічної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 18-19 листопада 2020 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 70-71.
 44. Сінюта К. О. Аналіз аварійності на морському та річковому транспорті України / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 20–21 листопада 2024 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. – С. 253–257.
 45. Сінюта К. О. Координатний метод визначення шляхової швидкості судна по векторам та переміщенням відносної та переносної швидкостей / К. О. Сінюта. // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». – Вип. 30. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 117-124.
 46. Сінюта К. О. Оптимізація швидкості судна для повернення до заданої координатної точки маршруту / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 20–21 листопада 2024 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. – С. 252–253.
 47. Сінюта К. О. Спосіб розрахунку втрати швидкості судна в умовах хвильового впливу / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 16-17 листопада 2023 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – 237-239 С.
 48. Сінюта К. О. Ітераційний метод стабілізації судна на курсі та маршруті / К. О. Сінюта. // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». – Вип. 31. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 60-68. Транспорт, 1983. – 216 с.
 49. Сінюта К. О. Управління судном за збуренням при послідовному зчисленні та обсервації руху судна / К. О. Сінюта. // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». – Вип. 32. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 86-92.

50. Тулайдан В. Г. Основи наукових досліджень: навч. посіб. – Ужгород: УжНУ, 2017. – 105 с.
51. Шерстюк В.Г. Сценарно-прецедентний підхід до управління динамічними об'єктами у стислих навігаційних умовах // Штучний інтелект. – 2011. – № 1. – С. 113-123.
52. Accidents and incidents on sea and river transport in 2018 [Avariyyi ta intsydenty na mors'komu ta richkovomu transporti za 2018 rik]. Official website of Ukrtransbezpeka / Accident rate analysis. URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/avariyi-ta-incydney-na-morskomu-ta-richkovomutransporti-za-2018-rik> (date of application: 01.12.2022).
53. Ahn J.H. A Study on the Collision Avoidance of a Ship Using Neural Networks and Fuzzy Logic / J.H. Ahn, K.P. Rhee, Y.J. You // Applied Ocean Research. – 2012. – Vol. 37. – № 4. – P. 162–173.
54. Aleksishin, A. Improvement of the Anticollision Method "Velocity Obstacle" by Taking Into Consideration the Dynamics of an Operating Vessel / A. Aleksishin, A. Vagushchenko, O. Vagushchenko, Y. Kalinichenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 6, No. 3. – P. 14–19.
55. Analysis of the state of traffic safety, navigation and accidents on transport in Ukraine for 2016 [Analiz stanu bezpeky rukhu, sudnoplavstva ta avariynosti na transporti v Ukrayini za 2016 rik]. Ukrtransbezpeka / Analysis of accidents. URL: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/analiz_2017/analiz_avariynosti_2016.pdf (date of application: 01.12.2022).
56. Analysis of traffic, flight and navigation safety in Ukraine in 2012 [Analiz stanu bezpeky rukhu, pol'otiv, sudnoplavstva v Ukrayini za 2012 rik]. Official website of the Ministry of Infrastructure of Ukraine. URL: https://mtu.gov.ua/files/Avar_analiz_2012.Pdf (date of application: 01.12.2022)
57. Analysis of traffic, flight and navigation safety in Ukraine in 2013 [Analiz stanu bezpeky rukhu, pol'otiv, sudnoplavstva v Ukrayini za 2013 rik]. Official website of the Ministry of Infrastructure of Ukraine. URL: https://mtu.gov.ua/files/Avar_analiz_2013.Pdf (date of application: 01.12.2022).

58. Analysis of traffic, flight and navigation safety in Ukraine in 2014 [Analiz stanu bezpeky rukhu, pol'otiv, sudnoplavstva v Ukrayini za 2014 rik]. Official website of the Ministry of Infrastructure of Ukraine. URL: <https://mtu.gov.ua/files/Аналіз за 2014.pdf> (date of application: 01.12.2022).
59. Analysis of traffic, flight and navigation safety in Ukraine in 2015 [Analiz stanu bezpeky rukhu, pol'otiv, sudnoplavstva v Ukrayini za 2015 rik]. Official website of the Ministry of Infrastructure of Ukraine. URL: <https://mtu.gov.ua/files/Аналіз - 2015.pdf> (date of application: 01.12.2022).
60. Ari, I. Optimal ship navigation with safety distance and realistic turn constraints / I. Ari, V. Aksakalli, V. Aydogdu, S. Kum // European Journal of Operational Research. – 2013. – Vol. 229, No. 3. – P. 707–717.
61. Aripuro A.B. The role of maritime geospatial in navigating uncharted waters mapped / A.B. Aripuro, A.A. Supriyadi // Remote Sensing Technology in Defense and Environment. – 2024. – Vol. 1. – № 1. – P. 19–27.
62. Bekir, E. Introduction to Modern Navigation System / E. Bekir. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007. – 256 p.
63. Bhatia M. Numerical analysis on the seakeeping performances of a full-scale container ship hull using strip theory / M. Bhatia, N. Das, P. Dutta, H. Chattopadhyay // Physics of Fluids. – 2023. – Vol. 35. – Art. 114106.
64. BMPM. Prestige Oil Spill Final Report. Madrid, 2004.
65. Boulougouris, E. Improvement of ship stability and safety in damaged condition through operational measures: Challenges and opportunities / E. Boulougouris, J. Cichowicz, A. Jasionowski, D. Konovessis // Ocean Engineering. – 2016. – Vol. 122. – P. 311–316. – DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.06.010.
66. Burmaka I. Methods of ships' external steering in condition of close quarters situation in Transport Means / I. Burmaka, M. Kulakov, Y. Khussein, O. Yanchetsky // Proceedings of the International Conference, 2020 September. – 2020. – P. 753–756.

67. Charalambopoulos N. Efficient ship weather routing using probabilistic roadmaps / N. Charalambopoulos, E. Xidias, A. Nearchou // *Ocean Engineering*. – 2023. – Vol. 273. – Art. № 114031.
68. Ding, X. Ship trajectory generator under the interference of wind, current and waves / X. Ding, H. Bian, H. Ma, R. Wang // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22, No. 23. – Art. № 9395. – DOI: 10.3390/s22239395.
69. Dutch Safety Board. Container Ship Portunus Incident Report. The Hague, 2020.
70. Fan Y. An Autonomous Dynamic Collision Avoidance Control Method for Unmanned Surface Vehicle in Unknown Ocean Environment / Y. Fan, X. Sun, G. Wang // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2019. – Vol. 16. – № 1. – P. 1–11.
71. Füredi, Z. The history of degenerate (bipartite) extremal graph problems / Z. Füredi, M. Simonovits // *Erdős Centennial*. – Heidelberg: Springer, 2013. – P. 169–264.
72. Geng X. Motion Plan of Maritime Autonomous Surface Ships by Dynamic Programming for Collision Avoidance and Speed Optimization / X. Geng, Y. Wang, B. Zhang // *Sensors*. – 2019. – Vol. 19. – № 2. – P. 434.
73. Golikov V. Efficiency of ship movement control on the route according to the principle of deviation from the line of movement / V. Golikov, K. Siniuta // *Proceedings of the International Scientific Conference SEA-CONF 2022*. – 2022. – pp. 222-226.
74. Golikov V.V. Analysis of vector of displacement out of way of ship from wind / V.V. Golikov, C.E. Maltsev // *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. – 2015. – № 1. – P. 29–35.
75. Gorb, S. Adjustment of speed governor for marine diesel generator engine / S. Gorb, A. Popovskii, M. Budurov // *International Journal of GEOMATE*. – 2023. – Vol. 25, №. 109. – P. 125–132. – DOI: 10.21660/2023.109.m2312.
76. Grlj C.G. The Impact of Numerical Parameters on the Resistance Characteristics of a Container Ship at the Model and Full Scale / C.G. Grlj, N. Degiuli, I. Martić

- // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – No 9. – P. 1672. DOI: 10.3390/jmse11091672.
77. Han, X. Whale optimization algorithm for ship path optimization in large-scale complex marine environment / X. Han, H. Yang, S. Song, S. H. Z. Sui // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 57168–57179.
 78. Hanif D. Fleet management models and algorithms for an oil-tanker routing and scheduling problem / D. Hanif, M.A. Salem-Y, M.H. Mersa // IIE Transactions. – 1999. – Vol. 31. – P. 395–406.
 79. Hoffman, K. L. Traveling salesman problem / K. L. Hoffman, M. Padberg, G. Rinaldi // Encycl. Oper. Res. Manag. Sci. – 2013. – Vol. 1. – P. 1573–1578.
 80. Huang, L. Integrating multi-source maritime information to estimate ship exhaust emissions under wind, wave and current conditions / L. Huang, Y. Wen, X. Geng, C. Zhou, C. Xiao // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2018. – Vol. 59. – P. 148–159.
 81. Infanger, G. Stochastic Programming / G. Infanger. – 1st ed. – New York, NY, USA: Springer, 2011. – 950 p.
 82. Inmarsat. Послуги SafetyNET / Inmarsat. – 2022. Available at: <https://www.inmarsat.com/en/solutions-services/maritime/safetynet.html>.
 83. International Maritime Organization (IMO). Resolution MSC.137(76) - Standards for Ship Manoeuvrability / IMO. – 2002.
 84. International Maritime Organization. COLREG, Rule 8 «Action to avoid collision» / IMO. – 1972. – London: IMO. Available at: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Preventing-Collisions.aspx>
 85. International Maritime Organization. ISM Code, Section 7 «Development of plans for shipboard operations» / IMO. – 2018. – London: IMO. Available at: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/ISMCode.aspx>
 86. International Maritime Organization. Resolution A.893(21) «Guidelines for Voyage Planning» / IMO. – 1999. – London: IMO. Available at: <https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Pages/Assembly.aspx>

87. International Maritime Organization. SOLAS, Chapter V, Regulation 34 «Safe navigation and avoidance of dangerous situations» / IMO. – 2004. – London: IMO. Available at: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Navigation.aspx>
88. International Maritime Organization. STCW, Section A-VIII/2, Part 3-1 «Voyage Planning» / IMO. – 2010. – London: IMO. Available at: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/STCW-Convention.aspx>
89. Jian Lv, X. Stochastic programming applications to agent route planning in adverse weather / X. Jian Lv, Z. Yao Yan // In International Conference on Computer, Artificial Intelligence, and Control Engineering (CAICE 2022). – SPIE, 2022. – Vol. 12288. – P. 297–304.
90. Jung C. The development of Ethernet-based radar and ECDIS image processing for Voyage Data Recorder / C. Jung, J. Kang, M. Jin // 2014 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2014). – Gyeonggi-do, Korea (South), 2014. – P. 963–966. DOI: 10.1109/ICCAS.2014.6987924.
91. Khliyeva, I. Environmental and energy comparative analysis of expediency of heat-driven and electrically-driven refrigerators for air conditioning application / I. Khliyeva, K. Shestopalov, V. Ierin, V. Zhelezny, G. Chen, G. Neng // Applied Thermal Engineering. – 2023. – Vol. 219, Part B. – P. 119533. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2022.119533.
92. Kim S.K. The Sewol ferry disaster in Korea and maritime safety management / S.K. Kim // Ocean Development & International Law. – 2015. – Vol. 46. – № 4. – P. 345–358.
93. Kim, K.-I., Lee, K. M. Dynamic programming-based vessel speed adjustment for energy saving and emission reduction / K.-I. Kim, K. M. Lee // Energies. – 2018. – Vol. 11, №. 5. – Art. № 1273. – DOI: 10.3390/en11051273.
94. Kouba J. A guide to using international GNSS service (IGS) products / J. Kouba // Geodetic Survey Division, Natural Resources Canada. – 2009. – 34 p.

95. Kryvyi, O. F. Construction and Analysis of Mathematical Models of Hydrodynamic Forces and Moment on the Ship's Hull Using Multivariate Regression Analysis / O. F. Kryvyi, M. V. Miyusov // *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. – 2021. – Vol. 15, №. 4. – P. 853-864. – DOI: 10.12716/1001.15.04.18.
96. Landau H. Virtual reference station systems / H. Landau, U. Vollath, X. Chen, et al. // *Journal of Global Positioning Systems*. – 2002. – Vol. 1. – № 2. – P. 137–143.
97. Lang, X. A Practical Speed Loss Prediction Model at Arbitrary Wave Heading for Ship Voyage Optimization / X. Lang, W. Mao // *J. Mar. Sci. Appl.* – 2021. – Vol. 20. – P. 410–425.
98. Lang, X. A Practical Speed Loss Prediction Model at Arbitrary Wave Heading for Ship Voyage Optimization / X. Lang, W. Mao // *J. Marine. Sci. Appl.* – 2021. – Vol. 20. – P. 410–425. – DOI: 10.1007/s11804-021-00224-z.
99. Larson K.M. Use of GPS receivers as a soil moisture network for water cycle studies / K.M. Larson, E.E. Small, E.D. Gutmann, et al. // *Geophysical Research Letters*. – 2008. – Vol. 35. – Art. L24405.
100. Le Carrer N. Optimising cargo loading and ship scheduling in tidal areas / N. Le Carrer, S. Ferson, P.L. Green // *European Journal of Operational Research*. – 2020. – Vol. 280. – № 3. – P. 1082–1094.
101. Li H. An Efficient Maritime Route Planning Method Based on an Improved A* with an Adaptive Heuristic Function and Parallel Computing Structure / H. Li, L. Qian, M. Hong, X. Wang // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13. – Art. 10873. DOI: 10.3390/app131910873.
102. Li M. Precise point positioning with the BeiDou navigation satellite system / M. Li, L.Z. Qu, Q.L. Zhao, et al. // *Sensors*. – 2014. – Vol. 14. – № 1. – P. 927–943.
103. Li Y. A Ship Route Planning Method under the Sailing Time Constraint / Y. Li, J. Cui, X. Zhang, X. Yang // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2023. – Vol. 11. – No 6. – Art. 1242. DOI: 10.3390/jmse11061242.

104. Li Y. Wave-interference effects on far-field ship waves in the presence of a shear current / Y. Li // *Journal of Ship Research*. – 2018. – Vol. 62. – № 01. – P. 37–47.
105. Lyu H. Fast Path Planning for Autonomous Ships in Restricted Waters / H. Lyu, Y. Yin // *Applied Sciences*. – 2018. – Vol. 8. – № 12. – P. 2592.
106. MAIB. Baltic Ace/Cypress Collision Report. Southampton, 2010.
107. MAIR. Investigation Report on Townsend Thoresen Incident. London, 153, 1988.
108. Maritime Injury Guide. Norwegian Dawn Allision Case Study. Houston, 2006.
109. Martelli M. An Outlook on the Future Marine Traffic Management System for Autonomous Ships / M. Martelli, A. Virdis, A. Gotta, P. Cassarà, M. Di Summa // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 157316–157328. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3130741.
110. Nastro, V. Great circle navigation with vectorial methods / V. Nastro, U. Tancredi // *Journal of Navigation*. – 2010. – Vol. 63, №. 3. – P. 557–563. – DOI: 10.1017/S0373463310000044.
111. Nguyen T. Evaluation of the accuracy of the ship location determined by GPS global positioning system on a given sea area / T. Nguyen // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1515. – Art. 042010.
112. Onyshchenko, S. Integrated optimization models for carrier selection and route planning in multimodal transport systems / S. Onyshchenko, V. Berestenko, O. Melnyk, O. Onishchenko, O. Fomin, O. Kravchenko, O. Demidiuk // *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. – 2024. – Vol. 125. – P. 215-230. – DOI: 10.20858/sjsutst.2024.125.14.
113. Ouyang Y.Z. The application of GPS altimetry in hydrographic surveying without tidal observation / Y.Z. Ouyang, X.P. Lu, M. Huang, et al. // *Hydrographic Surveying and Charting*. – 2005. – Vol. 25. – № 1. – P. 6–13.
114. Paziewski J. Accounting for Galileo-GPS inter-system biases in precise satellite positioning / J. Paziewski, P. Wielgosz // *Journal of Geodesy*. – 2015. – Vol. 89. – № 1. – P. 81–93.
115. Perry S. Applied Business Forecasting / S. Perry // *Management Accounting*. – 1994. – Vol. 72. – № 3. – P. 40.

116. Prasad R. Applied satellite navigation using GPS, GALILEO, and augmentation systems / R. Prasad, M. Ruggieri. – Artech House, Boston, 2005. – 309 p.
117. Prpić-Oršić, J. Uncertainties of ship speed loss evaluation under real weather conditions / J. Prpić-Oršić, K. Sasa, M. Valčić, O. M. Faltinsen // J. Offshore Mech. Arct. Eng. – 2020. – Vol. 142. – Art. № 031106.
118. Ramos M.A. Collision Avoidance on Maritime Autonomous Surface Ships: Operators' Tasks and Human Failure Events / M.A. Ramos, I.B. Utne, A. Mosleh // Safety Science. – 2019. – Vol. 116. – P. 33–44.
119. Rybczak M. Safe Control of an Autonomous Ship in a Port Based on Ant Colony Optimization and Linear Matrix Inequalities / M. Rybczak, A. Lazarowska // Electronics. – 2024. – Vol. 13. – № 17. – P. 3525. DOI: 10.3390/electronics13173525.
120. Saaty, T. L. Mathematical Principles of Decision Making / T. L. Saaty. – Pittsburgh, PA: RWS Publications, 2010. – 531 p.
121. Saydam, A. Z. Evaluation of wind loads on ships by CFD analysis / A. Z. Saydam, M. Taylan // Ocean Engineering. – 2018. – Vol. 158. – P. 54–63. – DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.03.071.
122. Schotte, M. Sailing school: Navigating science and skill, 1550–1800 / M. Schotte. – Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2019. – 320 p.
123. Selimović D. Improving the Performance of Dynamic Ship Positioning Systems: A Review of Filtering and Estimation Techniques / D. Selimović, J. Lerga, J. Prpić-Oršić, S. Kenji // Journal of Marine Science and Engineering. – 2020. – Vol. 8. – № 4. – P. 234. DOI: 10.3390/jmse8040234.
124. Semanjski S. Use and Validation of Supervised Machine Learning Approach for Detection of GNSS Signal Spoofing / S. Semanjski, A. Muls, I. Semanjski, W. De Wilde // 2019 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS). – Nuremberg, Germany, 2019. – P. 1–6. DOI: 10.1109/ICL-GNSS.2019.8752775.

125. Sharma, A. Exploring technical and non-technical competencies of navigators for autonomous shipping / A. Sharma, T. Kim // *Mar Policy Manag.* – 2021. – P. 831–849. – DOI: 10.1080/03088.
126. Shih Y.-C. Speed Optimization in Bulk Carriers: A Weather-Sensitive Approach for Reducing Fuel Consumption / Y.-C. Shih, Y.-A. Tzeng, C.-W. Cheng, C.-H. Huang // *Journal of Marine Science and Engineering.* – 2023. – Vol. 11. – № 10. – P. 2000. DOI: 10.3390/jmse11102000.
127. Skora, K. Voyage Planning / K. Skora, A. Wolski // *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport.* – 2016. – Vol. 92. – P. 123–128. – DOI: 10.20858/sjsutst.2016.92.12.
128. Sokolenko V. The system of precision planning marine ship's voyage / V. Sokolenko // *Proceedings of the National Aviation University.* – 2016. – Vol. 68. – № 3. – P. 46–53. DOI: 10.18372/2306-1472.68.10908.
129. Srše J. Field Studies on Sediment Resuspension Induced by Shipping: Vessel Kinematic Measurements and Water Sampling in the Port of Koper / J. Srše, M. Perkovič // 2024 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea; Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea). – Portorose, Slovenia, 2024. – P. 353–357. DOI: 10.1109/MetroSea62823.2024.10765676.
130. Stevenson, A. Concise Oxford English Dictionary: Book & CD-ROM Set / A. Stevenson, M. Waite (Eds.). – Oxford University Press, USA, 2011. – 1682 p.
131. Sun, W. An Improved Ship Weather Routing Framework for CII Reduction Accounting for Wind-Assisted Rotors / W. Sun, S. Tang, X. Liu, S. Zhou, J. Wei // *Journal of Marine Science and Engineering.* – 2022. – Vol. 10, №. 12. – Art. № 1979. – DOI: 10.3390/JMSE10121979.
132. Suo Y. A Ship Trajectory Prediction Framework Based on a Recurrent Neural Network / Y. Suo, W. Chen, C. Claramunt, S. Yang // *Sensors.* – 2020. – Vol. 20. – № 18. – Art. 5133. DOI: 10.3390/s20185133.
133. Szelangiewicz T. The influence of wind, wave and loading condition on total resistance and speed of the vessel / T. Szelangiewicz, B. Wiśniewski, K. Żelazny

- // Polish Maritime Research. – 2014. – Vol. 21. – № 3(83). – P. 61–67. DOI: 10.2478/pomr-2014-0031.
134. The state of accident rate and safety of navigation on water transport in Ukraine (including abroad, but with Ukrainian vessels), including small (small) vessels for 2019 with an increasing total [Stan avariynosti ta bezpeky sudnoplavstva na vodnomu transporti v Ukrayini (u tomu chysli i za yiyi mezhamy, ale iz ukrayins'kymy sudnamy), vklyuchayuchy malomirni (mali) sudna za 2019 rik z narostayuchym pidsumkom]. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-avariynostiza-2019.pdf> (date of application: 01.12.2022).
 135. The state of accident rate and safety of navigation on water transport in Ukraine (including abroad, but with Ukrainian vessels), including small (small) vessels for 2020 with an increasing total [Stan avariynosti ta bezpeky sudnoplavstva na vodnomu transporti v Ukrayini (u tomu chysli i za yiyi mezhamy, ale iz ukrayins'kymy sudnamy), vklyuchayuchy malomirni (mali) sudna za 2020 rik z narostayuchym pidsumkom]. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. URL: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/16012021/Zvit_2020.pdf (date of application: 01.12.2022).
 136. The state of accident rate and safety of navigation on water transport in Ukraine (including abroad, but with Ukrainian vessels), including small (small) vessels for the 1st half of 2019 with an increasing total [Stan avariynosti ta bezpeky sudnoplavstva na vodnomu transporti v Ukrayini (u tomu chysli i za yiyi mezhamy, ale iz ukrayins'kymy sudnamy), vklyuchayuchy malomirni (mali) sudna za 1 pivrichchya 2019 roku z narostayuchym pidsumkom]. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-4-avariynosti-za-2-kv-2019.docx> (date of application: 01.12.2022).
 137. Tilley, S. System Analysis and Design / S. Tilley, H. Rosenblatt. – 11th ed. – USA: Cengage Learning, 2017. – 752 p.

138. Tomera M. Control of Dynamic Positioning System with Disturbance Observer for Autonomous Marine Surface Vessels / M. Tomera, K. Podgórski // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21. – No 20. – P. 6723. DOI: 10.3390/s21206723.
139. Vagushchenko, A. A. Numerical method for the selection of maneuvers to avoid collision with several vessels / A. A. Vagushchenko, L. L. Vagushchenko // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. – 2020. – Vol. VIII, Issue 27. – P. 74–80.
140. Vasheghani, M. Strategic planning for multimodal transportation in ports / M. Vasheghani, M. Abtahi // *Maritime Policy & Management*. – 2023. – Vol. 50, № 7. – P. 957–979.
141. Vorokhobin I. Simulation modeling for evaluation of efficiency of observed ship coordinates / I. Vorokhobin, I. Burmaka, I. Fusar, O. Burmaka // *TransNav*. – 2022. – Vol. 16. – № 1. – P. 137–141.
142. Vukić, L. Economic and environmental competitiveness of container shipping on alternative maritime routes in the Asia-Europe trade flow / L. Vukić, M. d. M. Cerbán // *Maritime Transport Research*. – 2022. – Vol. 3. – Art. № 100070. – DOI: 10.1016/j.martra.2022.100070.
143. Wan, S. Emerging marine pollution from container ship accidents: Risk characteristics, response strategies, and regulation advancements / S. Wan, X. Yang, X. Chen, Z. Qu, C. An, B. Zhang, K. Lee, H. Bi // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Vol. 376. – Art. № 134266.
144. Wang L. Ship Route Planning Based on Double-Cycling Genetic Algorithm Considering Ship Maneuverability Constraint / L. Wang, Z. Zhang, Q. Zhu, S. Ma // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – P. 190746–190759. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3031739.
145. Wilberg, K.H. Improving humanitarian response through an innovative pre-positioning concept: an investigation of how commercial vessels can be used to store and transport relief items / K.H. Wilberg, A.L. Olafsen // *Master Thesis in Business and Economics, BI Norwegian Business School*. – 2012. – 139 p.

146. Wu W. A Review on Motion Prediction for Intelligent Ship Navigation / W. Wu // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2024. – Vol. 12. – № 1. – P. 107.
147. Wu, B. Selection of maritime safety control options for NUC ships using a hybrid group decision-making approach / B. Wu, X. Yan, Y. Wang, C. G. Soares // *Safety Science*. – 2016. – Vol. 88. – P. 108–122.
148. Xiao G. The Application of Artificial Intelligence Technology in Shipping: A Bibliometric Review / G. Xiao, D. Yang, L. Xu, J. Li, Z. Jiang // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2024. – Vol. 12. – № 4. – P. 624. DOI: 10.3390/jmse12040624.
149. Xu T. An Improved D* Lite-Based Dynamic Route Planning Algorithm for Ships in Arctic Waters / T. Xu, H. Yang, J. Ma, K. Xiong, Q. Hu // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2024. – Vol. 12. – № 12. – P. 2323. DOI: 10.3390/jmse12122323.
150. Yuan B. Prediction of Full-Frequency Deep-Sea Noise Based on Sea Surface Wind Speed and Real-Time Noise Data / B. Yuan, L. Lu, Z. Wang, G. Song, L. Ma, W. Wang // *Remote Sensing*. – 2025. – Vol. 17. – № 1. – P. 101. DOI: 10.3390/rs17010101.
151. Zhang C. Ship Navigation System / C. Zhang, M. Zhang, D. Zhang // In: Cui W., Fu S., Hu Z. (eds) *Encyclopedia of Ocean Engineering*. – Springer, Singapore, 2022. – P. 1622–1628. DOI: 10.1007/978-981-10-6946-8_246.
152. Zhang, H. Anti-disturbance control for dynamic positioning system of ships with disturbances / H. Zhang, X. Wei, Y. Wei, X. Hu // *Appl. Math. Comput.* – 2021. – Vol. 396. – Art. № 125929.
153. Zhao S. Ship Global Traveling Path Optimization via a Novel Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm / S. Zhao, S. Zhao // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2024. – Vol. 12. – № 3. – P. 485. DOI: 10.3390/jmse12030485.
154. Zhao W. Multi-objective weather routing algorithm for ships based on hybrid particle swarm optimization / W. Zhao, H. Wang, J. Geng, W. Hu, Z. Zhang, G. Zhang // *Journal of Ocean University of China*. – 2022. – Vol. 21. – P. 28–38. DOI: 10.1007/s11802-022-4709-8.

Додаток А

Оцінка та верифікація параметрів руху судна за даними випробувань на
контейнеровозі «THALASSA HELLAS»

Таблиця А.1 – Результати натурних випробувань параметрів руху судна на «THALASSA HELLAS»

Дата	Час	К _в	V _в	V _г	K _г	Бал XB	K _{XB}	K _c	φ ^{V(c)}	λ ^{V(c)}	V _s	K _s	K _К	V _ш	λ _o	λ _o	V _{ш(о)}	V _{с(о)}	рис	K _{К(2)}
15	18	0	22	1	247,5	4	337,5	153	20° 1' 8"N	39° 15' 4" E	1,13	143,22	152,27	21,80	19° 42' 7" N	39° 25' 3,5" E	21,48	0,78	-	153,71
	19	0	22	0,5	22,5	4	337,5	153	19° 42' 7"N	39° 25' 3,5" E	1,75	5,26	149,91	22,02	19° 23' 6" N	39° 35' 3" E	21,48	1,17	-	151,35
	20	0	17	0,2	247,5	4	337,5	153	19° 23' 6"N	39° 35' 3" E	0,57	168,91	152,27	21,20	19° 4' 1" N	39° 45' 9" E	21,59	0,89	-	153,41
	21	337,5	17	0,4	270	4	315	153	19° 4' 1"N	39° 45' 9" E	0,90	141,09	152,25	21,56	18° 44' 0" N	39° 55' 5,4" E	22,35	1,72	0,59	151,07
	22	337,5	17	0,5	270	4	315	153	18° 44' 0"N	39° 55' 5,4" E	0,98	137,85	152,01	21,60	18° 24' 3" N	40° 5' 2" E	22,29	1,69	0,51	150,99
	23	337,5	17	0,3	315	4	315	153	18° 24' 3"N	40° 5' 2" E	0,97	152,74	152,98	21,67	18° 4' 60" N	40° 15' 60" E	21,98	1,68	2,89	147,20
16	1	337,5	17	0,3	337,5	4	315	153	18° 4' 60"N	40° 15' 60" E	0,99	157,50	152,70	21,68	17° 46' 9" N	40° 27' 1" E	21,83	1,59	2,69	147,31
	2	0	11	0,1	22,5	3	157,5	153	17° 46' 9"N	40° 27' 1" E	1,18	4,04	152,22	19,56	17° 27' 8" N	40° 37' 7" E	21,53	0,84	-	153,38
	3	0	11	0,1	22,5	3	157,5	153	17° 27' 8"N	40° 37' 7" E	1,18	4,04	152,22	19,56	17° 8' 7" N	40° 47' 3" E	21,45	0,76	-	153,38
	4	0	11	0,2	157,5	3	157,5	153	17° 8' 7"N	40° 47' 3" E	1,42	16,10	152,48	19,29	16° 49' 0" N	40° 56' 30" E	21,32	0,77	0,70	151,09
	5	0	11	0,2	157,5	3	157,5	153	16° 49' 0"N	40° 56' 30" E	1,42	16,10	152,48	19,29	16° 30' 4" N	41° 6' 8" E	21,24	0,58	0,03	152,41
	6	22,5	7	0,4	270	2	157,5	153	16° 30' 4"N	41° 6' 8" E	1,66	117,39	152,40	19,06	16° 11' 0" N	41° 16' 60" E	21,95	1,47	1,48	149,43
	7	22,5	7	0,4	270	2	157,5	153	16° 11' 0"N	41° 16' 60" E	1,66	117,39	152,40	19,06	15° 52' 1" N	41° 28' 0" E	21,94	1,55	1,89	148,61
	8	180	11	0,5	0	2	157,5	153	15° 52' 1"N	41° 28' 0" E	1,90	0,00	152,94	18,80	15° 33' 3" N	41° 37' 2" E	21,01	0,66	1,53	149,87
	9	180	11	0,7	45	3	157,5	153	15° 33' 3"N	41° 37' 2" E	1,85	84,81	151,72	18,90	15° 14' 4" N	41° 47' 8" E	21,50	0,81	-	153,75
	10	180	11	0,8	22,5	3	157,5	153	15° 14' 4"N	41° 47' 8" E	1,54	46,64	151,88	19,21	14° 55' 3,48" N	41° 55' 38,5" E	20,83	1,46	2,89	146,11

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	Кв	Вв	Vr	Кг	Бал хв	Кш	Кс	φV(сl)	λV(сl)	Vs	Кз	КК	Vш	φо	λо	Vш(о)	Vs(о)	рис	КК(2)
	11	180	11	0,8	22,5	3	157,5	153	14° 55' 3,48" N	41° 55' 38,5" E	1,54	46,64	151,88	19,21	14° 36' 3" N	42° 4' 9" E	20,83	1,46	2,89	146,11
	12	157,5	17	0,5	247,5	4	157,5	154	14° 36' 3" N	42° 4' 9" E	0,83	181,81	152,43	20,08	14° 16' 35" N	42° 13' 6,5" E	21,43	1,28	1,29	149,85
	13	157,5	22	0,4	180	5	157,5	154	14° 16' 35" N	42° 13' 6,5" E	0,36	341,47	153,20	20,92	13° 57' 7" N	42° 22' 4" E	21,43	1,06	1,29	150,63
	14	157,5	22	0,4	337,5	5	157,5	154	13° 57' 7" N	42° 22' 4" E	0,54	337,50	153,76	20,17	13° 37' 42,33" N	42° 30' 43,33" E	21,25	0,98	1,97	149,82
	15	135	11	0,25	292,5	2,5	157,5	147	13° 37' 42,33" N	42° 30' 43,33" E	0,20	323,50	146,78	10,15	13° 30' 0" N	42° 36' 3" E	9,37	1,01	1,22	144,33
	15.30	135	11	0,25	292,5	2,5	157,5	127	13° 30' 0" N	42° 36' 3" E	0,89	323,24	125,97	11,22	13° 23' 6" N	42° 45' 2" E	11,33	1,02	0,53	124,91
	16	135	22	0,2	90	5	157,5	145	13° 23' 6" N	42° 45' 2" E	0,48	310,75	143,70	20,58	13° 6' 34,5" N	42° 58' 32" E	21,34	1,26	1,65	140,41
	17	135	22	0,5	337,5	5	157,5	145	13° 6' 34,5" N	42° 58' 32" E	0,83	306,63	143,85	19,98	12° 50' 3" N	43° 12' 2" E	21,34	1,30	1,95	139,95
	18	112,5	17	0,3	315	4	135	148	12° 50' 3" N	43° 12' 2" E	1,27	283,43	146,59	19,53	12° 33' 7" N	43° 24' 4" E	20,77	0,72	0,57	145,45
	19	112,5	17	0,4	315	4	135	120	12° 33' 7" N	43° 24' 4" E	1,02	280,49	119,32	19,71	12° 24' 5" N	43° 42' 8" E	20,20	1,10	2,07	115,17
	20	112,5	11	0,3	270	3	135	110	12° 24' 5" N	43° 42' 8" E	1,43	323,52	109,66	19,28	12° 16' 4" N	44° 4' 1" E	23,31	2,61	0,12	109,42
	21	135	17	1	270	4	135	114	12° 16' 4" N	44° 4' 1" E	1,81	199,92	111,84	19,06	12° 7' 36,48" N	44° 22' 3,48" E	19,93	1,40	1,12	109,61
	22	135	17	1,7	315	4	135	114	12° 7' 36,48" N	44° 22' 3,48" E	1,09	135,00	113,34	19,63	11° 59' 9" N	44° 40' 6" E	19,93	1,00	1,12	111,11
	23	112,5	17	1,5	315	4	135	114	11° 59' 9" N	44° 40' 6" E	1,51	177,31	112,43	19,29	11° 52' 5" N	45° 0' 0" E	21,12	1,13	1,31	109,81
17	0	112,5	17	1,6	315	4	135	74	11° 52' 5" N	45° 0' 0" E	1,00	163,87	71,83	20,06	11° 58' 2,46" N	45° 20' 33,48" E	21,40	1,02	- 0,16	72,15
	1	67,5	17	0,9	315	4	90	72	11° 58' 2,46" N	45° 20' 33,48" E	2,53	19,84	69,54	18,31	12° 3' 60" N	45° 41' 7" E	21,40	1,73	1,84	65,87

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	Кв	V _Б	V _Г	К _Г	Бал ХБ	К _{ХБ}	К _с	φ _{V(сl)}	λ _{V(сl)}	V _с	К _К	V _ш	φ ₀	λ ₀	V _{ш(0)}	V _{с(0)}	рис	КК(2)
	2	67,5	17	0,2	270	4	90	72	12° 3' 60"N	45° 41' 7"E	2,60	62,73	18,11	12° 10' 30"N	46° 2' 3,6"E	21,93	1,30	0,76	70,07
	3	67,5	17	1,3	157,5	4	90	72	12° 10' 30"N	46° 2' 3,6"E	1,30	297,21	20,18	12° 17' 0"N	46° 23' 1"E	21,94	1,97	0,77	67,11
	4	67,5	17	1,2	157,5	4	90	72	12° 17' 0"N	46° 23' 1"E	1,21	294,94	20,18	12° 24' 2,46"N	46° 43' 33,6"E	21,72	1,29	0,92	70,76
	5	67,5	17	1,2	157,5	4	90	72	12° 24' 2,46"N	46° 43' 33,6"E	1,21	294,94	20,18	12° 31' 5"N	47° 4' 7"E	21,73	1,30	0,91	70,75
	6	90	11	0,3	67,5	3	90	72	12° 31' 5"N	47° 4' 7"E	2,34	81,10	18,36	12° 38' 2,46"N	47° 25' 34,8"E	22,56	1,87	0,04	71,60
	7	90	17	0,3	0	4	90	72	12° 38' 2,46"N	47° 25' 34,8"E	2,77	74,03	17,93	12° 45' 0"N	47° 47' 3"E	22,57	1,87	0,04	71,81
	8	67,5	11	1,5	0	3	90	72	12° 45' 0"N	47° 47' 3"E	2,93	14,40	18,11	12° 51' 5"N	48° 8' 6"E	21,91	2,52	1,88	64,18
	9	45	17	1,5	22,5	4	45	72	12° 51' 5"N	48° 8' 6"E	3,91	31,58	17,07	12° 58' 2"N	48° 30' 60"E	23,93	3,89	1,12	65,32
	10	67,5	17	1	67,5	4	90	72	12° 58' 2"N	48° 30' 60"E	3,78	67,50	16,92	13° 4' 5"N	48° 53' 2"E	22,85	2,45	2,65	66,25
	11	45	17	1	112,5	4	90	72	13° 4' 5"N	48° 53' 2"E	3,36	78,39	17,35	13° 11' 3"N	49° 14' 8"E	22,22	1,52	0,27	72,03
	12	67,5	17	1,7	135	4	67,5	72	13° 11' 3"N	49° 14' 8"E	1,44	289,36	20,84	13° 17' 33,6"N	49° 35' 38,46"E	22,47	2,62	1,16	65,72
	13	337,5	17	1,7	157,5	4	90	72	13° 17' 33,6"N	49° 35' 38,46"E	1,80	337,50	19,06	13° 24' 5"N	49° 57' 9"E	22,48	2,16	1,13	67,62
	14	337,5	17	1,1	157,5	4	90	74	13° 24' 5"N	49° 57' 9"E	1,67	337,50	19,03	13° 29' 35,5"N	50° 18' 35,4"E	22,14	1,63	1,59	70,36
	15	22,5	17	0,1	135	4	90	74	13° 29' 35,5"N	50° 18' 35,4"E	2,43	28,21	18,36	13° 35' 6"N	50° 40' 2"E	22,14	1,93	1,59	68,97
	16	22,5	17	0,2	112,5	4	90	72	13° 35' 6"N	50° 40' 2"E	2,54	34,19	18,23	13° 42' 6,96"N	51° 1' 1"E	22,13	1,49	0,49	71,30
	17	22,5	17	0,2	112,5	4	90	72	13° 42' 6,96"N	51° 1' 1"E	2,54	34,19	18,23	13° 49' 8"N	51° 22' 0"E	22,13	1,49	0,49	71,31
	18	67,5	7	1,7	292,5	2	90	72	13° 49' 8"N	51° 22' 0"E	1,40	117,40	19,83	13° 56' 34,2"N	51° 43' 1,8"E	22,31	1,72	1,47	71,85

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	К _в	V _в	V _г	K _г	Бал хв	K _{дв}	K _с	φ _{V(с)}	λ _{V(с)}	V _з	K _к	V _ш	φ _о	λ _о	V _{ш(о)}	V _{з(о)}	рис	K _{к(2)}
	19	67,5	7	1,7	292,5	2	90	72	13° 56' 34,2" N	51° 43' 1,8" E	1,40	68,90	19,83	14° 4' 1" N	52° 4' 4" E	22,32	1,72	-	71,89
	20	67,5	11	1	315	3	90	75	14° 4' 1" N	52° 4' 4" E	1,82	72,43	19,11	14° 9' 3" N	52° 24' 33,6" E	21,10	1,43	1,20	70,03
	21	67,5	11	1	315	3	90	75	14° 9' 3" N	52° 24' 33,6" E	1,82	72,43	19,11	14° 14' 5" N	52° 45' 4" E	21,12	1,44	1,21	70,02
	22	315	7,7	0,35	315	2,1	315	75	14° 14' 5" N	52° 45' 4" E	0,59	72,76	14,32	14° 18' 6" N	53° 0' 0" E	15,46	1,13	-	72,87
	22:42	67,5	14,3	0,78	225	3,9	45	107	14° 18' 6" N	53° 0' 0" E	0,80	183,41	26,17	14° 13' 6" N	53° 20' 0" E	20,62	6,36	1,59	103,13
	24	67,5	11	0,6	225	3	45	108	14° 13' 6" N	53° 20' 0" E	0,61	183,52	20,14	14° 9' 3,6" N	53° 33' 30" E	14,09	6,61	-	107,37
	1	67,5	11	1,6	202,5	3	67,5	108	14° 9' 3,6" N	53° 33' 30" E	1,39	188,85	21,12	14° 5' 2" N	53° 47' 8" E	14,22	6,51	-	107,47
	2	67,5	11	1,6	202,5	3	67,5	108	14° 5' 2" N	53° 47' 8" E	1,39	188,85	21,12	14° 1' 34,8" N	53° 58' 4,8" E	11,48	9,26	-	105,36
	2	67,5	11	1,6	202,5	3	67,5	108	14° 1' 34,8" N	53° 58' 4,8" E	1,39	188,85	21,12	13° 58' 8" N	54° 9' 2" E	11,48	9,25	-	105,44
	3	67,5	11	1,6	202,5	3	67,5	108	13° 58' 8" N	54° 9' 2" E	1,39	188,85	21,12	13° 52' 3" N	54° 30' 3" E	21,88	1,35	-	108,09
	4	45	11	0,9	157,5	3	45	108	13° 52' 3" N	54° 30' 3" E	0,34	308,89	20,86	13° 45' 32,4" N	54° 51' 5,4" E	22,02	1,32	-	108,79
	5	45	11	0,9	157,5	3	45	108	13° 45' 32,4" N	54° 51' 5,4" E	0,34	308,89	20,86	13° 39' 2" N	55° 12' 8" E	22,03	1,33	-	108,81
	6	45	17	1	22,5	4	45	108	13° 39' 2" N	55° 12' 8" E	2,16	33,44	102,90	13° 32' 5,4" N	55° 32' 37,5" E	21,64	2,34	0,72	101,46
	7	67,5	22	0,7	22,5	4	67,5	108	13° 32' 5,4" N	55° 32' 37,5" E	2,51	53,83	103,29	13° 25' 9" N	55° 53' 7" E	21,63	2,21	0,71	101,88
	8	270	17	0,2	270	4	67,5	108	13° 25' 9" N	55° 53' 7" E	1,85	270,00	18,88	13° 18' 37,2" N	56° 13' 36" E	21,50	0,85	-	107,57
	9	270	17	0,2	270	4	67,5	108	13° 18' 37,2" N	56° 13' 36" E	1,85	270,00	18,88	13° 12' 6" N	56° 34' 6" E	21,51	0,85	-	107,65
	10	112,5	11	1,1	202,5	3	112,5	108	13° 12' 6" N	56° 34' 6" E	1,67	359,52	19,44	13° 6' 38" N	56° 55' 26" E	22,02	1,34	-	110,16
	11	67,5	11	1,7	202,5	3	90	108	13° 6' 38" N	56° 55' 26" E	1,99	189,80	104,10	13° 0' 0" N	57° 15' 5" E	20,74	1,65	0,65	102,79

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	K _с	V _с	V _т	K _т	Бал хв	K _{хв}	K _с	φ ^{V(cl)}	λ ^{V(cl)}	V _с	K _с	K _К	V _ш	φ ₀	λ ₀	V _{ш(0)}	V _{с(0)}	рис	K _{К(2)}
	12	67,5	11	1,4	202,5	3	90	108	13° 0' 0" N	57° 15' 5" E	1,77	186,45	104,93	19,29	12° 53' 30" N	57° 35' 30" E	21,43	1,24	-	105,61
	13	67,5	11	1,4	202,5	3	90	108	12° 53' 30" N	57° 35' 30" E	1,77	186,45	104,93	19,29	12° 47' 0" N	57° 56' 4" E	21,57	1,30	-	105,85
	14	67,5	11	0,4	337,5	3	90	108	12° 47' 0" N	57° 56' 4" E	1,79	25,37	106,36	19,01	12° 40' 30" N	58° 16' 18,6" E	21,26	0,77	-	106,76
	15	67,5	11	0,4	337,5	3	90	108	12° 40' 30" N	58° 16' 18,6" E	1,79	25,37	106,36	19,01	12° 34' 0,96" N	58° 36' 33,6" E	21,26	0,76	-	106,85
	16	67,5	11	0,6	315	3	90	108	12° 34' 0,96" N	58° 36' 33,6" E	1,52	178,49	106,45	19,28	12° 27' 30" N	58° 56' 48,6" E	21,27	0,77	-	106,78
	17	67,5	11	0,6	315	3	90	108	12° 27' 30" N	58° 56' 48,6" E	1,52	178,49	106,45	19,28	12° 21' 2" N	59° 17' 4" E	21,26	0,73	-	107,04
	18	45	11	0,6	337,5	3	90	108	12° 21' 2" N	59° 17' 4" E	1,65	5,10	105,67	19,27	12° 14' 30" N	59° 36' 34,8" E	20,58	1,03	0,51	104,65
	19	45	11	0,6	337,5	3	90	108	12° 14' 30" N	59° 36' 34,8" E	1,65	5,10	105,67	19,27	12° 8' 7" N	59° 56' 6" E	20,54	0,89	0,11	105,45
	20	22,5	11	0,6	292,5	3	90	108	12° 8' 7" N	59° 56' 6" E	1,15	148,11	106,68	19,65	12° 1' 36" N	60° 16' 36" E	21,51	0,88	-	107,41
	21	22,5	11	0,6	292,5	3	90	108	12° 1' 36" N	60° 16' 36" E	1,15	148,11	106,68	19,65	11° 55' 8" N	60° 37' 9" E	21,54	0,89	-	107,75
	22	45	17	0,7	247,5	4	90	108	11° 55' 8" N	60° 37' 9" E	1,63	3,23	106,92	19,11	11° 49' 6" N	60° 56' 36" E	20,36	0,35	-	108,46
	23	45	17	0,7	247,5	4	90	108	11° 49' 6" N	60° 56' 36" E	1,63	3,23	106,92	19,11	11° 43' 4" N	61° 16' 4" E	20,38	0,34	-	108,48
	24	22,5	17	0,6	225	4	45	108	11° 43' 4" N	61° 16' 4" E	0,58	171,18	106,91	20,27	11° 36' 30" N	61° 36' 30" E	21,46	0,83	-	107,28
	1	22,5	17	0,8	225	4	337,5	108	11° 36' 30" N	61° 36' 30" E	0,25	144,67	107,40	20,57	11° 30' 5" N	61° 57' 6" E	21,58	0,88	-	108,40
	2	45	17	0,9	225	4	337,5	108	11° 30' 5" N	61° 57' 6" E	0,44	45,00	107,89	20,26	11° 23' 36" N	62° 17' 6,6" E	21,03	0,34	-	107,98
	3	22,5	17	0,8	225	4	337,5	108	11° 23' 36" N	62° 17' 6,6" E	0,25	144,67	107,40	20,57	11° 17' 8" N	62° 37' 8" E	21,04	0,39	-	107,61
	4	22,5	17	0,4	202,5	4	337,5	108	11° 17' 8" N	62° 37' 8" E	0,70	22,50	106,53	20,23	11° 10' 34,8" N	62° 58' 6" E	21,97	1,30	-	107,82
	5	22,5	22	0,6	225	5	337,5	108	11° 10' 34,8" N	62° 58' 6" E	0,90	7,78	105,54	20,58	11° 4' 2" N	63° 19' 4" E	21,96	1,43	-	106,86

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	К _з	V _z	V _т	K _т	Бал хв	K _{хв}	K _с	φ ^{V(cl)}	λ ^{V(cl)}	V _з	K _з	K _К	V _ш	φ ₀	λ ₀	V _{ш(0)}	V _{з(0)}	рис	K _{К(2)}
	6	22,5	17	0,7	225	4	337,5	108	11° 4' 2" N	63° 19' 4" E	0,35	159,27	107,16	20,52	10° 57' 33,6" N	63° 39' 3,6" E	21,02	0,43	-	107,27
	7	22,5	17	0,6	225	4	337,5	108	10° 57' 33,6" N	63° 39' 3,6" E	0,45	171,18	106,91	20,48	10° 51' 6" N	63° 59' 4" E	21,02	0,48	-	107,12
	8	22,5	17	0,4	225	4	337,5	108	10° 51' 6" N	63° 59' 4" E	0,65	7,27	106,42	20,38	10° 44' 36" N	64° 19' 30" E	21,44	0,87	-	107,12
	9	22,5	17	0,6	225	4	337,5	108	10° 44' 36" N	64° 19' 30" E	0,45	171,18	106,91	20,48	10° 38' 6" N	64° 40' 4" E	21,57	0,90	-	107,83
	10	22,5	17	0,5	225	4	337,5	108	10° 38' 6" N	64° 40' 4" E	0,55	0,34	106,66	20,43	10° 31' 36,6" N	64° 59' 36" E	20,58	0,63	0,38	105,90
	11	22,5	17	0,5	225	4	337,5	108	10° 31' 36,6" N	64° 59' 36" E	0,55	0,34	106,66	20,43	10° 25' 8" N	65° 19' 9" E	20,59	0,61	0,33	106,00
	12	22,5	17	0,5	225	4	337,5	108	10° 25' 8" N	65° 19' 9" E	0,55	0,34	106,66	20,43	10° 18' 38,4" N	65° 39' 37,8" E	21,48	0,86	-	107,48
	13	22,5	17	0,6	225	4	112,5	108	10° 18' 38,4" N	65° 39' 37,8" E	1,54	171,18	106,91	19,21	10° 12' 9" N	66° 0' 7" E	21,49	0,83	-	107,75
	14	22,5	17	0,5	225	4	135	108	10° 12' 9" N	66° 0' 7" E	1,60	0,34	106,66	19,16	10° 5' 38,4" N	66° 20' 36" E	21,49	0,87	-	107,40
	15	22,5	17	0,7	202,5	4	135	108	10° 5' 38,4" N	66° 20' 36" E	1,72	22,50	107,36	19,00	9° 59' 8" N	66° 41' 8" E	21,54	0,84	-	108,20
	16	22,5	17	0,6	202,5	4	135	108	9° 59' 8" N	66° 41' 8" E	1,74	22,50	107,08	18,99	9° 52' 38,4" N	67° 1' 34,8" E	21,45	0,78	-	107,85
	17	22,5	17	0,6	225	4	135	108	9° 52' 38,4" N	67° 1' 34,8" E	1,54	171,18	106,91	19,21	9° 46' 9" N	67° 22' 2" E	21,46	0,80	-	107,70
	18	22,5	17	0,3	247,5	4	135	108	9° 46' 9" N	67° 22' 2" E	1,70	6,07	105,97	19,16	9° 39' 39" N	67° 42' 0" E	21,00	0,81	0,03	105,90
	19	22,5	22	0,7	315	4	135	108	9° 39' 39" N	67° 42' 0" E	2,10	1,63	103,17	19,45	9° 33' 9" N	68° 2' 1" E	21,05	1,79	-	103,19
	20	22,5	22	0,8	292,5	4	135	108	9° 33' 9" N	68° 2' 1" E	1,79	173,25	103,88	19,65	9° 27' 4" N	68° 22' 2" E	20,92	1,12	-	106,07
	21	22,5	17	0,8	270	4	135	108	9° 27' 4" N	68° 22' 2" E	1,21	152,74	106,11	19,69	9° 21' 4" N	68° 41' 7" E	20,00	0,84	-	107,21
	22	22,5	17	0,7	337,5	4	135	108	9° 21' 4" N	68° 41' 7" E	1,96	3,37	103,95	19,35	9° 16' 4,8" N	68° 57' 30" E	17,13	3,71	-	106,09
	23	22,5	17	1,1	270	4	135	108	9° 16' 4,8" N	68° 57' 30" E	0,92	139,18	106,37	19,98	9° 11' 6" N	69° 14' 0" E	17,24	3,47	-	108,78

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	К _з	V _з	V _т	К _т	Бал хв	К _{дв}	К _с	φ _{V(сl)}	λ _{V(сl)}	V _s	К _з	К _К	V _ш	φ ₀	λ ₀	V _{ш(0)}	V _{з(0)}	рис	К _{К(2)}
	24	22,5	17	1,1	270	4	135	108	9° 11' 6" N	69° 14' 0" E	0,92	139,18	106,37	19,98	9° 2' 7" N	69° 39' 7" E	26,67	6,13	1,68	103,01
	2	0	17	1,3	270	4	45	108	9° 2' 7" N	69° 39' 7" E	1,02	125,81	106,64	21,59	8° 56' 1,2" N	69° 58' 37,2" E	20,43	0,37	-	107,92
	3	0	17	1,2	270	4	45	108	8° 56' 1,2" N	69° 58' 37,2" E	0,96	128,02	106,56	21,49	8° 50' 3" N	70° 18' 8" E	20,41	0,34	-	108,53
	4	0	17	1,3	270	4	45	108	8° 50' 3" N	70° 18' 8" E	1,02	125,81	106,64	21,59	8° 43' 35,4" N	70° 37' 36" E	20,51	0,65	0,36	105,93
	5	0	17	1,3	270	4	45	108	8° 43' 35,4" N	70° 37' 36" E	1,02	125,81	106,64	21,59	8° 37' 8" N	70° 57' 5" E	20,53	0,63	0,33	105,97
	6	22,5	11	1,1	270	3	45	108	8° 37' 8" N	70° 57' 5" E	0,40	112,99	107,76	21,09	8° 31' 8,4" N	71° 16' 36" E	20,42	0,38	0,44	106,88
	7	22,5	11	1,1	270	3	45	108	8° 31' 8,4" N	71° 16' 36" E	0,40	112,99	107,76	21,09	8° 25' 9" N	71° 36' 7" E	20,42	0,38	0,45	106,86
	8	0	11	0,8	292,5	3	45	108	8° 25' 9" N	71° 36' 7" E	0,57	134,93	106,69	21,00	8° 18' 34,2" N	71° 56' 4,8" E	21,02	0,65	0,24	106,21
	9	0	11	0,8	292,5	3	45	108	8° 18' 34,2" N	71° 56' 4,8" E	0,57	134,93	106,69	21,00	8° 12' 0" N	72° 16' 3" E	21,02	0,64	0,21	106,27
	10	0	17	1,1	292,5	4	45	108	8° 12' 0" N	72° 16' 3" E	1,24	143,21	105,29	21,43	8° 5' 34,5" N	72° 35' 5,4" E	20,09	1,34	0,65	104,00
	11	0	17	1,1	292,5	4	45	108	8° 5' 34,5" N	72° 35' 5,4" E	1,24	143,21	105,29	21,43	7° 59' 9" N	72° 54' 8" E	20,10	1,34	0,64	104,00
	12	0	17	1,1	270	4	45	108	7° 59' 9" N	72° 54' 8" E	0,90	130,46	106,47	21,40	7° 53' 4,8" N	73° 14' 30" E	21,25	0,55	-	109,28
	13	0	17	1,2	270	4	45	108	7° 53' 4,8" N	73° 14' 30" E	0,96	128,02	106,56	21,49	7° 47' 1" N	73° 35' 3" E	21,43	0,73	-	109,21
	14	0	17	0,8	315	4	45	108	7° 47' 1" N	73° 35' 3" E	1,31	159,38	104,52	21,03	7° 40' 3" N	73° 55' 30" E	21,60	1,82	0,81	102,90
	15	0	17	0,8	315	4	45	108	7° 40' 3" N	73° 55' 30" E	1,31	159,38	104,52	21,03	7° 33' 6" N	74° 16' 1" E	21,66	1,82	0,71	103,10
	16	0	11	0,5	202,5	3	45	108	7° 33' 6" N	74° 16' 1" E	0,80	260,89	107,76	19,91	7° 26' 30" N	74° 35' 60" E	21,05	0,39	0,28	107,20
	17	0	11	0,5	202,5	3	45	108	7° 26' 30" N	74° 35' 60" E	0,80	260,89	107,76	19,91	7° 20' 4" N	74° 56' 4" E	21,07	0,37	-	108,20
	18	0	7	0,8	22,5	2	45	108	7° 20' 4" N	74° 56' 4" E	1,21	18,36	105,31	19,95	7° 13' 30" N	75° 16' 6" E	21,08	1,10	0,15	105,01

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	К _в	V _в	V _г	К _г	Бал хв	К _{зв}	К _с	φ _{V(сl)}	λ _{V(сl)}	V _з	К _з	К _К	V _ш	φ _о	λ _о	V _{ш(о)}	V _{з(о)}	рис	К _{К(2)}
	19	0	7	0,8	22,5	2	45	108	7° 13' 30" N	75° 16' 6" E	1,21	18,36	105,31	19,95	7° 7' 7" N	75° 36' 9" E	21,04	0,92	- 0,34	105,99
	20	0	7	0,9	270	2	45	108	7° 7' 7" N	75° 36' 9" E	0,22	101,52	107,71	20,89	7° 1' 3" N	75° 56' 36" E	21,33	0,77	0,90	105,91
	21	0	7	0,9	270	2	45	108	7° 1' 3" N	75° 56' 36" E	0,22	101,52	107,71	20,89	6° 55' 0" N	76° 17' 4" E	21,34	0,79	0,96	105,80
	22	0	7	0,5	270	2	45	108	6° 55' 0" N	76° 17' 4" E	0,19	110,14	107,94	20,51	6° 48' 30" N	76° 36' 30" E	20,49	0,29	0,49	106,96
	23	0	7	0,5	270	2	45	108	6° 48' 30" N	76° 36' 30" E	0,19	110,14	107,94	20,51	6° 42' 2" N	76° 56' 4" E	20,61	0,15	0,29	107,37
	24	0	11	0,5	292,5	3	45	108	6° 42' 2" N	76° 56' 4" E	0,45	143,43	106,76	20,71	6° 35' 30" N	77° 15' 36" E	20,60	0,63	0,49	105,77
	1	0	11	0,5	292,5	3	45	108	6° 35' 30" N	77° 15' 36" E	0,45	143,43	106,76	20,71	6° 29' 5" N	77° 35' 3" E	20,48	0,58	0,26	106,24
	2	22,5	11	0,6	270	3	22,5	108	6° 29' 5" N	77° 35' 3" E	0,26	132,35	107,33	20,61	6° 22' 36" N	77° 54' 30" E	20,50	0,44	0,43	106,46
	3	22,5	11	0,6	270	3	22,5	108	6° 22' 36" N	77° 54' 30" E	0,26	132,35	107,33	20,61	6° 16' 7" N	78° 14' 8" E	20,68	0,34	0,27	106,78
	4	22,5	11	0,4	225	3	22,5	109	6° 16' 7" N	78° 14' 8" E	0,48	133,93	108,81	20,23	6° 9' 5,4" N	78° 33' 6,6" E	20,24	0,71	1,32	106,17
	5	45	17	1,2	337,5	4	22,5	109	6° 9' 5,4" N	78° 33' 6,6" E	1,77	6,72	104,15	20,38	6° 2' 4" N	78° 52' 6" E	20,25	2,24	1,30	101,56
	6	45	22	0,9	315	4	22,5	108	6° 2' 4" N	78° 52' 6" E	1,78	13,34	103,26	20,14	5° 56' 33,6" N	79° 11' 0" E	19,69	1,46	- 1,76	106,78
	7	45	22	0,9	315	4	22,5	108	5° 56' 33,6" N	79° 11' 0" E	1,78	13,34	103,26	20,14	5° 51' 4" N	79° 30' 3" E	19,83	1,33	- 1,91	107,09
	8	112,5	7	1,1	270	2	22,5	108	5° 51' 4" N	79° 30' 3" E	1,61	265,51	107,02	19,12	5° 45' 0" N	79° 49' 60" E	20,85	0,16	- 0,88	108,77
	9	112,5	7	1,1	270	2	22,5	108	5° 45' 0" N	79° 49' 60" E	1,61	265,51	107,02	19,12	5° 39' 8" N	80° 8' 6" E	19,03	1,70	- 0,04	107,10
	10	292,5	11	1,5	292,5	3	45	107	5° 39' 8" N	80° 8' 6" E	1,46	112,50	106,41	20,08	5° 35' 9" N	80° 25' 3" E	17,41	1,58	2,59	101,23
	11	292,5	11	1,5	292,5	3	45	90	5° 35' 9" N	80° 25' 3" E	2,19	112,50	87,93	22,74	5° 34' 5" N	80° 46' 2" E	21,01	1,84	2,91	82,11
	12	292,5	11	1,9	270	3	45	90	5° 34' 5" N	80° 46' 2" E	2,57	94,28	89,52	23,27	5° 34' 36" N	81° 4' 60" E	18,97	1,77	0,60	88,32

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	К _в	V _в	V _г	K _г	Бал хв	K _{хв}	K _c	φ ^{v(c)}	λ ^{v(c)}	V _s	K _s	K _{жк}	V _ш	φ ₀	λ ₀	V _{ш(0)}	V _{s(0)}	рис	K _{жк(2)}
	13	292,5	11	1,9	270	3	45	90	5° 34' 36" N	81° 4' 60" E	2,57	94,28	89,52	23,27	5° 35' 7" N	81° 24' 3" E	19,06	1,68	0,59	88,33
	14	0	11	2,4	225	3	45	88	5° 35' 7" N	81° 24' 3" E	1,92	233,25	84,66	19,17	5° 36' 0" N	81° 43' 0" E	18,97	1,96	- 0,67	85,99
	15	0	11	2,4	225	3	45	88	5° 36' 0" N	81° 43' 0" E	1,92	233,25	84,66	19,17	5° 37' 2" N	82° 2' 1" E	19,04	1,83	- 1,11	86,88
	16	0	11	2	225	3	45	88	5° 37' 2" N	82° 2' 1" E	1,52	235,15	85,41	19,48	5° 38' 0" N	82° 20' 60" E	19,01	1,79	- 0,92	87,24
	17	0	11	2	225	3	45	88	5° 38' 0" N	82° 20' 60" E	1,52	235,15	85,41	19,48	5° 39' 6" N	82° 41' 1" E	20,05	0,83	- 1,15	87,70
	18	0	11	1,3	247,5	3	45	88	5° 39' 6" N	82° 41' 1" E	0,95	266,76	87,93	19,75	5° 39' 36" N	83° 0' 0" E	18,99	1,72	0,49	86,95
	19	0	11	1,3	247,5	3	45	88	5° 39' 36" N	83° 0' 0" E	0,95	266,76	87,93	19,75	5° 40' 6" N	83° 20' 9" E	20,16	0,59	0,58	86,77
	20	0	11	1,1	270	3	225	88	5° 40' 6" N	83° 20' 9" E	0,59	111,33	86,71	21,05	5° 40' 7" N	83° 40' 36" E	20,45	1,19	1,95	82,80
	21	0	11	1,1	270	3	225	88	5° 40' 7" N	83° 40' 36" E	0,59	111,33	86,71	21,05	5° 40' 8" N	83° 59' 5" E	18,48	2,48	1,95	82,81
	22	0	11	1,9	225	3	45	88	5° 40' 8" N	83° 59' 5" E	1,42	235,77	85,60	19,56	5° 40' 36" N	84° 15' 6" E	16,02	4,76	0,33	84,94
	23	0	11	1,9	225	3	45	88	5° 40' 36" N	84° 15' 6" E	1,42	235,77	85,60	19,56	5° 41' 8" N	84° 31' 8" E	16,04	4,72	0,09	85,41
	24	0	11	1,5	247,5	3	45	88	5° 41' 8" N	84° 31' 8" E	1,14	264,05	87,73	19,56	5° 41' 36" N	84° 44' 36" E	13,47	7,23	0,02	87,70
	1	0	11	1,5	247,5	3	45	88	5° 41' 36" N	84° 44' 36" E	1,14	264,05	87,73	19,56	5° 42' 8" N	84° 58' 6" E	13,51	7,19	- 0,26	88,26
	2	337,5	11	1,8	247,5	3	202,5	88	5° 42' 8" N	84° 58' 6" E	2,47	260,99	87,37	18,24	5° 42' 2" N	85° 18' 2" E	19,93	1,29	2,29	82,80
	3	337,5	11	1,8	247,5	3	202,5	88	5° 42' 2" N	85° 18' 2" E	2,47	260,99	87,37	18,24	5° 43' 4" N	85° 37' 4" E	19,06	1,65	- 0,14	87,66
	4	337,5	11	2	247,5	3	202,5	88	5° 43' 4" N	85° 37' 4" E	2,66	259,68	87,18	18,05	5° 43' 36,48" N	85° 56' 36" E	19,54	1,24	0,41	86,36
	5	337,5	11	2	247,5	3	202,5	88	5° 43' 36,48" N	85° 56' 36" E	2,66	259,68	87,18	18,05	5° 44' 9" N	86° 16' 9" E	19,56	1,22	0,41	86,36
	6	315	11	2,2	247,5	3	202,5	88	5° 44' 9" N	86° 16' 9" E	3,01	257,22	86,76	17,71	5° 44' 39" N	86° 36' 36" E	20,46	0,71	0,60	85,56

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	Кв	V _Б	V _Г	К _Г	Бал кв	К _{зв}	К _с	φ _{V(сl)}	λ _{V(сl)}	V _s	К _ж	V _ш	φ _о	λ _о	V _{ш(о)}	V _{s(о)}	рис	К _{ж(2)}
	7	315	11	2,2	247,5	3	202,5	88	5° 44' 39" N	86° 57' 6" E	3,01	86,76	17,71	5° 45' 9" N	86° 57' 6" E	20,51	0,69	0,60	85,55
	8	337,5	7	1,1	247,5	2	202,5	88	5° 45' 9" N	86° 57' 6" E	1,82	87,41	18,89	5° 45' 36,6" N	87° 17' 30" E	20,41	0,55	0,71	85,99
	9	337,5	7	1,1	247,5	2	202,5	88	5° 45' 36,6" N	87° 17' 30" E	1,82	87,41	18,89	5° 46' 5" N	87° 38' 1" E	20,52	0,49	0,68	86,05
	10	337,5	11	1,1	247,5	3	202,5	88	5° 46' 5" N	87° 38' 1" E	1,80	87,95	18,90	5° 46' 34,8" N	87° 59' 1,8" E	21,02	0,41	0,65	86,65
	11	337,5	11	1,1	247,5	3	202,5	88	5° 46' 34,8" N	87° 59' 1,8" E	1,80	87,95	18,90	5° 47' 5" N	88° 20' 3" E	21,03	0,41	0,63	86,69
	12	337,5	11	0,7	225	3	202,5	88	5° 47' 5" N	88° 20' 3" E	1,29	87,80	19,42	5° 48' 6,48" N	88° 40' 30" E	20,48	0,33	0,46	86,87
	13	337,5	11	0,7	225	3	202,5	88	5° 48' 6,48" N	88° 40' 30" E	1,29	87,80	19,42	5° 49' 8" N	89° 1' 9" E	20,68	0,23	0,44	86,92
	14	337,5	11	1,2	225	3	202,5	88	5° 49' 8" N	89° 1' 9" E	1,70	86,85	19,05	5° 49' 37,2" N	89° 22' 7,8" E	20,99	0,72	0,67	85,51
	15	337,5	11	1,2	225	3	202,5	88	5° 49' 37,2" N	89° 22' 7,8" E	1,70	86,85	19,05	5° 50' 7" N	89° 43' 7" E	20,99	0,71	0,64	85,57
	16	337,5	11	1,3	202,5	3	202,5	88	5° 50' 7" N	89° 43' 7" E	1,53	85,84	19,37	5° 51' 4,98" N	90° 4' 3,6" E	20,97	0,61	0,64	87,13
	17	337,5	11	1,3	202,5	3	202,5	88	5° 51' 4,98" N	90° 4' 3,6" E	1,53	85,84	19,37	5° 52' 3" N	90° 25' 1" E	20,98	0,62	0,64	87,13
	18	0	7	1,3	247,5	2	202,5	88	5° 52' 3" N	90° 25' 1" E	1,95	87,25	18,77	5° 52' 34,2" N	90° 45' 4,98" E	20,07	0,77	0,52	86,22
	19	0	7	1,3	247,5	2	202,5	88	5° 52' 34,2" N	90° 45' 4,98" E	1,95	87,25	18,77	5° 53' 6" N	91° 5' 9" E	20,07	0,77	0,49	86,27
	20	0	7	1,3	247,5	2	202,5	88	5° 53' 6" N	91° 5' 9" E	1,95	87,25	18,77	5° 53' 6,6" N	91° 25' 36" E	20,45	1,01	1,97	83,30
	21	0	7	1,3	247,5	2	202,5	88	5° 53' 6,6" N	91° 25' 36" E	1,95	87,25	18,77	5° 53' 8" N	91° 46' 2" E	20,43	1,00	1,93	83,38
	22	0	11	1,5	247,5	3	202,5	88	5° 53' 8" N	91° 46' 2" E	2,01	87,73	18,69	5° 53' 36,6" N	92° 2' 32,4" E	16,51	4,19	0,35	87,04
	23	0	11	1,5	247,5	3	202,5	88	5° 53' 36,6" N	92° 2' 32,4" E	2,01	87,73	18,69	5° 54' 6" N	92° 19' 3" E	16,52	4,19	0,30	87,13
	1	0	11	1,5	270	3	202,5	88	5° 54' 6" N	92° 19' 3" E	0,99	86,67	21,56	5° 54' 36" N	92° 40' 42" E	21,66	1,21	0,68	85,31

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	Кз	Vз	Vт	Кт	Бал хв	Кхв	Кс	φV(сl)	λV(сl)	Vз	Кз	КК	Vш	φо	λо	Vш(о)	Vз(о)	рис	КК(2)
	2	0	11	1,8	270	3	202,5	88	5° 54' 36" N	92° 40' 42" E	1,26	103,42	86,64	21,86	5° 55' 27" N	93° 2' 24" E	21,72	1,10	- 0,24	87,12
	3	0	11	1,8	270	3	202,5	88	5° 55' 27" N	93° 2' 24" E	1,26	103,42	86,64	21,86	5° 56' 8" N	93° 24' 3" E	21,66	1,12	0,19	86,25
	4	0	11	1,2	247,5	3	202,5	88	5° 56' 8" N	93° 24' 3" E	1,73	268,47	87,97	18,97	5° 57' 4,2" N	93° 44' 7,2" E	20,09	0,65	0,62	86,73
	5	0	11	1,2	247,5	3	202,5	88	5° 57' 4,2" N	93° 44' 7,2" E	1,73	268,47	87,97	18,97	5° 58' 1" N	94° 4' 8" E	20,04	0,71	0,66	86,66
	6	22,5	7	1,5	247,5	2	202,5	88	5° 58' 1" N	94° 4' 8" E	2,08	252,91	87,01	18,65	5° 58' 34,8" N	94° 24' 0" E	19,87	0,96	0,38	86,26
	7	22,5	7	1,5	247,5	2	202,5	88	5° 58' 34,8" N	94° 24' 0" E	2,08	252,91	87,01	18,65	5° 59' 9" N	94° 44' 4" E	20,07	0,79	0,37	86,26
	8	22,5	11	1,2	270	3	202,5	88	5° 59' 9" N	94° 44' 4" E	0,59	111,13	86,79	21,09	5° 59' 6" N	95° 4' 60" E	20,93	1,24	2,14	82,52
	9	22,5	11	1,2	270	3	202,5	88	5° 59' 6" N	95° 4' 60" E	0,79	119,62	85,57	14,33	5° 58' 4" N	95° 17' 6" E	12,14	2,68	6,88	71,81
	9,4	22,5	11	1,2	247,5	3	225	103	5° 58' 4" N	95° 17' 6" E	1,93	261,29	102,24	25,70	5° 51' 31,2" N	95° 45' 6" E	28,76	1,24	0,16	101,92
	11	22,5	11	1,2	247,5	3	225	103	5° 51' 31,2" N	95° 45' 6" E	1,66	266,25	102,25	19,06	5° 46' 6" N	96° 6' 6" E	21,69	1,29	1,47	99,30
	12	22,5	11	1,2	247,5	3	225	103	5° 46' 6" N	96° 6' 6" E	1,66	266,25	102,25	19,06	5° 40' 37,2" N	96° 27' 36" E	22,19	1,67	1,30	99,65
	13	22,5	11	1,2	247,5	3	225	103	5° 40' 37,2" N	96° 27' 36" E	1,66	266,25	102,25	19,06	5° 35' 9" N	96° 49' 6" E	22,18	1,67	1,27	99,70
	14	22,5	11	0,7	247,5	3	225	106	5° 35' 9" N	96° 49' 6" E	0,12	105,00	105,98	20,58	5° 28' 36" N	97° 9' 34,98" E	21,50	1,03	1,73	102,51
	15	22,5	11	0,7	247,5	3	225	106	5° 28' 36" N	97° 9' 34,98" E	0,12	105,00	105,98	20,58	5° 22' 3" N	97° 30' 4" E	21,51	1,03	1,73	102,51
	16	22,5	11	0,8	180	3	225	123	5° 22' 3" N	97° 30' 4" E	0,36	337,76	122,31	20,43	5° 11' 1,5" N	97° 49' 33,6" E	22,40	2,00	2,14	118,04
	17	22,5	11	0,8	180	3	225	123	5° 11' 1,5" N	97° 49' 33,6" E	0,36	337,76	122,31	20,43	5° 0' 0" N	98° 9' 4" E	22,41	2,01	2,15	118,01
	18	45	11	0,7	157,5	3	225	124	5° 0' 0" N	98° 9' 4" E	0,06	300,91	123,90	20,74	4° 48' 30" N	98° 28' 0" E	22,15	1,75	2,53	118,85
	19	45	11	0,7	157,5	3	225	124	4° 48' 30" N	98° 28' 0" E	0,06	300,91	123,90	20,74	4° 37' 0" N	98° 47' 8" E	22,32	1,95	2,79	118,31

Продовження таблиці А.1

Дата	Час	K _в	V _в	V _т	K _т	Бал ХВ	K _{ХВ}	K _c	φ _{V(c1)}	λ _{V(c1)}	V _s	K ₃	K _{ПК}	V _ш	φ ₀	λ ₀	V _{ш(0)}	V _{s(0)}	рис	K _{ПК(2)}
	20	45	7	0,7	135	2	225	122	4° 37' 0" N	98° 47' 8" E	0,02	300,33	121,94	20,71	4° 26' 0,6" N	99° 6' 6,6" E	21,93	1,41	1,81	118,33
	21	45	7	0,7	135	2	225	122	4° 26' 0,6" N	99° 6' 6,6" E	0,02	300,33	121,94	20,71	4° 15' 2" N	99° 25' 6" E	21,93	1,42	1,85	118,23
	22	45	7	1	135	2	225	125	4° 15' 2" N	99° 25' 6" E	0,30	304,62	124,98	21,00	4° 2' 30" N	99° 41' 30" E	20,64	0,87	2,39	120,21
	23	45	7	1	135	2	225	125	4° 2' 30" N	99° 41' 30" E	0,30	304,62	124,98	21,00	3° 50' 4" N	99° 58' 1" E	20,67	0,72	1,97	121,04
	24	45	7	1,1	337,5	2	225	136	3° 50' 4" N	99° 58' 1" E	0,66	165,72	134,38	21,00	3° 35' 0" N	100° 11' 30" E	20,22	1,44	2,17	130,03
	1	45	7	1,1	337,5	2	225	136	3° 35' 0" N	100° 11' 30" E	0,66	165,72	134,38	21,00	3° 20' 4" N	100° 25' 6" E	20,20	1,28	1,68	131,03
	2	315	7	1,3	315	2	225	136	3° 20' 4" N	100° 25' 6" E	0,77	135,00	135,93	21,47	3° 6' 3" N	100° 39' 7,2" E	19,82	0,94	0,86	134,20
	3	315	7	1,3	315	2	225	133	3° 6' 3" N	100° 39' 7,2" E	0,77	135,00	132,86	21,47	2° 52' 3" N	100° 55' 9" E	21,28	0,86	1,58	129,70

Додаток Б

Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації

Статті у наукових фахових виданнях

1. **Сінюта К. О.** Координатний метод визначення шляхової швидкості судна по векторам та переміщенням відносної та переносної швидкостей / К. О. Сінюта. // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». – Вип. 30. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 117-124, **видання кат. Б.**

2. **Сінюта К. О.** Ітераційний метод стабілізації судна на курсі та маршруті / К. О. Сінюта. // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». – Вип. 31. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 60-68, **видання кат. Б.**

3. **Сінюта К. О.** Управління судном за збуренням при послідовному зчисленні та обсервації руху судна / К. О. Сінюта. // Судноводіння: зб. наук. праць / НУ «ОМА». – Вип. 32. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 86-92, **видання кат. Б.**

4. **Голіков В. В.** Основні підходи до управління рухом судна на курсі [текст] / В.В. Голіков, **К. О. Сінюта.** // Транспортні системи і технології: зб. наук. праць / ДУІТ. – Вип. 39. – Київ: ДУІТ, 2022. – С. 209-215, **видання кат. Б.**

5. **Голікова В. В.** Особливості ергономіки робочого місця майбутніх фахівців водного транспорту [текст] / В. В. Голікова, В. І. Крайнова, Д. Г. Парменова, **К.О. Сінюта.** // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2022. – Вип. 2(36). – С. 218-224. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36>, **видання кат. Б.**

6. **Голіков В. А.** Експериментальне визначення показників енергетичної ефективності роботи контейнеровоза класу DNV-GL (13800 TEU) [текст] / В.А. Голіков, К. С. Данілов, **К. О. Сінюта.** // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – Вип. 46. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 33-41, **видання кат. Б.**

7. **Голіков В. В.** Глибоке навчання у контексті штучного інтелекту в морській навігації / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Водний транспорт. Збірник

наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2024. – Випуск 1 (39). – 104-111 с, **видання кат. Б.**

Патенти на корисну модель

8. Патент на корисну модель 150390UA. МПК G08G 3/02 (2006.01).

Мальцев А. С., Сінюта К. О., **Сурінов І. Л.** Система оперативного динамічного позиціонування судна при маневруванні в стиснених водах. Заявник Мальцев Анатолій Сидорович, Сінюта Катерина Олександрівна, Сурінов Ігор Леонідович. - № u 2021 53064 . заявлено 20/09/2021, опубліковано 23.12.2021 р.

Апробаційні публікації

9. Голіков В. В. Інверсний метод числення для підвищення точності маневрування судном на маршруті / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» – 14-15 листопада 2019 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 145.

10. Голіков В. В. Координатний метод визначення коефіцієнту ефективності рискання судна / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація» – 12-13 листопада 2020 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 63.

11. Голіков В. В. Методи оцінки зміни швидкості судна при вітровому і хвильовому впливі / В. В. Голіков, **К. О. Сінюта** // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2021)» – 25-27 травня 2021 р. – Херсон: ХДМА, 2021. – С. 74.

12. Сінюта К. О. Dynamic positioning methods under limited conditions / К.О. Сінюта // Матеріали науково-технічної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 18-19 листопада 2020 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 70-71.

13. Golikov V. Efficiency of ship movement control on the route according to the principle of deviation from the line of movement / V. Golikov, **К. Siniuta** // Proceedings of the International Scientific Conference SEA-CONF 2022. – 2022. – pp. 222-226.

14. Голіков В. А. Верифікація деяких показників енергетичної ефективності роботи контейнеровоза класу DNV-GL (13800 TEU) на лінії шовкового шляху / В. А. Голіков, В. В. Голіков, К. С Данілов, **К. О. Сінюта** // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт» – 22-23 березня 2023 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 19-22.

15. Сінюта К. О. Спосіб розрахунку втрати швидкості судна в умовах хвильового впливу / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 16-17 листопада 2023 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – 237-239 С.

16. Сінюта К. О. Аналіз аварійності на морському та річковому транспорті України / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 20–21 листопада 2024 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. – С. 253–257.

17. Сінюта К. О. Оптимізація швидкості судна для повернення до заданої координатної точки маршруту / К. О. Сінюта // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології» – 20–21 листопада 2024 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2024. – С. 252–253.

Додаток В
Акти впровадження результатів дисертації

ЦЕНТР ПІДГОТОВКИ МОРЯКІВ-«АВАНТ»

68001, м. Чорноморськ
сmt. Олександрівка,
вул. Перемоги, 93,
Тел./факс: +38 (048) 705-39-99
Email: info@avant.od.ua
Web: www.tcsavant.com



TRAINING CENTER OF SEAFARERS-“AVANT”

93, Peremogy str.,
smt. Oleksandrivka,
Chornomorsk, 68001, Ukraine
Tel./fax: +38 (048) 705-39-99
Email: info@avant.od.ua
Web: www.tcsavant.com

Вих № 265/10-1024 від «10» жовтня 2024

А К Т

впровадження результатів дисертаційної роботи
Сінюти Катерини Олександрівни
на тему: «Удосконалення систем управління судном за маршрутом» в
навчальному закладі «Центр підготовки моряків «Авант»

Цій акт укладений про те, що відповідно до рекомендацій педагогічної ради ЦПМ «АВАНТ», розроблений Сінютою Катериною Олександрівною «Алгоритм оптимальної стабілізації руху судна на заданому маршруті, висвітлений у її дисертаційному дослідженні на здобуття ступеня доктора філософії був впроваджений в тренажерну підготовку з курсів «Судноводіння з використанням радіолокатора, радіолокаційної проводки та використання ЗАРП» та «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем ЕКНІС».

Директор ЦПМ «АВАНТ»



Іван Булах



LIBERIAN REGISTRY



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
Державне підприємство «Адміністрація морських портів України»
Філія «Дельта-лоцман»
Державного підприємства «Адміністрація морських портів України»
офіс: вул. Лягіна, 27, Миколаїв, 54001, Україна, ЄДРОПУ 38728507
тел.: (0512) 500 901, тел./факс: (0512) 500 999, (0512) 500 933
E-mail: office@delta-pilot.ua

вих. № 5 від «31» січня 2025 р.

А К Т №5 від 30.01.2025р.
про впровадження наукової роботи Сінюти Катерини Олександрівни
на тему: «Удосконалення систем управління судном за маршрутом»

Я, який нижче підписався, склав акт про те, що протягом 2022, 2023 та 2024 років аспіранткою, а згодом асистенткою НУ«ОМА» Сінютою К.О. були впроваджені наступні складові її дисертації, спрямовані на підвищення ефективності роботи та навігаційної безпеки суден морського транспорту України:

1. Метод векторного забезпечення для оперативного коригування курсу судна на основі поточних даних про відхилення від заданого маршруту з урахуванням впливу зовнішніх факторів, таких як вітер і течії. Це забезпечує більшу гнучкість та точність управління судном у реальних умовах.

2. Метод векторної візуалізації для зменшення витрат палива судном за рахунок оптимізації маршруту та зниження відхилення від курсу, що підвищує його енергетичну ефективність.

3. Метод комплексного зчислення траєкторії руху шляхом паралельного обчислення складових шляхового вектора швидкості через поєднання аналітичних розрахунків із геометричними побудовами швидкісних трикутників суттєво підвищує (майже вдвічі) обчислювальну ефективність при оперативному керуванні курсом судна у реальних умовах. Він також забезпечує постійний моніторинг траєкторії та її коригування, що підвищує загальну точність навігації, надійність і безпеку морських перевезень, а також інтеграцію в сучасні автоматизовані навігаційні системи.

4. Ефективність методу управління курсом судна на маршруті за збуренням при послідовному зчисленні і обсервації формалізованої моделі склала: середня абсолютна похибка — $0,8 \pm 0,02$ вузла, відносна похибка — $3,7 \pm 0,13\%$, а енергетична ефективність — 97,25%.

5. Загальний ефект від роботи Сінюти К.О. — соціальний.

Начальник служби
безпеки мореплавства



Володимир РЕПЕТЕЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Національного університету
«Одеська морська академія»,
д.т.н., професор

Олександр ШЕМЯКІН

« 22 » жовтня 20 24 р.

А К Т

впровадження результатів дисертаційної роботи
Сінюти Катерини Олександрівни
на тему: «Удосконалення систем управління судном за маршрутом»

Ми, що нижче підписались, директор навчально-наукового інституту навігації Ігор Ворохобін, начальник навчального відділу Микола Пархоменко і завідувач кафедри теорії та устрою судна Ігор Давидов склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи отримані здобувачкою Катериною Сінютою на тему «Удосконалення систем управління судном за маршрутом» впроваджені в навчальні дисципліни «Теорія та будова судна» і «Морехідні якості судна» кафедри теорії та устрою судна НУ«ОМА».

Начальник навчального відділу
Національного університету
«Одеська морська академія»

 Микола ПАРХОМЕНКО

Директор навчально-наукового
інституту навігації,
д.т.н., професор

 Ігор ВОРОХОБІН

Завідувач кафедри
Теорії та устрою судна,
к.т.н., доцент

 Ігор ДАВИДОВ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
 Національного університету
 «Одеська морська академія»
 д.т.н., професор



Вадим ЗАХАРЧЕНКО

09 2024 р.

А К Т

впровадження результатів дисертаційної роботи
 Сінюти Катерини Олександрівни
 на тему: «Удосконалення систем управління судном за маршрутом» в науково-
 дослідних роботах,
 які виконуються в університеті

Ми, що нижче підписались, директор навчально-наукового інституту інженерії Михайло Колегаєв, начальник науково-дослідної частини Віктор Савчук і завідувач кафедри технічної експлуатації флоту Володимир Голіков склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи, отримані здобувачкою Катериною Сінютою, на тему «Удосконалення систем управління судном за маршрутом» є складовою частиною науково-дослідницької роботи «Сучасні проблеми розвитку технічної експлуатації флоту і підвищення ефективності енерго – та ресурсозбереження: ідеї, методи, технології і рішення» ДР № О117U005135, що виконується на кафедрі технічної експлуатації флоту НУ«ОМА».

Начальник науково-дослідної
 частини НУ«ОМА»,
 к.т.н., с.н.с., професор



Віктор САВЧУК

Директор навчально-наукового
 Інституту інженерії
 к.т.н., професор



Михайло КОЛЕГАЄВ

Завідувач кафедри технічної
 експлуатації флоту
 д.т.н., професор



Володимир ГОЛІКОВ



УКРАЇНА

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ЧОРНОГО ТА АЗОВСЬКОГО МОРІВ

65009, м. Одеса, Французький бульвар, 89, ЄДРПОУ: 20992067

АКТ

**впровадження науково-прикладної роботи Сінюти Катерини Олександрівни
на тему: «Удосконалення систем управління судном за маршрутом»**

В період з 2020 по 2025 роки аспіранткою, а нині асистентом НУ «ОМА^Сінютою К. О. було впроваджено такі складові її дисертаційної роботи, спрямовані на забезпечення безпеки мореплавства та підвищення рівня орієнтації судна в складних погодних умовах. Зокрема, запропоновано:

1. Технологічну карту дослідження, спрямовану на створення алгоритму управління судном на маршруті з урахуванням зовнішніх, збурень, таких як течія, вітер, хвилювання та інші фактори, для розроблення моделі управління судном у змінному середовищі.
2. Спосіб інформаційного зв'язку про погодні умови для морських суден через Всесвітню метеорологічну організацію (ВМО) та систему GMDSS, яка включає компоненти NAVTEX і SafetyNET, що дозволяє коригувати маршрут судна, підвищувати безпеку плавання та знижувати ризики аварійних ситуацій.
3. Метод координатного підходу з поетапними ітераціями, який забезпечує постійний моніторинг траєкторії руху та її коригування, що дає змогу точно визначати вітровий дрейф та кути відхилення від курсу.
4. Метод визначення необхідних коригувань курсу та швидкості, який забезпечує високу точність обчислень завдяки чіткому векторному поданню всіх діючих сил.
5. Загальна ефективність впровадження дисертаційної роботи Сінюти Катерини Олександрівни - соціальна.

Начальник ГМЦ ЧАМ, к.т.н. 



В.М. Ситов

05.02.2025 р.

Додаток Г
Список патентів

