

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

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БЕНЬ Андрій Павлович

УДК 656.51.062

ДИСЕРТАЦІЯ

Теоретичні та методологічні засади створення
систем підтримки прийняття рішень в судноводінні

Спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів
мають посилання на відповідне джерело.



А. П. Бень

Одеса 2025

АНОТАЦІЯ

Бень А.П. Теоретичні та методологічні засади створення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом. Підготовлена в Херсонській державній морській академії, подана до захисту в Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса, 2025 рік.

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано і доведено вирішення актуальної науково-технічної проблеми підвищення безпеки та ефективності судноводіння, яке здійснено за рахунок використання уперше запропонованих та удосконалення існуючих методів створення та застосування систем підтримки прийняття рішень (СППР) при вирішенні комплексних задач управління рухом суден.

На основі проведеного аналізу інформаційних джерел визначено, що в умовах впровадження новітніх інформаційних технологій в галузі судноплавства виникає нагальна потреба вирішення низки актуальних наукових та практичних проблем, а саме:

- підвищення ефективності та безпеки морських перевезень за рахунок впровадження новітніх інформаційних технологій в процеси управління рухом суден;
- витрати і заходи, які пов'язані з впровадженням нових методів та технологічних рішень в процеси управління рухом суден повинні бути мінімізовані до меж, що забезпечують їх ефективне практичне застосування.

У результаті проведеного аналізу наукової проблеми сформульовано гіпотезу: підвищення ефективності та безпечності процесів управління рухом суден може бути досягнуто шляхом застосування СППР судноводія.

Метою дослідження є підвищення ефективності та безпечності судноводіння шляхом впровадження СППР судноводія.

Головними завданнями дослідження є наступні:

1. Визначення методів та пріоритетних шляхів підвищення ефективності та безпеки сучасного судноводіння в умовах впровадження новітніх інформаційних технологій, засобів навігації та зв'язку;
2. Визначення принципів побудови та особливостей функціонування СППР у галузі судноводіння;
3. Дослідження, розвиток та удосконалення математичних моделей процесів прийняття рішень у судноводінні;
4. Дослідження та розробка методів зниження негативного впливу людського фактора на процеси управління судном;
5. Розробка методів автоматизації управління рухом суден в критичних ситуаціях та за умов автономності їх функціонування.

Об'єкт дослідження – процеси підтримки прийняття рішень в судноводінні.

Предмет дослідження – сукупність теоретико-методологічних та прикладних методів створення та застосування систем підтримки прийняття рішень в судноводінні.

За підсумками проведеного аналізу предметної галузі сформульована актуальна науково-технічна проблема – необхідність підвищення безпеки та ефективності судноводіння в умовах впровадження сучасних інформаційних технологій.

Виявлено, що існує протиріччя, яке обумовлене наявною потребою підвищення обсягів світових морських перевезень, їх швидкості та безпечності, з одного боку, а з іншого – досягнення вищевказаного за умов максимального зменшення всіх видів економічних та часових витрат, що пов'язані з їх реалізацією.

На основі проведеного аналізу аварійності морських суден встановлено наявність стійкої тенденції до збільшення кількості аварій в абсолютних показниках, яка обумовлена, передусім, зростанням кількості суден світового флоту та загальною інтенсифікацією морських перевезень в цілому.

Встановлено, що в умовах запровадження сучасних інформаційних технологій в судноводінні та концепції e-Navigation, найважливішою складовою підвищення безпеки сучасного судноводіння є створення та застосування інтелектуальних навігаційних інформаційних систем та СППР судноводія.

Здійснено категоризацію напрямів існуючих досліджень у галузі судноводіння за колом задач, що вирішуються, та визначено пріоритети розвитку кожного напрямку. Вищевказане дозволило виокремити низку проблем, пов'язаних із застосуванням СППР та інтелектуальних систем у судноводінні та визначити шляхи їх вирішення.

Доведено, що на поточний момент часу застосування СППР у галузі судноводіння здатне істотно знизити рівень аварійності за рахунок підвищення ефективності функціонування ергатичної системи «людина – технічні засоби судноводіння» та всебічного запровадження досягнень сучасних інформаційних технологій в автоматизацію процесів управління судном.

Запропоновано застосування комплексного підходу до створення СППР в галузі судноводіння, якій базується на комбінованому використанні аналітичних моделей руху суден, методів ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій та методів штучного інтелекту (ШІ), що дозволяє підвищити оперативність та точність прийняття рішень з управління судном.

Удосконалено комплексний метод кількісної оцінки небезпеки зіткнення суден, якій дозволяє визначити області взаємних обов'язків суден та гранично допустимі дистанції найкоротшого зближення, що дає можливість розраховувати в СППР параметри зони безпеки навколо власного судна. Застосування вказаних критеріїв у СППР судноводія дозволяє формувати прогнози розвитку навігаційних ситуацій та упереджувати виникнення найбільш небезпечних з них. З метою накопичення, обробки та узагальнення інформації стосовно процесів руху та взаємодії суден, запропоновано застосування сценарно-прецедентного підходу до побудови бази знань СППР.

Удосконалено методи підтримки прийняття рішень судноводія з управління рухом суден при вирішенні задач розходження, маневрування та

динамічного позиціонування, які адаптовані до застосування у СППР за умов наявності обмежень часу та у критичних ситуаціях.

Отримала подальший розвиток методика застосування СППР у процесах оптимізації формування вантажних планів суден контейнеровозів, що дає можливість зменшити витрати часу.

Удосконалено методику розрахунку полюсу повороту судна при здійсненні маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях, яку адаптовано до вимог подальшого практичного застосування у СППР судноводія, що дозволяє підвищити точність дотримання суднами планованої траєкторії руху на потенційно небезпечних ділянках.

Розроблені методологічні засади побудови СППР судноводія, які враховують особливості процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння, що дозволяє скоротити витрати часу на формування та прийняття рішень, підвищити рівень їх точності та адекватності щодо навігаційної ситуації, яка має місце. Уперше запропоновано застосування чотирьохфазного циклу інформаційної взаємодії судноводія з СППР, що дає змогу поліпшити якість та оперативність прийняття рішень з управління рухом судна.

Запропонована структура СППР судноводія, яка базується на застосуванні моделі судноводія, та здійснює адаптивний процес взаємодії з судноводієм відповідно до пріоритетності обробки інформаційних повідомлень, що дозволяє знизити негативний вплив людського фактора на процеси управління судном та мінімізувати суб'єктивність рішень, які приймаються.

З метою підвищення точності та надійності функціонування автоматизованих систем управління рухом суден створено математичну модель руху судна у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь, з урахуванням дій вітру, течії і хвиль та математичну модель пристроїв, що керують, у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь з моделлю погрешностей і відмов.

Розроблено метод розходження, який дозволяє автоматично та оптимально розходитися з багатьма цілями, включаючи ті, що маневрують. Розроблений

метод може застосуватися для побудови автоматичних модулів розходження у бортовому обчислювачі автоматизованої системи, що дає змогу автоматизувати та оптимізувати процеси розходження, суттєво зменшити вплив людського чинника на процеси керування, зменшити втомлюваність екіпажу та в цілому підвищити безпеку судноплавства.

Здійснено практичну реалізацію методів класифікації та оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій у СППР судноводія, яку інтегровано з навігаційним обладнанням тренажера Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000». Створено програмні засоби для реалізації інформаційного обміну між СППР та навігаційним обладнанням тренажера у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг процесу зміни навігаційних ситуацій.

Виконано перевірку працездатності та ефективності розроблених методів, алгоритмічного та програмного забезпечення математичним моделюванням на стенді імітаційного моделювання у замкнутому контурі «Імітатор бортового обчислювача – модель судна навігаційного тренажера» для різних районів плавання, погодних та навігаційних умов.

Основні практичні результати дослідження впроваджені у навчальний процес ЗВО, процеси тренажерної підготовки морських фахівців у спеціалізованих тренажерних центрах та пройшли успішну апробацію на наукових заходах державного та міжнародного рівня.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, безпека судноводіння, уникнення зіткнень суден, управління судном, людський фактор, автоматизована система керування, маневрування судна, динамічне позиціонування судна.

ABSTRACT

Ben A.P. Theoretical and Methodological Foundations for the Development of Decision Support Systems in Navigation. – Qualification research work in manuscript form. Dissertation submitted for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.22.13 – Navigation and Traffic Control. Prepared at Kherson State Maritime Academy and submitted for defense at the National University “Odesa Maritime Academy”, Odesa, 2025.

The dissertation scientifically substantiates and proves the solution of an urgent scientific and technical problem: improving the safety and efficiency of navigation, achieved through the introduction of newly proposed methods and the improvement of existing methods for creating and applying Decision Support Systems (DSS) for solving complex vessel traffic control tasks.

Based on the analysis of information sources, it has been determined that under the conditions of the implementation of modern information technologies in navigation, there is a pressing need to solve several relevant scientific and practical problems, namely:

- increasing the efficiency and safety of maritime transportation through the introduction of innovative information technologies into vessel traffic control processes;
- minimizing costs and measures required for the implementation of new methods and technological solutions in navigation management to ensure their effective practical application.

As a result of the scientific problem analysis, the following hypothesis has been formulated: the efficiency and safety of vessel traffic control processes can be significantly improved by applying navigator's DSS.

The purpose of the research is to increase the efficiency and safety of shipping through the implementation of navigator's DSS.

The main research tasks include:

- identifying methods and priority ways to increase the efficiency and safety of modern shipping under conditions involving the application of advanced information technologies, navigation, and communication tools;
- determining the principles of DSS design and features of DSS functioning in navigation;
- researching, developing, and improving mathematical models of decision-making processes in navigation;
- developing methods to reduce the negative impact of the human factor on ship management processes;
- developing methods for the automation of vessel traffic control in critical situations and under conditions of autonomous operation.

Object of research – decision support processes in navigation.

Subject of research – the set of theoretical, methodological, and applied methods for developing and applying DSS in navigation.

Based on the analysis of the subject area, a relevant scientific and technical problem has been formulated – the necessity of improving the safety and efficiency of navigation in the context of the implementation of modern information technologies.

It has been revealed that there is a contradiction: the need to increase the volume, speed, and safety of global maritime transport, on the one hand, and, on the other, the requirement to achieve this with maximum reduction of economic and time costs.

The analysis of maritime accident statistics revealed a steady trend of increasing accidents in absolute numbers, primarily due to the growth of the global fleet and intensification of maritime transport.

It has been established that, under the conditions of modern information technology and the e-Navigation concept, the most important factor for improving navigation safety is the development and application of intelligent navigation information systems and navigator-oriented DSS.

Research directions in navigation were categorized by the scope of tasks addressed, and development priorities were identified. This made it possible to outline

a range of problems related to DSS and intelligent systems in navigation and to determine ways to solve them.

It has been proven that the use of DSS in navigation can significantly reduce accident rates by improving the functioning of the ergatic “human–technical navigation system” and introducing modern IT achievements into ship management automation.

A comprehensive approach to DSS development in navigation has been proposed, based on the DSS life cycle concept combined with analytical vessel motion models, situational analysis methods for navigational situations, and artificial intelligence (AI) techniques. This allows improving the speed and accuracy of navigation decisions.

A comprehensive method for quantitative collision risk assessment has been improved, allowing the determination of areas of mutual vessel responsibility and critical minimum passing distances. This enables DSS to calculate vessel safety zones and predict the development of navigational situations, preventing dangerous incidents. A scenario-precedent approach for DSS knowledge base construction has been proposed.

Methods for supporting navigator’s decision-making in collision avoidance, maneuvering, and dynamic positioning have been improved and adapted for DSS application under time constraints and in critical situations.

A methodology for applying DSS in container ship cargo plan optimization has been further developed.

The method of calculating the ship’s turning pole in narrow and confined waters has been improved and adapted for DSS practical application, increasing trajectory accuracy in potentially dangerous areas.

Methodological principles of DSS development, taking into account human–machine interaction, have been developed, which reduce decision-making time and increase accuracy and adequacy of decisions. For the first time, a four-phase cycle of information interaction between navigator and DSS has been proposed.

The proposed DSS structure is based on the navigator model and provides adaptive interaction according to the priority of information processing, reducing the

negative impact of the human factor and minimizing subjectivity in navigation decisions.

To improve the accuracy and reliability of automated ship traffic control systems, a mathematical ship motion model in the form of nonlinear differential equations (considering wind, current, and waves) and a mathematical model of control devices in the form of linear differential equations with error and failure models have been developed.

A collision avoidance method has been developed that enables automatic and optimal maneuvering with multiple targets, including maneuvering vessels. This method can be applied in onboard computers of automated navigation systems, allowing the automation and optimization of collision avoidance processes, reducing the influence of the human factor, lowering crew fatigue, and thereby improving navigation safety.

Methods for classifying and assessing the risk level of navigational situations have been practically implemented in a DSS integrated with Wartsila “Navi-Trainer Professional 5000” simulator equipment. Software for real-time information exchange between DSS and simulator navigation equipment has been developed, enabling continuous monitoring of navigational situation changes.

The operability and effectiveness of the developed methods, algorithms, and software were verified using closed-loop simulation stand “Onboard Computer Emulator – Ship Model of Navigation Simulator” for different sailing areas, weather, and navigational conditions.

The main practical results of the study were implemented in higher education training, simulator training of maritime specialists in specialized training centers, and successfully tested at national and international scientific events.

Keywords: decision support systems, navigation safety, collision avoidance, ship control, human factor, automated control system, ship maneuvering, dynamic positioning.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE THESIS TOPIC

Перелік статей у журналах, що реферуються науково-метричними базами даних Scopus, Web of Science

List of articles in journals referenced by scientific-metric databases Scopus, Web of Science:

1. Nosov P. S., **Ben A. P.**, Mateichuk V. N., Safonov M. S. Identification of «Human error» negative manifestation in maritime transport. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018. № 4 (47). P. 204–213.
<https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20> (*Web of Science*)
2. Nosov P. S., **Ben A. P.**, Safonova A. F., Palamarchuk I. V. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. № 2 (49).
<https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-2-15>. (*Web of Science*)
3. Solovey, O., **Ben, A.**, Dudchenko, S., Nosov P. (2020). Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5/2 (107), P. 48–56.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856> (*Scopus*)
4. Zinchenko S., **Ben A.**, Nosov P., Popovich I., Mamenko P., Mateychuk V. Improving the accuracy and reliability of automatic vessel motion control system. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. № 2. P. 183–195.
<https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-2-19> (*Web of Science*)
5. Zinchenko S., **Ben A.**, Nosov P., Popovych I., Mateichuk V. The vessel movement optimisation with excessive control. *Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics*. 2020. № 3 (99). P. 86–96. DOI:[10.31489/2020Ph3/86-96](https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96)(*Web of Science*)

6. Nosov P. S., Zinchenko S. M., Popovych I. S., **Ben A. P.**, Nahrybelnyi Y. A., Mateichuk V. M. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. Vol. 1. P. 146–161. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-1-15> (*Web of Science*)
7. Nosov, P., Zinchenko, S., Plokhikh, V., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Makarchuk, D., Mamenko, P., Moiseienko, V., & **Ben, A.** Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 4/3(112), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239093> (*Scopus*)
8. Nosov, P., Zinchenko, S., **Ben, A.**, Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Popovych, I., Moiseienko, V., Kruglyj, D. Navigation safety control system development through navigator action prediction by Data mining means. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 2 (9 (110)), 55–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237>(*Scopus*)
9. Ponomaryova, V., Nosov, P., **Ben, A.**, Popovych, I., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Dudchenko, S., Appazov, E., & Sokol, I. Devising an approach for the automated restoration of shipmaster's navigational qualification parameters under risk conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3 (127), 2024, 6–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296955> (*Scopus*)

***Перелік статей у виданнях, що входять до переліку
наукових фахових видань України (категорії Б)***

10. Шерстюк В. Г., **Бень А. П.** Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по управлению судном в условиях неполной и противоречивой информации. *Судовождение*. 2007. Вып. 14. – С. 141-144.
11. Шерстюк В. Г., **Бень А. П.** Гибридная интеллектуальная СППР для управления судном. *Штучний інтелект*. 2008., №3. – С. 490-499.

<https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/c5842be7-e387-4d43-945e-0f87d26adba9/download>

12. **Бень А. П.**, Плющ В. Н. Критерии оценки опасности сближения судов. *Науковий вісник ХДМІ*. 2009. № 1 (1). – С. 12-15.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/18/13>

13. **Бень А. П.** Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений. *Вестник ХНТУ: сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета*. – 2009. – Вып. 1 (34). – С. 429-433.

14. Мальцев А. С., **Бень А. П.**, Нгуен Тхань Шон. Способ оценки опасности столкновения в системах управления движением судов. *Судовождение*. 2009. Вып. 16. – С. 97-107.

15. **Бень А. П.** Формализация решающих правил в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Судовождение*. 2010. № 19. – С. 8–14.

16. **Бень А. П.**, Плющ В. Н. Выход в исходную точку поиска в кратчайшее время при осуществлении поисково-спасательных операций. *Науковий вісник ХДМІ*. 2010. № 1 (2). – С. 24-35.
<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/53/48>

17. **Бень А. П.** Использование теоретико-игровой модели для представления и анализа навигационных ситуаций в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Штучний інтелект*. 2010. № 3. – С. 439–443.
<https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/036f6652-7dde-4970-93e2-e05e439a9d6d/download>

18. Бідюк П. І., **Бень А. П.** Розробка системи підтримки прийняття рішень (СППР) для прогнозування нестационарних процесів з автоматизацією вибору кращої моделі. *Науковий вісник ХДМІ*. 2010. – № 2 (3). – С. 4-12.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/86/74>

19. **Бень А. П.** Формализация правил МППСС-72 в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Штучний інтелект*. 2011. – № 3. – С. 327-331.
<http://dspace.nbuv.gov.ua/xmlui/bitstream/123456789/59935/1/31-Ben.pdf>

20. **Бень А. П.** Концептуальные основы создания систем поддержки принятия решений в судовождении. *Штучний інтелект*. 2012. № 3. – С. 222–227. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/57171>
21. **Бень А. П.** Людський фактор в автоматизованих системах управління судном та шляхи зниження його впливу. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 2 (7). – С. 26–30. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/270/291>
22. **Бень А. П.** Перспективи розвитку систем підтримки прийняття рішень судноводія. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 1 (6). – С. 12–19. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/219/240>
23. **Бень А. П.** Кошлик Л. А. Анализ влияния свойств зерновых грузов на мореходные качества судов. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 1 (6). – С. 20–25. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/220/241>
24. **Бень А. П.,** Паламарчук И. В. Использование интеллектуальной системы планирования трансокеанских переходов для снижения затрат топлива. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2013. № 2 (9). – С. 4-8. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/352>
25. **Бень А. П.,** Паламарчук И. В. Человеческий фактор при принятии решений в судовождении и пути снижения его влияния. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 1 (12). – С. 4-9. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/459/227>
26. **Бень А. П.,** Паламарчук И. В. Принципы построения систем поддержки принятия решения судоводителя в рамках концепции e-Navigation. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 2 (13). – С. 19-24. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/799/796>
27. Вільський Г., **Бень А.** Удосконалення інформаційної безпеки субстандартного судноплавства // *Безпека інформації*, 2015. – Т. 21, № 3. – С. 309-313. http://nbuv.gov.ua/UJRN/bezin_2015_21_3_14.

28. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Особливості побудови сучасних високоточних інтелектуальних систем управління рухом суден. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2016. № 1 (14). – С. 4-10. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/723/718>
29. **Бень А. П.**, Соловей А. С. Усовершенствование методов контроля подъемного угла во время проведения грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. – № 1 (16). – С. 4–9. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/592/530>
30. Носов П. С., Волошинов С. А., **Бень А. П.**, Новиков А. В. Моделювання інтелектуальної діяльності особи що приймає рішення в умовах позаштатних ситуацій при управлінні судном. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. №2 (17). – С. 238-243. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/588/525>
31. Носов П. С., **Бень А. П.**, Носова Г. В., Карпова С. О. Моделі і принципи розвитку інформаційних інтерфейсів на морському транспорті. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018. – № 1 (18) – С. 76–82. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/527/470>
32. Петровський А. В., **Бень А. П.**, Ляшенко В. Г., Паламарчук І. В. Концепція системи підтримки прийняття рішень для управління маневром судна у каналах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018, № 1 (18). – С. 186–191. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/528/471>
33. **Бень А. П.**, Федоров А. І. Формування вантажного плану контейнеровозу при здійсненні мультипортових перевезень. *Судноводіння*. 2019. №29. – С. 10–19. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.10-19
34. Паламарчук І. В., **Бень А. П.** Оцінка навігаційної ситуації в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Shipbuilding & marine infrastructure*, 2019, №1 (11) – С. 105-109. [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).12](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).12)

35. Nosov P. S., **Ben A. P.**, Nosova H. V., Novikov V. I. Model of attention distribution of the navigator while keeping a navigational watch. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. – № 2 (21). – С. 26-34.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.2.21.026-034>

36. Nosov P. S., Zinchenko S. M., **Ben A. P.**, Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O. M. Models of decision making by a navigator under implicit agreements with COLREG rules. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. № 1 (20). – С. 31-38.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.1.20.031-039>

37. Федоров А. І., **Бень А. П.** Формування вантажного плану контейнеровоза згідно з логічними правилами завантаження-вивантаження. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2019, №1 (475), – С. 129–134.

[https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).18](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).18)

38. **Бень А. П.**, Соколов А. В. Аналіз сучасного стану методів формування вантажних планів контейнеровозів та шляхи їх подальшого вдосконалення. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2023. №1–2 (26–27). – С. 6-16. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2023.1-2.26-27.006-016>

39. **Бень А. П.**, Соколов А. В. Система підтримки прийняття рішень з формування вантажних планів контейнеровозів. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 1 (28). – С. 175-184.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.175-184>

40. **Бень А. П.** Системи підтримки прийняття рішень в судноводінні: сучасний стан та перспективи подальшого розвитку. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 1 (28). – С. 152–162.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.152-162>

41. **Бень А. П.** Методи прийняття рішень з управління рухом суден в інтелектуальних навігаційних інформаційних системах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 2 (29). – С. 99-110.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.2.29.099-110>

42. **Бень А. П.**, Матейчук В. М. Система підтримки прийняття рішень з вибору маневру судна згідно з вимогами МПЗЗС-72. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2025. № 1 (30). – С. 133-144.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.133-144>

43. **Бень А. П.**, Пелихівський Л. О., Соловей О. С. Сучасні методи запобігання зіткнення суден та їх застосування в управлінні автономними суднами. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2025. № 1 (30). – С. 145-156. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.145-156>

44. **Бень А. П.** Пріоритетні напрямки розвитку та шляхи вдосконалення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні. *Судноводіння*. 2025. №37. – С. 30–46. DOI: 10.31653/2306-5761.37.2025.30-46.

Монографії / Monographs

45. Мальцев А. С., **Бень А. П.** Системы поддержки принятия решений по управлению движением судна // Монографія. Херсон : Видавництво ХДМА, 2019. 244 с.

46. **Ben A. P.**, Palamarchuk I. V. Solving tasks of vessel collision avoidance and maneuvering during designing decision support systems of the navigator // New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries : monograph / edited by authors. 3rd ed. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2019. P. 58–77.

http://www.baltijapublishing.lv/download/all-science-3/all-science_part_3.pdf

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та додатково відображають основні наукові результати дисертації

Works that confirm the approbation of the dissertation materials and additionally reflect the main scientific results of the dissertation

47. Патент на корисну модель UA № 40401, МПК G08G3/00. Пристрій оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху / А. С. Мальцев, **А. П. Бень**, Нгуен Тхан Шон; заявл. 10.10.2008, опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7/2009

48. **Бень А. П.** Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010) : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1*, Херсон, 2010. – С. 8-12.

49. **Бень А. П.** Представление правил МППСС-72 в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011) : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1*, Херсон, 2011. – С. 13-15. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/MINTT-11.-Tom-1.pdf>

50. **Бень А. П.**, Кошелик Л. А. Разработка модуля «Влияние уровня автоматизации на безопасность управления судном» в учебном курсе «Менеджмент морских ресурсов». *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2*, Херсон, 2011. – С. 37-39.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/MINTT-11.-Tom-2.pdf>

51. **Бень А. П.** Перспективи розвитку інтелектуальних систем управління рухом суден. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2012): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1*, Херсон, 2012. – С. 152-154.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2012_Том1.pdf

52. **Бень А. П.**, Кошлик Л. А. Автоматизированная система контроля мореходных качеств судов, перевозящих зерновые. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1*, Херсон, 2012. – С. 158-163.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2012_Том1.pdf

53. **Бень А. П.**, Паламарчук И. В. Снижение влияния человеческого фактора в автоматизированных системах управления судна. *Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека : матеріали Науково-технічної конференції*. Одеса: ОНМА, 2012. – С. 96-99.

54. Менеджмент морських ресурсів : Навчальний посібник / Безлуцька О. П., **Бень А. П.**, Колегаєв М. О., Кошлик Л. А., Кулікова Л. Б., Лещенко А. М., Нестеренко В. Б., Перепадя К. В., Тригуб С. М., Ходаковський В. Ф., Цимбал М. М. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2012. – 100 с.

<https://files.duit.edu.ua/uploads/ktfk/structure/library/electronic->

library/Менеджмент-морських-ресурсів-учебник_compressed.pdf

55. **Бень А. П.** Шляхи підвищення ефективності функціонування сучасних автоматизованих систем управління рухом суден. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013) : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2*, Херсон, 2013. – С. 50-

51. <https://ksma.ks.ua/wp->

content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2013_Volume_2.pdf

56. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Методы планирования оптимальной траектории трансокеанского перехода. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013): матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2*, Херсон, 2013. – С. 52-54.

<https://ksma.ks.ua/wp->

content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2013_Volume_2.pdf

57. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Интеллектуальная система планирования трансокеанських переходов. *Сучасні інформаційні та інноваційні*

технології на транспорті (MINTT-2014): матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, Херсон, 2014. – С. 154-156.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2014.pdf

58. **Бень А. П.**, Паламарчук И. В. Оптимизация параметров движения судна при планировании трансокеанских переходов. *Інформаційні управляючі системи та технології : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, Одеса : ОНМУ, 2014. – С. 109-111.

59. **Бень А. П.** Системи підтримки прийняття рішень судноводія – ефективний засіб підвищення безпеки сучасного судноплавства. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015): матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2015. – С. 139-140.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2015.pdf

60. **Бень А. П.**, Паламарчук И. В., Радин В. К. Снижение влияния человеческого фактора в системах поддержки принятия решений судоводителя. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2015. – С. 257-258.

61. Патент на корисну модель UA № 97227, МПК G08 G3/00. Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном / О. М. Товстокорий, С. Е. Мальцев, **А. П. Бень**; заявл. 27.06.2014, опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5/2015.

62. Патент на корисну модель UA № 100293, МПК G08 G 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення процесу управління судном / О. М. Товстокорий, С. Е. Мальцев, **А. П. Бень**; заявл. 26.11.2014, опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14/2015.

63. Патент на корисну модель UA № 106043, МПК G08G7/00 B63B43/00, G06Q90/00. Система підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден / **А. П. Бень**, Г. Б. Вільський, В. Ф. Ходаковський; заявл. 06.11.2015, опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7/2016.

64. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68552, Україна. Комп'ютерна програма «Система високоточного планування шляху переходу морського судна» / А. С. Мальцев, **А. П. Бень**, О. В. Терещенкова, В. І. Соколенко; заявл. 09.11.2016, опубл. 26.01.2017, Бюл. № 43.

65. **Бень А. П.** Сучасні системи підтримки прийняття рішень судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2016. – С. 6-7.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_МИНТТ_2016.pdf

66. **Бень А. П.** Сучасні підходи до побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2016. – С. 59-60.

67. Патент на корисну модель UA № 114868 МПК G08G 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна / О. М. Товстокорий, С. Е. Мальцев, **А. П. Бень**; заявл. 19.09.2016, опубл. 27.03.2017, Бюл. № 6/2017.

68. **Бень А. П.** Високоточні інтелектуальні системи управління рухом морських суден. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2017. – С. 81 – 82.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_МИНТТ_2017.pdf

69. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Пути повышения эффективности современных морских перевозок. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон : ХДМА, 2017. – С. 213-214.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_МИНТТ_2017.pdf

70. Nosov P. S, **Ben A. P.**, Safonov M. S. Model construction of individual scenarios for the elimination of the human factor. *Сучасні інформаційні та*

інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018) матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2018. – С. 224-225.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_-2018.pdf

71. Патент на корисну модель UA № 132741, МПК А61В 5/00 Аналізатор психоемоційного стану судноводія / П. С. Носов, С. М. Зінченко, В. М. Матейчук, В. Г. Ляшенко, **А. П. Бень**; заявл. 20.09.2018, опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5/2019.

72. Патент на корисну модель UA № 133709, МПК G06F8/35 G06Q99/00. Спосіб використання тренажерного обладнання для розробки та тестування систем керування рухом суден / С. М. Зінченко, В. М. Матейчук, В. Г. Ляшенко, **А. П. Бень**, О. М. Товстокорий, О. О. Грошева; заявл. 20.08.2018, опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8/2019.

73. **Бень А. П.**, Носов П. С., Паламарчук І. В. Створення систем підтримки прийняття рішень судноводія з урахуванням людського фактору під час позаштатних умов навігації. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2019. – С. 9-10.*

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

74. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Вимоги до систем підтримки прийняття рішень судноводія, що забезпечують розходження та маневрування суден з урахуванням МППЗС-72. *Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація : матеріали Науково-технічної конференції, Одеса, :НУ ОМА, 2019. – С. 98-100.*

75. Васюхін М. І., Касім А. М., **Бень А. П.** Алгоритмічні методи та програмні засоби синтезу структури зорового образу оточуючої обстановки в інтегрованих геоінформаційних системах реального часу. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2019. – С. 232-238.*

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

76. Рева О. М., **Бень А. П.**, Ляшенко В. Г. Системні основи кваліметрії впливу людського чинника на прийняття рішень в судноводінні. *Сучасні*

інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2019. – С. 69-71.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

77. Носов П. С., **Бень А. П.**, Зинченко С. М., Крапивко Г. І., Барильник-Кураков І. Л. Розробка аналізатору психоемоційного стану судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 63-65.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

78. Nosov P., **Ben A.**, Zinchenko S., Popovych I., Mateichuk V., Nosova H. Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, Vol. 2732. P. 823-838.

<http://ceurws.org/Vol-2732/20200823.pdf> (Scopus)

79. Чернявський В. В., **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Аналіз траєкторії руху судна в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020): матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2020. – С. 5-8.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/04/Матеріали_MINTT_2020.pdf

80. **Бень А. П.**, Радін В. К., Паламарчук І. В. Шляхи зниження впливу людського фактору в судноводінні. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2020. – С. 69-71.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/Матеріали_БЖД_2020.pdf

81. Патент на корисну модель UA № 149191, МПК G08 G3/02. Індикатор відхилення осі бура / А. С. Мальцев, І. Л. Сурінов., **А. П. Бень**; заявл. 11.12.2020, опубл. 27.10.2021, Бюл. № 43/2021.

82. Носов П. С., **Бень А. П.**, Зінченко С. М., Храмцовський В. О., Гуров А. А. Формальні підходи щодо ідентифікації критичних ситуацій в ергатичних системах управління судном. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на*

транспорті (MINTT-2021) : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2021. – С. 32–36.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/MINTT_2021.pdf

83. **Ben A.**, Nosov P., Palamarchuk I., Fedorov A. Analysis of Navigation Data By Artificial Neural Networks For Development Of Decision-Making Support Systems. *Navigation, Shipping and Technology (NST-2021) : матеріали науково-технічної конференції*. Одеса : НУ «Одеська морська академія», 18–19 листопада 2021 р., С. 111–114.

84. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В., Радін В. К., Півоваров Ю. В., Федоров А. І. Система підтримки прийняття рішень судноводія в критичних ситуаціях. *Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021) : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон : ХДМА, 03–04 листопада 2021. – С. 35–37.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/11/PSDMI-2021.pdf>

85. Чернявський В. В., **Бень А. П.**, Носов П. С. Підходи ідентифікації проявів фактора людини для забезпечення безпеки на морському транспорті. *Прогресивні технології засобів транспорту : матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції*. Харків-Миргород : УкрДУЗТ, 2021. – С.17-18.

<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/11796/1/Прогресивні%20технології%20засобів%20транспорту.pdf>

86. **Ben A. P.**, Nosov P. S., Zinchenko S. M. Formal-logical approaches to descriptional of human factor influence on the vessel control. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТО 2021)*. Херсон, 2021. – С. 274–276.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/Збірник-СЕУТТОО-2021.pdf>

87. **Ben A. P.**, Zinchenko S. M., Nosov P. S., Popovych I. S. Automatic Control of the Vessel Movement in a Storm. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2021*. Одеса – Стамбул – Одеса, 2021. – С. 486–493.

https://drive.google.com/file/d/1-yrWFyXADMFD2POzd_tR3IUuowRX5h3o/view?usp=sharing

88. Cherniavskiy V. V., **Ben A. P.**, Zinchenko S. M. Automatic control of the on-board systems technical condition. *Прогресивні технології засобів транспорту : матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції*. Харків-Миргород : УкрДУЗТ, 2021. – С. 19-20.

<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/11796/1/Прогресивні%20технології%20засобів%20транспорту.pdf>

89. Zinchenko S., Tovstokoryi O., **Ben A.**, Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Ya. Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* : book series. 2021. Vol. 77. P. 266-281. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82014-5_18 (*Scopus*).

90. Матейчук В. М., **Бень А. П.**, Зінченко С. М., Маменко П. П. , Кириченко К. В., Півоваров Л. А. Автоматичне оцінювання навичок керування рухом судна. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2022.* – Одеса, 2022. – С. 330–335.

<https://docs.google.com/document/d/184F0Hkd9jsUBws7tlQ1TpTbLzr7BXZTd/edit?usp=sharing&oid=102375399727177576866&rtpof=true&sd=true>

91. Зінченко С. М., Товстокорій О. М., **Бень А. П.**, Нагрибельний Я. А. Використання «нульових рухів» для налаштування надлишкових структур виконавчих пристроїв. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту (ДІ НУ «ОМА» – 2022) : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Ізмаїл, 2022, – С.33-37. DOI: [10.13140/RG.2.2.16687.41120](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16687.41120)

92. Чернявський В. В., **Бень А. П.**, Товстокорій О. М., Зінченко С. М. Визначення положення центру обертання судна з використанням математичної моделі. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-*

2022): матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2022. – С. 7-11.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/03/MINTT-2022.pdf>

93. **Бень А. П.,** Соколов А. В. Шляхи вдосконалення процесу формування вантажного плану контейнеровозу. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023): матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2023. – С. 101–103.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2023/06/Збірник_MINTT_2023.pdf

94. **Бень А. П.,** Чернявський В. В., Носов П. С. Системи підтримки прийняття рішень та технології штучного інтелекту – нові реалії розвитку сучасного судноводіння. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2024): матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2024. – С. 29–30.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2024/05/Збірник-MINTT-2024-.pdf>

95. **Бень А. П.** Перспективні напрямки розвитку систем підтримки прийняття рішень в судноводінні. *Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2024): матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*, Одеса, 2024. – С. 63–65.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2024/11/PSDMI-ЗБІРНИК-2024.pdf>.

96. **Бень А. П.,** Носов П. С., Зінченко С. М. Результати наукових досліджень науково-дослідної лабораторії з розробки систем підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем керування рухом суден Херсонської державної морської академії в 2023 році. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2024.* – Одеса, 2024. – С. 318–322.

https://drive.google.com/file/d/1G2rRIItYsQVejaZQCQT2HzQc-pY7HTGh-/view?usp=drive_link

97. **Бень А. П.,** Соколов А. В., Соловей О. С. Система підтримки прийняття рішень з формування вантажного плану контейнеровозу. *Матеріали*

V Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, МРР&О-2024. – Одеса, 2024. – С. 293–295.
https://drive.google.com/file/d/19Uq4DCIUfKlSGyp3zMyIEhMN2cDrHlNs/view?usp=drive_link

98. **Бень А. П.** Пріоритетні напрямки застосування систем підтримки прийняття рішень в судноплавстві та перспективи їх подальшого розвитку. *Навігація та керування судном: нові підходи, навчання та моделювання: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції.* Одеса, 2024. – С. 10–13.

<https://drive.google.com/file/d/1fmyFygFKQt--p3cMs-nbgHBIMDJghMsm/view>

99. **Бень А. П.** Напрямки застосування систем підтримки прийняття рішень в судноплавстві. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2025): матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції.* Одеса, 2025. – С. 12–14.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/05/Матеріали-MINTT-2025-p..pdf>

100. Матейчук В. М., **Бень А. П.**, Зінченко С. М., Онишко Д. М. Навчальний тренажер з перевірки знань МПЗ3С–72. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2025): матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції.* Одеса, 2025. – С. 65–67.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/05/Матеріали-MINTT-2025-p..pdf>

В опублікованих у співавторстві наукових працях, особисто автору належать наступні результати

Перелік статей у журналах, що реферуються науково-метричними базами даних Scopus, Web of Science

List of articles in journals referenced by scientific-metric databases Scopus, Web of Science:

1. Nosov P. S., **Ben A. P.**, Mateichuk V. N., Safonov M. S. Identification of «Human error» negative manifestation in maritime transport. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018. № 4 (47). P 204–213.
<https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20> (*Web of Science*) - визначено фази діяльності судноводія, що характеризуються негативним впливом людського фактору, запропоновано методи його ідентифікації.
2. Nosov P. S., **Ben A. P.**, Safonova A. F., Palamarchuk I. V. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. № 2 (49).
<https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-2-15> (*Web of Science*) - запропоновано з метою зниження негативного впливу людського фактору застосування моделі судноводія в СППР, розроблено метод її формування та оновлення у процесі взаємодії, проведені експериментальні дослідження на навігаційному тренажері.
3. Solovey, O., **Ben, A.**, Dudchenko, S., Nosov P. (2020). Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5/2 (107), P. 48–56.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856> (*Scopus*) - здійснено загальну постановку задачі дослідження, проведення експерименту.
4. Zinchenko S., **Ben A.**, Nosov P., Popovich I., Mamenko P., Mateychuk V. Improving the accuracy and reliability of automatic vessel motion control system. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. № 2. P. 183-195.
<https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-2-19> (*Web of Science*) - створено методи підвищення точності та надійності функціонування автоматизованих систем керування рухом суден.
5. Zinchenko S., **Ben A.**, Nosov P., Popovych I., Mateichuk V. The vessel movement optimisation with excessive control. *Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics*. 2020. № 3 (99). P. 86–96. DOI:[10.31489/2020Ph3/86-96](https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96) (*Web of Science*)

Science) – запропоновано метод підвищення енергоефективності та точності руху судна, проведення експерименту.

6. Nosov P. S., Zinchenko S. M., Popovych I. S., **Ben A. P.**, Nahrybelnyi Y. A., Mateichuk V. M. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. Vol. 1. P. 146–161. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-1-15> (*Web of Science*) - розроблено модуль СППР, проведено експерименти із застосуванням навігаційного тренажера Navi-Trainer 5000.

7. Nosov, P., Zinchenko, S., Plokhikh, V., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Makarchuk, D., Mamenko, P., Moiseienko, V., & **Ben, A.** Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 4/3(112), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239093> (*Scopus*) – метод оцінки дій судноводія в критичних ситуаціях.

8. Nosov, P., Zinchenko, S., **Ben, A.**, Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Popovych, I., Moiseienko, V., Kruglyj, D. Navigation safety control system development through navigator action prediction by Data mining means. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 2 (9 (110)), 55–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237> (*Scopus*) – створено метод ідентифікації навігаційних ситуацій та визначення можливих дій судноводія, структура системи керування рухом судна в критичних ситуаціях.

9. Ponomaryova, V., Nosov, P., **Ben, A.**, Popovych, I., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Dudchenko, S., Appazov, E., & Sokol, I. Devising an approach for the automated restoration of shipmaster's navigational qualification parameters under risk conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3 (127), 2024, 6–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296955> (*Scopus*) – запропоновано метод визначення можливих дій судноводія.

**Перелік статей у виданнях, що входять до переліку
наукових фахових видань України (категорії Б)**

10. Шерстюк В. Г., **Бень А. П.** Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по управлению судном в условиях неполной и противоречивой информации. *Судовождение*. 2007. Вып. 14. – С. 141-144. – *сформульовані принципи побудови системи підтримки прийняття рішень з управлінням судном, запропоновано алгоритм її функціонування.*

11. Шерстюк В. Г., **Бень А. П.** Гибридная интеллектуальная СППР для управления судном. *Штучний інтелект* 2008., №3. – С. 490-499. - <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/c5842be7-e387-4d43-945e-0f87d26adba9/download> - визначено особливості створення СППР в судноводінні, розроблено процедури та алгоритми обробки інформації в СППР судноводія.

12. **Бень А. П.**, Плющ В. Н. Критерии оценки опасности сближения судов. *Науковий вісник ХДМІ*. 2009. № 1 (1). – С. 12-15. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/18/13> - розроблено критерії оцінки небезпеки зіткнення суден за зміною дистанції та пеленгу.

14. Мальцев А. С., **Бень А. П.**, Нгуен Тхань Шон. Способ оценки опасности столкновения в системах управления движением судов. *Судовождение*. 2009. Вып. 16. – С. 97-107 – *запропонована класифікація оцінки навігаційних ситуацій за зміною кута ЛВР судна.*

16. **Бень А. П.**, Плющ В. Н. Выход в исходную точку поиска в кратчайшее время при осуществлении поисково-спасательных операций. *Науковий вісник ХДМІ*. 2010. № 1 (2). – С. 24-35. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/53/48> - розроблено метод визначення оптимальної траєкторії руху судна при виконанні рятувальних операцій.

18. Бідюк П. І., **Бень А. П.** Розробка системи підтримки прийняття рішень (СППР) для прогнозування нестационарних процесів з автоматизацією вибору

кращої моделі. *Науковий вісник ХДМІ*. 2010. – № 2 (3). – С. 4-12. – розроблена структура СППР, процедури вибору моделей.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/86/74>

23. **Бень А. П.** Кошелик Л. А. Анализ влияния свойств зерновых грузов на мореходные качества судов. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 1 (6). – С. 20–25.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/220/241> – визначено структуру та функції автоматизованої системи контролю стану вантажу.

24. **Бень А. П.,** Паламарчук И. В. Использование интеллектуальной системы планирования трансокеанских переходов для снижения затрат топлива. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2013. № 2 (9). – С. 4-8. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/352> - постановка задачі дослідження, визначено особливості створення та практичного застосування СППР у задачах планування трансокеанських переходів.

25. **Бень А. П.,** Паламарчук И. В. Человеческий фактор при принятии решений в судовождении и пути снижения его влияния. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 1 (12). – С. 4-9. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/459/227> - визначено особливості впливу людського фактору на процеси прийняття рішень в СППР та запропоновано шляхи підвищення ефективності функціонування ергатичної системи «ОПР-АСК».

26. **Бень А. П.,** Паламарчук И. В. Принципы построения систем поддержки принятия решения судоводителя в рамках концепции e-Navigation. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 2 (13). – С. 19-24. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/799/796> - виконано загальну постановку задачі дослідження, визначено структуру СППР судноводія, інформаційні процедури обробки даних в СППР та розроблено алгоритм її функціонування.

27. Вільський Г., **Бень А.** Удосконалення інформаційної безпеки субстандартного судноплавства // *Безпека інформації*, 2015. – Т. 21, № 3. – С.

309-313. http://nbuv.gov.ua/UJRN/bezin_2015_21_3_14. - розроблено структуру СППР з управління рухом суден та алгоритм її функціонування.

28. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Особливості побудови сучасних високоточних інтелектуальних систем управління рухом суден. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2016. № 1 (14). – С. 4-10. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/723/718> - загальна постановка задачі дослідження, визначено особливості процесу взаємодії «оператор – комп'ютеризована система» в інтелектуальних системах управління рухом суден.

29. **Бень А. П.**, Соловей А. С. Усовершенствование методов контроля подъемного угла во время проведения грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. – № 1 (16). – С. 4–9. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/592/530> - запропонована структура СППР з управління вантажними операціями з великоваговими та негабаритними вантажами на спеціалізованих судах, визначені її основні функції.

30. Носов П. С., Волошинов С. А., **Бень А. П.**, Новиков А. В. Моделирование интеллектуальной деятельности особи що приймає рішення в умовах позаштатних ситуацій при управлінні судном. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. №2 (17). – С. 238-243. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/588/525> - розроблено модель взаємодії особи, що приймає рішення, з інформаційним інтерфейсом навігаційного обладнання.

31. Носов П. С., **Бень А. П.**, Носова Г. В., Карпова С. О. Моделі і принципи розвитку інформаційних інтерфейсів на морському транспорті. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018. – № 1 (18) – С. 76–82. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/527/470> - визначено динаміку розвитку інформаційних інтерфейсів навігаційних систем.

32. Петровський А. В., **Бень А. П.**, Ляшенко В. Г., Паламарчук І. В. Концепція системи підтримки прийняття рішень для управління маневром судна у каналах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018, 1(18). – С. 186–191. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/528/471>

- розроблено структуру СППР з управління рухом судна у каналах.

33. **Бень А. П.**, Федоров А. І. Формування вантажного плану контейнеровозу при здійсненні мультипортових перевезень. *Судноводіння*. 2019. №29. – С. 10–19. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.10-19. - загальна постановка задачі дослідження.

34. Паламарчук І. В., **Бень А. П.** Оцінка навігаційної ситуації в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Shipbuilding & marine infrastructure*, 2019, №1 (11) – С. 105-109. [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).12](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).12) - запропоновано метод оцінки небезпеки зіткнення суден за зміною кута ЛВР, розроблено алгоритм функціонування СППР судноводія.

35. Nosov P. S., **Ben A. P.**, Nosova H. V., Novikov V. I. Model of attention distribution of the navigator while keeping a navigational watch. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. – № 2 (21). – С. 26-34.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.2.21.026-034> - визначено стани виконання навігаційних завдань судноводієм.

36. Nosov P. S., Zinchenko S. M., **Ben A. P.**, Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O. M. Models of decision making by a navigator under implicit agreements with COLREG rules. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. № 1 (20). – С. 31-38.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.1.20.031-039> - визначено особливості процесів прийняття рішень судноводієм у критичних ситуаціях.

37. Федоров А. І., **Бень А. П.** Формування вантажного плану контейнеровоза згідно з логічними правилами завантаження-вивантаження. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2019, №1 (475), – С. 129–134.

[https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).18](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).18) загальна постановка задачі

дослідження, запропоновано застосування автоматизованої системи керування процесом завантаження контейнеровозу.

38. **Бень А. П.,** Соколов А. В. Аналіз сучасного стану методів формування вантажних планів контейнеровозів та шляхи їх подальшого вдосконалення. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2023. №1–2 (26–27). – С. 6-16. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2023.1-2.26-27.006-016>, загальна постановка задачі дослідження, виконано аналіз методів формування вантажних планів контейнеровозів з позицій подальшого практичного застосування в СППР.

39. **Бень А. П.,** Соколов А. В. Система підтримки прийняття рішень з формування вантажних планів контейнеровозів. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 1 (28). – С. 175-184. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.175-184> - загальна постановка задачі дослідження, запропоновано структуру СППР з управління процесом формування вантажного плану контейнеровозу.

42. **Бень А. П.,** Матейчук В. М. Система підтримки прийняття рішень з вибору маневру судна згідно з вимогами МПЗЗС-72. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2025. № 1 (30). – С. 133-144. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.133-144> - виконано загальну постановку задачі дослідження, розроблено класифікацію навігаційних ситуацій, що виникають у процесі розходження суден та дій судноводія згідно вимог МПЗЗС-72, проведено експериментальні дослідження по застосуванню СППР, що створена.

43. **Бень А. П.,** Пелихівський Л. О., Соловей О. С. Сучасні методи запобігання зіткнення суден та їх застосування в управлінні автономними суднами. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2025. № 1 (30). – С. 145-156. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.145-156> - виконано загальну постановку задачі дослідження, визначено особливості процесів керування безекіпажними та автономними суднами, запропоновано структуру системи керування безекіпажним автономним судном.

Монографії / Monographs

45. Мальцев А. С., **Бень А. П.** Системы поддержки принятия решений по управлению движением судна // Монографія. Херсон : Видавництво ХДМА, 2019. 244 с. - *визначено принципи створення та застосування СППР в судноводінні, розроблено методи обробки навігаційної інформації, оцінки рівня небезпеки зіткнення суден, ситуаційного аналізу та прийняття рішень з управління рухом судна, зниження негативного впливу людського фактору в судноводінні.*

46. **Ben A. P.**, Palamarchuk I. V. Solving tasks of vessel collision avoidance and maneuvering during designing decision support systems of the navigator // New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries : monograph/ edited by authors. 3rd ed. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2019. P. 58–77. http://www.baltijapublishing.lv/download/all-science-3/all-science_part_3.pdf - *виконано загальну постановку задачі дослідження, розроблено алгоритм функціонування СППР судноводія, метод обробки навігаційної інформації та формування бази даних СППР.*

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та додатково відображають основні наукові результати дисертації

Works that confirm the approbation of the dissertation materials and additionally reflect the main scientific results of the dissertation

50. **Бень А. П.**, Кошелик Л. А. Разработка модуля «Влияние уровня автоматизации на безопасность управления судном» в учебном курсе «Менеджмент морских ресурсов». Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2, Херсон, 2011. – С. 37-39.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/MINTT-11.-Tom-2.pdf>

- виконано постановку задачі дослідження.

52. **Бень А. П.**, Кошлик Л. А. Автоматизированная система контроля мореходных качеств судов, перевозящих зерновые. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1*, Херсон, 2012. – С. 158-163.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2012_Том1.pdf

- постановка задачі дослідження.

53. **Бень А. П.**, Паламарчук И. В. Снижение влияния человеческого фактора в автоматизированных системах управления судна. *Судноплаводство: перевезення, технічні засоби, безпека : матеріали Науково-технічної конференції*. Одеса: ОНМА, 2012. – С. 96-99. – виконано постановку задачі дослідження.

54. Менеджмент морських ресурсів : Навчальний посібник / Безлуцька О. П., **Бень А. П.**, Колегаєв М. О., Кошлик Л. А., Кулікова Л. Б., Лещенко А. М., Нестеренко В. Б., Перепадя К. В., Тригуб С. М., Ходаковський В. Ф., Цимбал М. М. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2012. – 100 с.

https://files.duit.edu.ua/uploads/ktfk/structure/library/electronic-library/Менеджмент-морських-ресурсів-учебник_compressed.pdf

- розділи «Вплив «людського фактору» на рівень аварійності суден» та «Вплив рівня автоматизації на безпеку управління судном».

56. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Методы планирования оптимальной траектории трансокеанского перехода. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013): матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2*, Херсон, 2013. – С. 52-54. – здійснено постановку задачі дослідження.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2013_Volume_2.pdf - здійснено

постановку задачі дослідження.

57. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Интеллектуальная система планирования трансокеанских переходов. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на*

транспорті (MINTT-2014): матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, Херсон, 2014. – С. 154-156.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2014.pdf

- здійснено постановку задачі дослідження, визначено особливості створення та практичного застосування СППР у задачах планування трансокеанських переходів

58. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Оптимизация параметров движения судна при планировании трансокеанских переходов. *Інформаційні управляючі системи та технології : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, Одеса : ОНМУ, 2014. – С. 109-111. - *постановка задачі дослідження.*

60. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В., Радин В. К. Снижение влияния человеческого фактора в системах поддержки принятия решений судоводителя. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2015. – С. 257-258. – *розроблена методика зниження впливу людського фактору.*

69. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Пути повышения эффективности современных морских перевозок. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон : ХДМА, 2017. – С. 213-214. - *постановка задачі дослідження.*

70. Nosov P. S, **Ben A. P.**, Safonov M. S. Model construction of individual scenarios for the elimination of the human factor. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018) матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2018. – С. 224-225.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_-2018.pdf

- запропоновано метод визначення можливих дій судоводія.

73. **Бень А. П.**, Носов П. С., Паламарчук І. В. Створення систем підтримки прийняття рішень судоводія з урахуванням людського фактору під час позаштатних умов навігації. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на*

транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2019. – С. 9-10.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

- запропоновано застосування поняття «інформаційний поріг».

74. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Вимоги до систем підтримки прийняття рішень судноводія, що забезпечують розходження та маневрування суден з урахуванням МППЗС-72. *Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація : матеріали Науково-технічної конференції*, Одеса, :НУ ОМА, 2019. – С. 98-100.

- здійснено постановку задачі дослідження.

75. Васюхін М. І., Касім А. М., **Бень А. П.** Алгоритмічні методи та програмні засоби синтезу структури зорового образу оточуючої обстановки в інтегрованих геоінформаційних системах реального часу. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 232-238.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

- запропоновано метод візуалізації полюсу повороту судна.

76. Рева О. М., **Бень А. П.**, Ляшенко В. Г. Системні основи кваліметрії впливу людського чинника на прийняття рішень в судноводінні. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 69-71.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

- проаналізовано безпеку транспортної системи з позицій впливу людського чинника.

77. Носов П. С., **Бень А. П.**, Зинченко С. М., Крапивко Г. І., Барильник-Кураков І. Л. Розробка аналізатору психоемоційного стану судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 63-65.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

- виконано проведення експерименту.

78. Nosov P., **Ben A.**, Zinchenko S., Popovych I., Mateichuk V., Nosova H. Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, Vol. 2732. P. 823-838. <http://ceurws.org/Vol-2732/20200823.pdf> (Scopus) - створено моделі сприйняття інформації, формування планів дій та прийняття рішень судноводієм.

79. Чернявський В. В., **Бень А. П.**, Паламарчук І. В. Аналіз траєкторії руху судна в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020): матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2020. – С. 5-8. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/04/Матеріали_MINTT_2020.pdf – розроблено метод оцінки небезпеки зіткнення суден за зміною кута ЛВР.

80. Бень А. П., Радін В. К., Паламарчук І. В. Шляхи зниження впливу людського фактору в судноводінні. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2020. С. 69-71. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/Матеріали_БЖД_2020.pdf - визначено особливості застосування СППР в судноводінні та шляхи зниження впливу людського фактору.

82. Носов П. С., **Бень А. П.**, Зінченко С. М., Храмцовський В. О., Гуров А. А. Формальні підходи щодо ідентифікації критичних ситуацій в ергатичних системах управління судном. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2021) : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2021. С. 32–36. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/MINTT_2021.pdf - проведено експеримент на навігаційному тренажері.

83. **Ben A.**, Nosov P., Palamarchuk I., Fedorov A. Analysis of Navigation Data By Artificial Neural Networks For Development Of Decision-Making Support Systems. *Navigation, Shipping and Technology (NST-2021) : матеріали науково-технічної конференції*. Одеса : НУ «Одеська морська академія», 18–19 листопада 2021 р., С. 111–114. – запропоновано метод класифікації ситуацій.

84. **Бень А. П.**, Паламарчук І. В., Радін В. К., Півоваров Ю. В., Федоров А. І. Система підтримки прийняття рішень судноводія в критичних ситуаціях. *Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021) : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон : ХДМА, 03–04 листопада 2021. С. 35–37.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/11/PSDMI-2021.pdf>

- визначено базові вимоги до СППР судноводія.

85. Чернявський В. В., **Бень А. П.**, Носов П. С. Підходи ідентифікації проявів фактора людини для забезпечення безпеки на морському транспорті. *Прогресивні технології засобів транспорту : матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції*. Харків-Миргород : УкрДУЗТ, 2021. С.17-18.

<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/11796/1/Прогресивні%20технології%20засобів%20транспорту.pdf>

- визначено чинники негативного впливу людського фактору.

86. **Ben A. P.**, Nosov P. S., Zinchenko S. M. Formal-logical approaches to descriptional of human factor influence on the vessel control. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (CEUTTO 2021)*. Херсон, 2021. С. 274–276.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/Збірник-CEUTTOO-2021.pdf>

- розроблено формально-логічні моделі опису можливих планів дій судноводія.

87. **Ben A. P.**, Zinchenko S. M., Nosov P. S., Popovych I. S. Automatic Control of the Vessel Movement in a Storm. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2021*. Одеса – Стамбул – Одеса, 2021. С. 486–493.

[https://drive.google.com/file/d/1-](https://drive.google.com/file/d/1-yrWFyXADMFD2POzd_tR3IUuowRX5h3o/view?usp=sharing)

[yrWFyXADMFD2POzd_tR3IUuowRX5h3o/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1-yrWFyXADMFD2POzd_tR3IUuowRX5h3o/view?usp=sharing) – розроблено метод автоматизованого керування рухом судна у шторм.

88. Cherniavskiy V. V., **Ben A. P.**, Zinchenko S. M. Automatic control of the on-board systems technical condition. *Прогресивні технології засобів транспорту*

: матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції. Харків-Миргород : УкрДУЗТ, 2021. С. 19-20.

<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/11796/1/Прогресивні%20технології%20засобів%20транспорту.pdf> - розроблено метод контролю відмов обладнання.

89. Zinchenko S., Tovstokoryi O., **Ben A.**, Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Ya. Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* : book series. 2021. Vol. 77. P. 266-281. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82014-5_18 (Scopus) - запропоновано метод автоматизації процесів керування надлишковими структурами виконавчих пристроїв.

90. Матейчук В. М., **Бень А. П.**, Зінченко С. М., Маменко П. П., Кириченко К. В., Півоваров Л. А. Автоматичне оцінювання навичок керування рухом судна. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2022.* – Одеса, 2022. С. 330–335.

<https://docs.google.com/document/d/184F0Hkd9jsUBws7tlQ1TpTbLzr7BXZTd/edit?usp=sharing&oid=102375399727177576866&rtpof=true&sd=true> – удосконалено стенд імітаційного моделювання, інтегрований з навігаційним тренажером.

91. Зінченко С. М., Товстокорий О. М., **Бень А. П.**, Нагрибельний Я. А. Використання «нульових рухів» для налаштування надлишкових структур виконавчих пристроїв. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту (ДІ НУ «ОМА» – 2022) : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції.* Ізмаїл, 2022, – С.33-37. DOI: [10.13140/RG.2.2.16687.41120](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16687.41120) – метод керування надлишковими структурами виконавчих пристроїв.

92. Чернявський В. В., **Бень А. П.**, Товстокорий О. М., Зінченко С. М. Визначення положення центру обертання судна з використанням математичної моделі. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-*

2022): матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2022. – С. 7-11. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/03/MINTT-2022.pdf>
- удосконалено метод оцінювання параметрів вектору стану.

93. **Бень А. П.**, Соколов А. В. Шляхи вдосконалення процесу формування вантажного плану контейнеровозу. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023): матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2023. – С. 101–103.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2023/06/Збірник_MINTT_2023.pdf

- визначено низку вимог до формування вантажного плану контейнеровозу.

94. **Бень А. П.**, Чернявський В. В., Носов П. С. Системи підтримки прийняття рішень та технології штучного інтелекту – нові реалії розвитку сучасного судноводіння. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2024): матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2024. – С. 29–30.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2024/05/Збірник-MINTT-2024-.pdf>

- визначено пріоритетні напрями застосування СППР в судноводінні.

96. **Бень А. П.**, Носов П. С., Зінченко С. М. Результати наукових досліджень науково-дослідної лабораторії з розробки систем підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем керування рухом суден Херсонської державної морської академії в 2023 році. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2024.* – Одеса, 2024. С. 318–322.

https://drive.google.com/file/d/1G2rRIItYsQVejaZQCQT2HzQc-pY7HTGh-/view?usp=drive_link – створена багатомодульна СППР судноводія.

97. **Бень А. П.**, Соколов А. В., Соловей О. С. Система підтримки прийняття рішень з формування вантажного плану контейнеровозу. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2024.* – Одеса, 2024. С. 293–295.

https://drive.google.com/file/d/19Uq4DCIUfKlSGyp3zMyIEhMN2cDrHlNs/view?usp=drive_link – визначено етапи формування вантажного плану контейнеровозу в СППР.

100. Матейчук В. М., Бень А. П., Зінченко С. М., Онишко Д. М. Навчальний тренажер з перевірки знань МПЗЗС–72. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2025): матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2025. – С. 65–67. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/05/Матеріали-MINTT-2025-p..pdf> - процедура класифікації суден за рівнем небезпечності.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	48
ВСТУП.....	49
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ЗІ ЗАСТОСУВАННЯ СППР В СУДНОВОДІННІ.....	61
1.1. Запровадження сучасних інформаційних технологій в судноводінні, концепція E-navigation.....	61
1.2. СППР судноводія як складова сучасних технічних засобів управління судном.....	67
1.3. Сучасний стан розвитку та напрямки застосування СППР в судноводінні.....	69
1.4. Основні чинники аварійності сучасного судноводіння та шляхи зниження їх впливу.....	74
1.5. Методи прийняття рішень в галузі судноводіння та їх застосування для зниження рівня аварійності суден.....	77
1.6. Процес прийняття рішень в ергатичній системі «СППР-ОПР»...	82
1.7. Застосування МПЗЗС-72 в СППР судноводія.....	85
1.8. Людський фактор в судноводінні та шляхи зниження його впливу.....	88
1.9. Хронологічні етапи виконання дослідження	92
1.10. Висновки до першого розділу.....	95
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	98
2.1. Обґрунтування вибору теми наукового дослідження.....	98
2.2. Методологічні та технічні аспекти дослідження проблеми.....	100
2.3. Обґрунтування напрямків досліджень.....	105
2.4. Висновки до другого розділу.....	106
РОЗДІЛ 3. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СППР СУДНОВОДІЯ.....	107

3.1. Структура та особливості функціонування СППР судноводія.....	107
3.2. Формалізація вимог МПЗЗС-72 в СППР судноводія.....	110
3.3. Оцінка навігаційної ситуації в СППР судноводія.....	117
3.4. Критерії оцінки небезпечності навігаційних ситуацій.....	121
3.5. Обробка навігаційної інформації в СППР судноводія.....	131
3.6. СППР в управлінні вантажними операціями контейнеровозів.....	139
3.7. Висновки до третього розділу.....	144

РОЗДІЛ 4. ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ РОЗХОДЖЕННІ, МАНЕВРУВАННІ ТА ДИНАМІЧНОМУ ПОЗИЦІОНУВАННІ СУДЕН..... 145

4.1. Оцінка навігаційних параметрів руху та ситуаційний аналіз процесу розходження суден.....	145
4.2. Підтримка прийняття рішень судноводія при надмірному, небезпечному та критичному зближенню суден.....	151
4.3. Підтримка прийняття рішень при маневруванні суден.....	167
4.3.1. Характерні точки судна і їх вплив на процес маневрування.....	167
4.3.2. Модель розрахунку полюса повороту судна.....	171
4.4. Підтримка прийняття рішень при динамічному позиціонуванні суден.....	176
4.4.1. СППР в управлінні динамічним позиціонуванням судна	176
4.4.2. Підвищення надійності управління динамічним позиціонуванням судна	179
4.5. Висновки до четвертого розділу.....	185

РОЗДІЛ 5. ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР У ПРОЦЕСАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ СУДНОВОДІННЯ ТА ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЙОГО ВПЛИВУ..... 187

5.1. Вплив людського фактора на процеси управління судном.....	187
5.2. Інформаційні інтерфейси навігаційних систем та людський фактор.....	191

5.3. Кількісна оцінка впливу людського фактора в системі «Судноводій – НІС»	196
5.4. Модель судноводія та метод її формування в СППР.....	201
5.5. Моделювання проявів людського фактора команди на навігаційному містку судна.....	207
5.6. Автоматизація процесів управління рухом судна та людський фактор.....	220
5.7. Висновки до п'ятого розділу.....	221
РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН.....	223
6.1. Автоматизовані системи управління рухом судна	223
6.2. Автономні судна та автоматизовані системи керування.....	225
6.3. Підвищення точності та надійності функціонування автоматизованих систем управління рухом суден.....	227
6.4. Автоматизація процесів розходження судна з багатьма цілями, що маневрують.....	234
6.5. Оптимізація процесів автоматизованого управління рухом судна	239
6.6. Автоматизація процесів керування рухом судна у шторм.....	242
6.7. Автоматизація процесів керування рушійно-керуючим комплексом.....	250
6.8. Висновки до шостого розділу.....	256
РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ МОДУЛІВ СППР НА СТЕНДІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	258
7.1. Розробка Стенда імітаційного моделювання на базі навігаційного тренажера Navi Trainer 5000.....	258
7.2. Організація інформаційного обміну між навігаційним тренажером і Стендом імітаційного моделювання.....	262
7.3. Моделювання процесів автоматизованого розходження судна із багатьма цілями.....	266

7.4. Моделювання процесів керування рушійно-керуючим комплексом.....	268
7.5. Модуль СППР з оцінки навігаційної ситуації та визначення правил МПЗЗС-72, що застосовуються.....	278
7.6. Експериментальні дослідження з визначення впливу людського фактора на процеси управління судном.....	282
7.7. Висновки до сьомого розділу.....	293
ВИСНОВКИ.....	295
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	300
ДОДАТКИ.....	331
ДОДАТОК А. Акти впровадження результатів дослідження.....	332
ДОДАТОК Б. Реєстраційні картки НДР.....	338
ДОДАТОК В. Патенти на корисну модель України.....	350

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

АІС – автоматична ідентифікаційна система;
АСК – автоматизована система керування
АСКРС – автоматизована система керування рухом суден;
БД – база даних;
БРЛС – берегова радіолокаційна система;
ДП – динамічне позиціонування;
ЕКНІС – електронно-картографічна навігаційно-інформаційна система;
ІК – істинний курс;
ІАД – інтелектуальний аналіз даних;
ІМО – Міжнародна морська організація;
ІСУ – інтегрована система управління;
ЗАРП – засоби автоматизованої радіолокаційної прокладки;
ЗП – задній повний;
КБМ – комітет безпеки на морі;
ЛВР – лінія відносного руху;
ММР – менеджмент морських ресурсів;
МН – машинне навчання;
МПЗЗС-72 – міжнародні правила запобігання зіткнення суден, 1972 року
НДР – науково-дослідна робота;
НІС – навігаційна інформаційна система;
НПП – носовий підрулюючий пристрій;
ОЛВР – лінія відносного руху, що очікується;
ОПР – особа, що приймає рішення;
РЛС – радіолокаційна система;
СДП – система динамічного позиціонування;
СЕУ – суднова енергетична установка;
СППР – система підтримки прийняття рішень;
ШІ – штучний інтелект.

ВСТУП

Актуальність теми. Незважаючи на негативні наслідки пандемії коронавірусу та напружену безпекову ситуацію у світі, розвиток міжнародного морського судноплавства триває, а його обсяги і кількість суден світового торговельного флоту мають стійку тенденцію до щорічного збільшення. Разом з тим, збільшення обсягів морських перевезень обумовлює зростання як витрат на експлуатацію суден, так і кількості аварій, спричинених судноплавством, у тому числі із значними негативними техногенними, економічними та екологічними наслідками [29,97].

Таким чином, виникає протиріччя, яке обумовлене означеною проблемою: з одного боку, наявною потребою підвищення обсягів світових морських перевезень, їх швидкості та безпечності, а з іншого боку – максимального зменшення всіх видів економічних та часових витрат, що пов'язані з реалізацією перевезень.

Розв'язання зазначеної наукової проблеми можливе лише науковими методами – в площині одночасного системного застосування сучасних інформаційних та інноваційних технологій в усіх сферах керування процесами транспортування вантажів морськими шляхами, зокрема, забезпеченням безпеки морських перевезень, логістики та керування вантажними операціями, технічної експлуатації суден, оптимізації роботи портової інфраструктури тощо.

Окремими науковими питаннями, які потребують вирішення в контексті успішного розв'язання зазначеної проблеми, постають питання комплексного аналізу причин виникнення морських аварій та їх наслідків, визначення пріоритетних шляхів та методів їх попередження, мінімізації економічних та людських втрат, а також зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Важливе місце у вирішенні цих питань займає інтеграція у галузь судноплавства новітніх технологій і методів обробки даних, які дозволяють істотно пришвидшити та покращити якість процесів управління суднами, судовими системами та допоміжними пристроями.

Разом з тим слід зазначити, що застосування сучасних інформаційних систем управління рухом судна полегшує працю судноводіїв. Але чим складніше функції таких систем, тим гостріше відчувається потреба в координуванні роботи технічних засобів управління судном, формуванні інформації, що надається судноводієві. Проведені дослідження доводять, що впровадження новітніх технічних засобів управління рухом судна природним чином «відокремлює» судноводія від процесу підтримки заданого рівня безпеки. Це пояснюється тим, що він не в змозі одночасно аналізувати значні обсяги різноманітної, у тому числі – навігаційної, інформації та безпосередньо ефективно контролювати та впливати на цей рівень у реальному часі.

Як показує аналіз причин виникнення аварій на морі, головним їх фактором є і залишається, так званий, людський фактор (близько 85 % усіх випадків). Відомо, що більшість навігаційних аварій відбувається не через відмову технічних засобів навігації або управління рухом судна, а через неготовність судноводіїв своєчасно приймати ефективні і якісні рішення відповідно до ситуації, яка складається. Зниження впливу людського фактора на рівень аварійності на морі є актуальною науково-практичною проблемою сьогодення, яку необхідно вирішувати у розрізі оптимізації взаємодії судноводія з сучасними технічними засобами управління рухом суден.

Як показує проведений аналіз низки джерел із зазначеної проблематики [165-172, 178-180, 186, 188, 199, 211, 214, 219, 223], на поточний час існує нагальна проблема в створенні сучасних систем підтримки прийняття рішень (СППР) та автоматизованих систем з управління рухом суден, що враховують особливості процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння та забезпечують прийняття нею вірних рішень в складних навігаційних умовах та критичних ситуаціях.

Розробка таких систем є важливою проблемою сьогодення для всіх морських держав і є одним із пріоритетних напрямів наукових досліджень, пов'язаних з вирішенням питань безпеки сучасного судноплавства.

Вирішенню питань підвищення безпеки судноводіння шляхом зниження ризиків зіткнень суден, створення інформаційних навігаційних систем, автоматизованих систем управління рухом та СППР у галузі судноводіння присвячені дослідження відомих вітчизняних та зарубіжних вчених, таких як: Алексішин В. Г., Бурмака І. О., Вагущенко Л. Л., Кондратенко Ю. П., Мальцев А. С., Піпченко О. Д., Тихонов І. В., Цимбал М. М., Lisowski J., Patraiko D., Pietrzykowski Z., Wang F., Zhang M. Разом з тим, слід зазначити, що проблемні питання підвищення ефективності функціонування та практичного застосування таких систем, з урахуванням особливостей процесів взаємодії з особою, що приймає рішення (ОПР), особливо в критичних ситуаціях та за умов негативного впливу так званого «людського фактора» або «людського чинника», потребують подальшого вивчення, уточнення, формалізації та вирішення.

Важливою складовою у вирішенні зазначеної проблеми є також підвищення загального рівня автоматизації процесів управління рухом судна та судновими технічними засобами, застосування новітніх методів керування, що обумовлено наявністю стійкої тенденції до скорочення чисельності членів суднової команди та стрімким зростанням у світовому судноплаванні частки безекіпажних і автономних суден [1]. Наявний досвід розробки СППР в судноводінні показує, що для ефективного практичного використання зазначених систем необхідне виконання низки важливих вимог, обумовлених, з одного боку, особливостями функціонування СППР, а з іншого – умовами прийняття рішень в судноводінні [126, 188].

Таким чином, актуальність дослідження полягає у тому, що у світовому судноплаванні на поточний момент часу існує низка невирішених, або вирішених лише частково науково-практичних проблем, а саме:

- необхідність комплексного підвищення рівня безпеки сучасного судноплавства за умов максимізації його економічної ефективності;
- необхідність мінімізації ризиків у процесах управління рухом суден, що обумовлені наявністю людини, як ключової ланки реалізації процесу керування.

Гіпотезою дослідження є те, що суттєвим чинником підвищення ефективності та безпеки процесів управління рухом суден є застосування валідних та верифікованих практикою СППР судноводія.

У дисертаційному дослідженні виявлено коло наступних найважливіших наукових проблем, що потребують вирішення у сучасній морській індустрії:

- інтенсивне запровадження новітніх інформаційних технологій, засобів електронної навігації та зв'язку в процесах управління рухом суден та керування загальносудновими системами обумовлює потребу у розробці та застосуванні інноваційних методів підвищення безпеки та ефективності морських перевезень;
- загальне зростання рівня автоматизації суднових систем та швидкоплинності процесів керування в таких системах збільшує інформаційне навантаження на оператора, потребує зменшення негативного впливу людського фактора на процеси управління судном;
- суттєве зростання розмірів сучасних суден (контейнеровозів, танкерів) і інтенсивності трафіку їх руху, за умов незмінності геометричних розмірів акваторій портів, проток, каналів та небезпечних ділянок, потребує істотного зменшення ризиків виникнення морських аварій, у т.ч. пов'язаних із значними негативними техногенними наслідками;
- підвищення вимог до рівня підготовки плавскладу, зменшення загальної чисельності екіпажів та одночасне зростання у світовому суднопластві частки автономних та безекіпажних суден потребують розробки відповідних методів керування.

З метою подолання окреслених проблем, у дисертаційному дослідженні вирішується низка наукових завдань, а саме:

- визначення методів та пріоритетних шляхів підвищення ефективності та безпеки сучасного суднопластва в умовах впровадження новітніх інформаційних технологій, засобів навігації та зв'язку;
- визначення принципів побудови та особливостей функціонування СППР у галузі судноводіння;

- дослідження, розвиток та удосконалення математичних моделей процесів прийняття рішень у судноводінні;
- дослідження та розробка методів зниження негативного впливу людського фактора на процеси управління судном;
- розробка методів автоматизації управління рухом суден в критичних ситуаціях та за умов автономності їх функціонування.

У роботі науково обґрунтовано та визначено нове концептуальне вирішення актуальної проблеми підвищення ефективності та безпеки сучасного судноводіння, яке досягається шляхом застосування уперше запропонованих та удосконалених існуючих методів оцінки небезпеки навігаційних ситуацій, ситуаційного аналізу та підтримки прийняття рішень з управління рухом суден при виконанні комплексних навігаційних задач із використанням СППР судноводія.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження спрямоване на реалізацію Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України №430-р від 30 травня 2018 року) [193]. Дисертаційну роботу виконано відповідно до положень Морської доктрини України на період до 2035 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 1307 та її нової редакції, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 28 жовтня 2020 р.

Тема дисертаційної роботи пов'язана з виконанням чотирьох науково-дослідних робіт, що фінансувалися із видатків загального фонду державного бюджету та були успішно завершені під керівництвом автора протягом 2015-2022 рр., а саме: «Розробка систем підтримки прийняття рішень судноводія», номер державної реєстрації 0115U002517, 2015 - 2016 роки [219]; «Створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден військового та цивільного призначення», номер державної реєстрації 0117U002176, 2017 - 2018 роки [222]; «Розробка програмних засобів для підвищення якості функціонування систем динамічного позиціонування

морських суден», номер державної реєстрації 0119U100948, 2019 - 2020 роки [218]; «Розробка новітніх моделей та програмних засобів для автоматизованих систем керування рухом морських суден цивільного та спеціального призначення», номер державної реєстрації 0121U109680, 2021 - 2022 роки [217].

Дисертаційне дослідження є складовою виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Херсонської державної морської академії на 2021-2025 рр., яке фінансовано за рахунок коштів державного бюджету, № 0121U114703 (2021 р., 2023 р.), де автор є керівником щорічних етапів роботи [173, 174]. Вказані дослідження проведено на базі науково – дослідної лабораторії «Розробка систем підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем керування рухом суден», яка створена у ХДМА за ініціативою автора у 2020 році [138].

Особистий внесок автора полягає у здійсненні загального наукового керівництва зазначеними науково-дослідними роботами, у розробці моделей та методів підвищення ефективності процесів управління рухом судна, методів зменшення впливу людського фактора на вказані процеси шляхом застосування СППР судноводія та автоматизованих систем керування.

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності та безпечності судноводіння шляхом впровадження систем підтримки прийняття рішень судноводія.

Досягнення поставленої мети здійснюється за рахунок розробки концептуальних підходів і створенні систем підтримки прийняття рішень в судноводінні, визначення теоретичних та методологічних засад побудови таких систем та пріоритетних шляхів їх практичного запровадження, що дозволяє підвищити безпеку судноплавства.

Головні завдання дослідження наступні.

1. Комплексно дослідити поточний стан питань розробки та запровадження СППР в галузі судноводіння – визначити коло існуючих проблем та пріоритетних шляхів їх вирішення.

2. Дослідити особливості створення та застосування СППР судноводія, а також процесів обробки інформації та прийняття рішень у таких системах відповідно до вимог міжнародних нормативно – правових документів, що регламентують рух суден.

3. Розробити та удосконалити математичні моделі та методи підтримки прийняття рішень при розходженні, маневруванні та динамічному позиціонуванні суден з урахуванням вимог їх подальшого практичного застосування у СППР судноводія.

4. Дослідити питання негативного впливу людського фактору на процеси управління рухом суден та визначити ефективні шляхи щодо його зниження, розробити методи підвищення ефективності процесів інформаційної взаємодії судноводія та СППР.

5. Дослідити та удосконалити методи автоматизації процесів прийняття рішень з управління рухом суден, визначити особливості їх застосування у критичних умовах та наявності обмежень часу

6. Здійснити практичну апробацію, імітаційне моделювання і верифікацію розроблених методів підтримки прийняття рішень з управління рухом суден із застосуванням сертифікованих навігаційних тренажерів.

Об’єкт дослідження – процеси прийняття рішень в судноводінні.

Особливістю прийняття рішень в судноводінні є необхідність формування та прийняття рішень в режимі реального часу за умови наявної складної кооперативної взаємодії учасників навігаційної ситуації та наявності постійного інформаційного обміну судноводія з технічними засобами управління судном.

Предметом дослідження є сукупність теоретико-методологічних та прикладних методів створення та застосування систем підтримки прийняття рішень у судноводінні.

У межах предмета дослідження пропонуються концептуальні підходи до створення СППР у судноводінні, теоретичні і методологічні засади побудови систем, що враховують особливості руху суден, процесу взаємодії людини з

технічними засобами судноводіння та вимоги чинних міжнародних нормативних документів в галузі судноплавства.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач у дисертації використано методи: системного аналізу та синтезу, ситуаційного аналізу та сценарно-прецедентного підходу, математичного моделювання, аналітичної геометрії та векторної алгебри, теорії автоматичного та оптимального керування, диференційного обчислення, імітаційного моделювання.

Наукова цінність дослідження визначається вирішенням основних наукових завдань. У процесі виконання дослідження, здобувачем особисто отримано наступні **нові наукові результати**.

1. Вперше запропонована категоризація напрямів існуючих досліджень у галузі судноводіння за колом задач, що вирішуються, та визначено пріоритетні шляхи розвитку кожного напрямку, що дозволило виокремити проблеми, пов'язані із застосуванням СППР та інтелектуальних систем у судноводінні, визначити ефективні методи їх вирішення.

2. Вперше запропоновано застосування комплексного підходу до створення СППР в галузі судноводіння, який базується на комбінованому використанні аналітичних моделей руху суден, методів ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій та методів ШІ, що дозволяє підвищити оперативність та точність рішень з управління судном, що приймаються.

3. Вперше розроблені методологічні засади побудови СППР судноводія, які відрізняються врахуванням особливостей процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння, що дозволяє скоротити витрати часу на формування та прийняття рішень, підвищити рівень їх точності та адекватності щодо навігаційної ситуації, яка має місце.

4. Вперше запропоновано застосування інформаційної взаємодії судноводія з СППР, яке відрізняється використанням чотирьохфазного циклу обробки, що дає змогу підвищити якість і та рівень безпомилковості процесів інформаційного обміну в ергатичній системі «СППР – особа що приймає рішення (ОПР)».

5. Вперше запропонована структура СППР судноводія, головною відмінністю якої від відомих є застосування моделі роботи судноводія та здійснення адаптивного процесу взаємодії з судноводієм у відповідності до пріоритетності обробки інформаційних повідомлень. Пропонована структура дозволяє знизити негативний вплив людського фактора на процеси управління судном та мінімізувати суб'єктивність рішень, що приймаються.

6. Удосконалено комплексний метод кількісної оцінки небезпеки зіткнення суден, який відрізняється визначенням області взаємних обов'язків суден та гранично допустимих дистанцій найкоротшого зближення, що дає можливість розраховувати в СППР параметри зони безпеки навколо власного судна.

7. Удосконалено методи підтримки прийняття рішень судноводія з управління рухом суден при вирішенні задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування, які відрізняються адаптацією до застосування у СППР за умов наявності обмежень часу та у критичних ситуаціях, що дозволяє підвищити швидкість та адекватність рішень, що приймаються.

8. Удосконалено методи ідентифікації та оцінки негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом судна та запропоновано методи його зниження в СППР судноводія, основною відмінністю яких є автоматизація процесів прийняття рішень з управління рухом судна для при розходженні, маневруванні, та у критичних ситуаціях, за умов наявності обмежень часу, що дозволяє знизити навігаційні ризики.

9. Удосконалено методику розрахунку полюсу повороту судна при здійсненні маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях, яка відрізняється адаптацією до вимог подальшого практичного застосування у СППР судноводія, що дозволяє підвищити точність дотримання суднами планованої траєкторії руху на потенційно небезпечних ділянках.

10. Отримала подальший розвиток методика здійснення динамічного позиціонування судна, яка відрізняється урахуванням особливостей процесу взаємодії системи динамічного позиціонування (ДП) з оператором, що дозволяє

знизити ймовірність виникнення помилкових дій у процесі керування об'єктом ДП.

11. Отримала подальший розвиток методика застосування СППР у процесах оптимізації формування вантажних планів суден контейнеровозів, яка відрізняється від існуючих можливістю адаптивного корегування вантажного плану у відповідності до змін у маршруті судна, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати на виконання рейсу.

Практична цінність дослідження полягає у тому, що отримані у дисертації результати, можуть бути застосовані в освітньому процесі морських навчальних закладів під час підготовки майбутніх судноводіїв, а також у навчально-тренажерних центрах при здійсненні тренажерної підготовки фахівців морської галузі, при створенні спеціалізованих апаратних та програмних засобів з управління рухом суден, розробці та впровадженні СППР та інтелектуальних навігаційних інформаційних систем (НІС) у галузі судноводіння.

Практичні результати дисертаційного дослідження застосовуються у навчальному процесі курсантів морських навчальних закладів, при підвищенні кваліфікації фахівців морської галузі, а також у тренажерній підготовці морських фахівців у спеціалізованих тренажерних центрах.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційну роботу виконано здобувачем самостійно: проведено пошук першоджерел за тематикою дослідження та здійснено їх ґрунтовний аналіз з метою визначення існуючих наукових проблем, протиріч та можливих шляхів їх вирішення. Шляхом проведеного критичного аналізу існуючих наукових досліджень та практичних розробок в галузі підвищення безпеки судноплавства та застосування СППР в галузі судноводіння визначено мету та основні задачі дослідження. Здійснено розробку методологічного забезпечення дослідження та отримано вирішення усіх його окремих задач, їх узагальнення, отримано розв'язок комплексної задачі дослідження. Створено інформаційні процедури обробки навігаційних даних та розроблено необхідне програмне забезпечення. Результати роботи впроваджено

у виробничий та навчальний процеси установ та навчальних закладів, а також використано у процесі виконання чотирьох держбюджетних науково-дослідних робіт, керівником яких був автор. При практичній реалізації запропонованих рішень визначені рекомендації щодо удосконалення навчального процесу та покращення результатів тренажерної підготовки майбутніх судноводіїв.

З наукових робіт, які опубліковані у співавторстві, у дисертації використані тільки ті положення і результати, які належать автору особисто. Особистий внесок автора до кожної з публікацій у співавторстві, зазначено у переліку публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи доповідались і обговорювались на 32 наукових заходах: II-XIV Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT), м. Херсон, – 2010-2022 рр.; Науково-методичній конференції «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека», м. Одеса, – 2012 р.; III Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології», м. Одеса, – 2014 р.; Науково-методичній конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві», м. Одеса, – 2015 р.; II-IV та VII Міжнародних науково-практичних конференціях «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика», м. Херсон, – 2015-2017, 2020 рр.; Науково-технічній конференції «Транспортні технології (Морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», м. Одеса, – 2019 р.; XII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТО 2021)» м. Херсон, – 2021 р.; II,III,V та VI Міжнародних науково-практичних конференціях кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету (MPP&O-2021,2022,2024). – Одеса, 2021,2022,2024 рр.; International Scientific Conference "Intellectual decision-making systems and problems of computational intelligence" (ICDMCI-2021). Kherson: Jeleznyi Port, – 2021 р.; I Міжнародній науково практичній конференції «Навігація та керування

судном: нові підходи, навчання та моделювання» м. Одеса, – 2024 р.; XV-XVII Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT), м. Одеса, – 2023-2025 рр.

Публікації. За результатами роботи опубліковано 100 наукових праць, з них 21 - одноосібно. Зокрема, 44 публікації у наукових профільних виданнях (з яких 9 публікацій індексуються у базах даних *Scopus* та *Web of Science*), 2 монографії, 1 навчальний посібник, 8 патентів на корисну модель України, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається з анотацій, переліку умовних скорочень, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 387 сторінок, де, крім основного тексту на 270 сторінках, міститься 92 рисунки та 9 таблиць. Список використаних джерел складається з 235 найменувань.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ЗІ ЗАСТОСУВАННЯ СППР В СУДНОВОДІННІ

1.1. Запровадження сучасних інформаційних технологій в судноводінні, концепція E-navigation

З точки зору науки «судноводіння – наука про методи водіння суден чи кораблів, яка полягає у виборі найкоротшого чи найбезпечнішого шляху (маршруту), яким судно має йти у призначене місце, і постійній перевірці його місцезнаходження як удень, так і вночі, як поблизу берегів, так і у відкритому морі». Відомо, що мета торговельного, промислового, наукового та військового мореплавства різна, однак вимоги до забезпечення безпеки мореплавства єдині, а спільне завдання судноводіння універсальне. Навігаційна безпека плавання – невід’ємна умова вирішення будь-якої задачі мореплавства, а спільне завдання судноводіння стисло формулюється так: «провести судно з одного пункту в інший за заздалегідь наміченим, безпечним і найвигіднішим шляхом». Під безпечним і найвигіднішим шляхом мається на увазі такий, при якому судно прибуде в пункт призначення у найкоротший або призначений термін з найменшою витратою палива (енергоресурсу) та інших запасів, а також з найменшим ризиком зустрічі з навігаційними небезпеками, з іншими судами і небезпечними гідрометеорологічними явищами [219].

Незважаючи на розвиток засобів навігаційного обладнання та посилення вимог до судноводіїв і судновласників, як з боку Міжнародної морської організації (ІМО), так і з боку національних департаментів [35,39,212], рівень аварійності суден і досі залишається високим. Не менше половини аварій суден торговельного флоту відбувається внаслідок посадки на мілину, тобто безпосередньо пов’язані з діяльністю осіб ходової навігаційної вахти. Аналіз причин зіткнень показує, що головна причина аварій – людські помилки, які складають більш ніж 80 % від загальної кількості причин, що призводять до

зіткнення [212]. Система Міжнародного морського судноплавства являє собою полієргатичну систему, складовими елементами якої є «людина – машина – навколишнє середовище». Людина входить до вказаної системи як оператор, який здійснює функції управління, тобто планує, оцінює плани можливих дій, стан навколишнього середовища і, на підставі цього, приймає рішення. Для того, щоб прийняті рішення відповідали ситуації, яка склалася, їй необхідно постійно отримувати інформацію про стан самої системи та зміни стану навколишнього середовища. Тому особливого значення набуває дослідження інформаційних та концептуальних моделей процесів управління суднами, а також прийняття рішень оператором (судноводієм, або особою, що приймає рішення – ОПР).

На поточний момент часу існує стійка тенденція до зростання рівня автоматизації сучасних суден та запровадження інтегрованих систем управління судном з єдиним центром керування, розташованим на навігаційному містку. Також існує тенденція щодо скорочення чисельності екіпажу, у зв'язку з чим виникає низка додаткових проблем, які істотним чином впливають на безпеку плавання. Суміщення обов'язків, збільшення психологічних навантажень, викликаних, зокрема, безперервною взаємодією із значною кількістю автоматизованих систем керування, призводить до накопичення втоми і сприяє розвитку психологічної напруженості в екіпажі [74].

З метою подолання негативного впливу людського фактора і запобігання можливих наслідків людських помилок в судноводінні, необхідно проводити послідовну політику вдосконалення механізмів і систем керування, застосовувати в інтегрованих системах керування новітні інформаційні технології та методи ШІ, орієнтовані на вирішення завдань контролю, оцінки ситуації, прийняття рішень і управління окремими судновими об'єктами, системами і пристроями. Оскільки людина в ергатичній системі виконує роль головної керуючої ланки, від роботи якої багато в чому залежить успішність функціонування всієї системи, вкрай важливим є вірне розуміння змісту і цілеспрямованості безпосередньо процесу управління.

Зазначені питання є основним предметом розгляду кібернетики. Слід окремо підкреслити, що слово кібернетика в перекладі з давньогрецької означає «мистецтво судноводіння». З позицій кібернетики, управління – це вплив на систему, що має на меті приведення системи в заданий стан або підтримання її в заданому стані. При цьому слід зазначити, що, чим більше ступенів свободи має система, тим складніше нею керувати. Оскільки керування є інформаційним процесом, у керованій системі завжди мають місце складні міжелементні та міжрівневі інформаційні взаємодії. Керуючий вплив (команда) є реакцією, яка надійшла до керуючої ланки – інформацію про зміну взаємодій між елементами системи або між системою і середовищем. В умовах відсутності інформації керуючі впливи не відбуваються, тобто іншими словами, немає інформації – немає і управління. Безпосередньо управління, як процес, складається з окремих етапів, сукупність яких формує алгоритм його виконання: постановка завдання → збір інформації → обробка інформації → вироблення альтернатив → оцінка альтернатив → вибір альтернативи (рішення) → команда → контроль виконання → порівняння результатів.

Інформація, необхідна для прийняття рішень при управлінні системою, надходить з довготривалої пам'яті – потужного джерела інформації, накопиченої людиною протягом життя. Інформація, отримана з будь-якого іншого джерела, може бути використана для прийняття рішень тільки за умови її співвіднесення з інформацією з довготривалої пам'яті – всіх знань людини; зовнішнє середовище – інформація про стан справ у даний момент часу, тобто інформація теперішнього часу, визначальне рішення, прийняте у даний момент, передача інформації із сьогодення у даний момент; інформація зворотного зв'язку – це інформація про результати попереднього рішення, тобто інформація з минулого, визначає справжнє рішення [219].

Людина, як система, володіє різними психологічними характеристиками, найбільш важливими з яких з точки зору прийняття рішення є ті, які мають відношення до інформаційних процесів сприйняття та обробки інформації. Інформаційні властивості можна розділити на два класи: постійні (інваріантні) –

властиві всім особам, які приймають рішення та індивідуальні (особистісні), що визначають відмінності між людьми. До інваріантних інформаційних характеристик людини відносяться насамперед цілеспрямованість дій, наявність і структура пам'яті, послідовність мислення, оскільки на практиці, в процесах прийняття рішень, людина здатна оперувати лише кількома об'єктами одночасно. За умов збільшення складності об'єктів управління їх кількість зменшується.

Прийнято вважати, що більше трьох складних гіпотез одночасно людина утримати в пам'яті не в змозі. Гіпотеза – це судження про передбачувані події, уявлення людини, вирішальні завдання, про наслідки вибору альтернатив. У реальних задачах альтернативи мають, як правило, складну структуру, оскільки складаються з безлічі складових. Гіпотези про наслідки вибору складних альтернатив будуть ще більш складними за своєю структурою. Однак у багатьох реальних задачах число гіпотез доволі велике і перевищує можливості оперативної пам'яті з обробки інформації. Для вирішення таких завдань потрібен певний час, оскільки швидкість розумових процесів обмежується малою ємністю оперативної пам'яті. Дефіцит часу, відпущеного на вирішення завдання, може в такому разі не дозволити людині прийняти правильне рішення. Оскільки оперативне мислення, антиципація, просторова уява та гнучкість мислення – це психологічні механізми, що сприяють ефективності дій оператора в складних, проблемних ситуаціях, то формуванню та тренуванню цих механізмів має бути приділено набагато більше уваги в процесі підготовки судноводіїв [47,85,218].

Таким чином, в умовах, що склалися на сьогодні, особливого значення набуває питання створення систем підтримки прийняття рішень (СППР) в судноводінні, які здатні ефективно вирішувати значну частку питань, пов'язаних із процесами формування рішень з управління судном та зниженням впливу «людського фактора». Створення та застосування СППР в судноводінні набуває особливого значення в умовах інтенсивного впровадження сучасних інформаційних технологій та концепції E-navigation [8].

E-navigation (е-Навігація) – концепція, розроблена ІМО, в основі якої лежить координація систем морської навігації і допоміжних берегових служб відповідно, до потреб користувачів. На поточний момент часу прийняте наступне визначення е-Навігації: «е-Навігація – це скоординовані збір, інтеграція, передача, відтворення та аналіз інформації про ситуацію на морі, на борту судна і на березі за допомогою електронних засобів, з метою забезпечення поліпшеної навігації «від причалу до причалу» і роботи відповідних служб, підвищення надійності та безпеки морської навігації і захисту морського середовища». У результаті розробки концепції е-Навігації з'явилися три базові компоненти, які зараз використовуються в якості основи для визначення потреб судноводіїв, а саме: суднові системи, берегові системи та інфраструктура зв'язку [63]:

1. Бортові навігаційні системи на основі об'єднаних в єдиний комплекс бортових датчиків, що забезпечують інформацію, стандартного інтерфейсу користувача і єдиної системи управління охоронними зонами та оповіщенням. Базовими елементами такої системи є електронні засоби позиціонування з високим рівнем інтеграції (електронне позиціонування), електронні навігаційні карти і аналітичні функції, яка мінімізують вплив людського фактора і дозволяють знизити навантаження на моряка.

2. Вдосконалена система управління рухом суден і роботою відповідних берегових служб за рахунок використання доопрацьованих схем підтримки та координації комплексних даних, а також обміну ними в форматах, які найбільш зручні і зрозумілі для операторів берегових служб, що забезпечують безпеку і ефективність руху морських суден.

3. Інфраструктура, що забезпечує авторизовану пряму передачу інформації на борту корабля, між кораблем і берегом, а також між береговими службами та іншими сторонами, з усіма супутніми перевагами, включаючи мінімізацію ймовірності впливу людського фактору.

Впровадження концепції е-Навігації повинне забезпечити вирішення наступних завдань [81]:

- підтримувати безпечний рух суден, враховуючи гідрографічну, метеорологічну і навігаційну інформацію і ризики;
- підтримувати, в міру можливостей, контроль і управління рухом суден за допомогою берегових служб;
- підтримувати систему зв'язку, включаючи передачу інформації між суднами, судном і берегом, між береговими службами та іншими користувачами;
- забезпечувати можливість підвищення ефективності перевезень і логістики;
- підтримувати високий рівень реагування на аварійні ситуації, а також роботу пошукових і рятувальних служб;
- демонструвати певний рівень точності, цілісності та безперервності, який відповідає системам з особливими вимогами до безпеки;
- об'єднувати і відтворювати інформацію бортових і берегових систем за допомогою інтелектуального інтерфейсу оператора, що дозволить максимально підвищити рівень безпеки судноплавства і мінімізувати ризик виникнення невірної тлумачення інформації користувачем;
- об'єднувати і відтворювати інформацію бортових і берегових систем для управління робочим навантаженням користувачів, а також забезпечувати роботу користувача і процес прийняття рішень;
- вводити вимоги до навчання та освоєння сучасних інформаційних технологій, що ставляться перед користувачами;
- підтримувати глобальне покриття, узгоджені стандарти і заходи, а також сумісність і здатність до взаємодії обладнання, систем, символіки / позначень та експлуатаційних методик з метою запобігання можливості виникнення конфлікту між користувачами;
- забезпечувати можливість нарощування функцій і бути доступною для всіх потенційних морських користувачів.

Одним з найважливіших напрямків розвитку е-Навігації на сучасному етапі є розробка та застосування СППР судноводія, які забезпечують взаємодію її окремих компонент з користувачами [145].

1.2. СППР судноводія як складова сучасних технічних засобів управління судном

Підвищення безпеки судноводіння в сучасних умовах збільшення обсягів морських перевезень, зростання тоннажу суден та інтенсифікації світового судноплавства в цілому, являє собою важливу науково-практичну задачу. Організація роботи команди навігаційного містка при виникненні аварійної ситуації визначається ступенем підготовки штурманського складу до взаємодії при управлінні рухом в складних ситуаціях [75]. Швидкоплинність процесу управління і недостатність часу для отримання коректної інформації про процес руху вимагає попередньої підготовки до дії команди містка в екстремальних умовах при небезпечному зближенні з навігаційною небезпекою або іншим судном [150].

З вищевказаної причини розробка СППР судноводія, що застосовує змістовні моделі процесу визначення небезпеки для управління судном при виникненні передумов виникнення аварійної ситуації є вкрай актуальною задачею сьогодення. Аналіз існуючих робіт, які присвячені теорії та практиці створення СППР у судноводінні [6,26,52,53,57,61,94,113-131,136-145,157,158,161-164,168-172,177,184,188,194,199,210,218,219,224,231-233,235], переконують у необхідності подальшої розробки таких систем та удосконалення існуючих.

Значною перешкодою на шляху розв'язання вказаного питання стає відсутність чітких формальних моделей, які характеризують процеси взаємодії суден при розходженні. Особливо це стосується ситуації невизначеності, зокрема, коли наявні два та більше суден, а умови огляду водної акваторії є недостатніми. Ключовим фактором правильного рішення такої задачі є забезпечення ефективності та своєчасності прийняття рішень судноводієм з управління судном. Так, чим складнішими становляться функції судноводія, тим гостріше встає необхідність у координації роботи технічних засобів та

інтерпретації інформації, яка надається з їх боку. Впровадження новітніх технічних засобів управління рухом судна природним чином «відриває» судноводія від процесу підтримки заданого рівня безпеки, оскільки він становиться неспроможним безпосередньо та повністю контролювати цей рівень у реальному часі.

Слід зазначити, що до початку 90-х років минулого сторіччя проблеми безпеки мореплавання в основному вирішувалися за рахунок розробки нових правил та нормативних документів у вигляді різних Міжнародних конвенцій, вдосконалення транспортних засобів і технологічного обладнання, що, звичайно, надавало свої позитивні результати, але вплив «людського фактору» на результати управління судном залишався поза увагою дослідників.

На поточний момент часу, широке використання нових інформаційних технологій і сучасних технічних засобів судноводіння (ЗАРП, ЕКНІС, АІС, GPS) призводить до збільшення детальності уявлення наявної навігаційної ситуації, але водночас ускладнює її оцінку, що скорочує час, доступний судноводію для аналізу і розробки потрібного управлінського рішення. Отже, ефективність прийняття управлінських рішень безпосередньо пов'язана з ефективністю роботи ергатичної системи «судноводій – технічні засоби судноводіння» і схильна до істотного впливу людського фактора [73,76].

Аналіз сутності явища «людський фактор», специфіки соціотехнічної системи, що функціонує на морі та в межах якої воно проявляється, визначення сутності, видів професійних помилок, які здійснює представник плавскладу, усвідомлення сутності, значення управлінських рішень на борту судна та специфіки різноманіття соціально-психологічних передумов, що сприяють його забезпеченню, дозволяє прийти до висновку про необхідність впровадження системного підходу відносно забезпечення продуктивної підтримки прийняття вірних рішень судноводіїв.

Зниження впливу людського фактора на рівень аварійності на морі є актуальною науково-практичною проблемою, яку необхідно вирішувати в розрізі оптимізації взаємодії судноводія з сучасними технічними засобами

судноводіння. Зменшити ризики щодо прийняття рішень управління судном можна шляхом введення проміжної ланки обробки, візуалізації інформації та формування множини альтернатив – СППР. Процес проєктування і розробки таких систем має ряд особливостей, обумовлених умовами їх функціонування: наявністю тимчасових обмежень на прийняття рішення, неповної, неточної або суперечливої інформації про поточну ситуацію, обумовлену складними гідрометеорологічними умовами або похибками технічних засобів, можливістю виникнення нестандартних ситуацій, вирішення яких СППР заздалегідь невідомо [219].

Слід зазначити, що розробка СППР судноводія пов'язана з низкою складнощів, одна з яких – формалізація МПЗЗС-72 у вигляді, зручному для практичного використання в базі знань СППР [219].

1.3. Сучасний стан розвитку та напрямки застосування СППР у судноводінні

Питання створення та використання СППР в судноводінні докладно розглянуто в низці робіт вітчизняних та зарубіжних авторів [6,26,52,57,61,68,94,119,120,128,184,194]. Хоча перші згадки про експертні системи в судноводінні беруть свій початок з 80-х років ХХ-ст. [48,213], слід зазначити, що реальне практичне застосування СППР в судноводінні та проведення наукових досліджень в цій галузі розпочалося на початку ХХІ-ст. Зазначені обставини були, обумовлені, перш за все інтенсивним розвитком та впровадженням сучасних інформаційних технологій в усіх сферах діяльності людства. Широке запровадження засобів електронної навігації, та поява концепції E-Navigation [8], призвело до впровадження інтегрованих систем ходового містка [167,170], і обумовило необхідність створення сучасних автоматизованих систем керування рухом судна. Таким чином, виникла проблема створення СППР з керування процесами розходження, маневрування та загального планування руху [13,31,91,116].

Важливими питаннями постали проблеми вибору оптимальних маршрутів суден з позицій мінімізації витрат палива та забезпечення безпеки перевезень [13,19,37,49,53,57,94,152], побудови логістичних ланцюжків транспортування товарів, складання оптимальних вантажних планів суден-контейнеровозів [194] та керування вантажними операціями при перевезенні великовагових, негабаритних, та небезпечних вантажів, тощо [45,92,159,221]. Окремим напрямком для теоретичних досліджень та практичних напрацювань стало розв'язання питань, пов'язаних з оптимізацією роботи портових терміналів та інфраструктури портів [20,86].

Великий клас задач для СППР в судноводінні сформували також проблеми керування ризиками в галузі, а саме: страхування суден та вантажу, керування фрахтуванням, розрахунок рівня ризиків морських перевезень [102], агентування та бербоут-чартеру суден.

Слід зазначити, що активний розвиток та практичне застосування СППР в галузі судноплавства, обумовило також появу низки важливих питань, що потребують нагального вирішення. Перш за все слід сфокусувати увагу на необхідності врахування наступних вимог до СППР:

- збільшення кількості інформаційних джерел та інтенсивності інформаційних потоків з якими доводиться мати справу особам, що приймають рішення (ОПР);
- підвищення загальних вимог до оперативності і своєчасності прийняття рішень в умовах високого рівня відповідальності за їх наслідки;
- потреба максимального зменшення рівня суб'єктивності оцінки ситуації;
- за можливістю, максимальне зменшення впливу так званого людського фактора [5,23,62] на процеси прийняття рішень.

Істотне підвищення швидкодії сучасних засобів обчислювальної техніки та інтенсивний розвиток новітніх інформаційних технологій, сприяли істотному розширенню сфер застосування як СППР, так і взагалі систем ІІІ.

Серед основних напрямів, за якими здійснюється впровадження таких систем, слід зазначити [163]:

- автономні судна та системи автономної навігації;
- СППР з керування рухом суден в складних навігаційних умовах та за наявності факторів ризику;
- технічна діагностика та прогнозування відмов суднового обладнання;
- енергетичний менеджмент процесів експлуатації суднових енергетичних установок та електрообладнання;
- керування вантажними операціями контейнеровозів та суден, що перевозять негабаритні і великовагові вантажі;
- планування ефективної роботи портової інфраструктури та портових терміналів;
- раціональне планування маршрутів руху суден та управління логістикою морських перевезень.

Безумовно, сфера застосування саме СППР у морській галузі дещо вужча, ніж систем ІІІ взагалі, проте вона також доволі широка і охоплює практично усі напрямки. На підставі ґрунтовного аналізу низки наукових робіт [166-171,186,188] було побудовано узагальнену класифікацію напрямків застосування СППР у судноводінні, яка наведена на рис. 1.1 [128].

Слід зазначити, що хоча специфіка розробки СППР за кожним із зазначених напрямків і має певні відмінності, однак для галузі судноводіння можна визначити певну узагальнену методологію створення та впровадження таких систем. Зазначена методологія побудови СППР обумовлює необхідність послідовного виконання наступних етапів, рис. 1.1 [128]:

- визначення та аналіз особливостей предметної галузі;
- визначення особливостей підтримки прийняття рішень в судноводінні;
- аналіз процесів формування та прийняття рішень судноводієм;
- формування базисних принципів побудови СППР судноводія;
- визначення кола прикладних задач, які будуть вирішуватись за допомогою СППР;

- створення дослідного зразка СППР та аналіз ефективності його практичного застосування;
- модифікація та вдосконалення згідно з досвідом практичного застосування;
- впровадження та сертифікація (у разі необхідності).

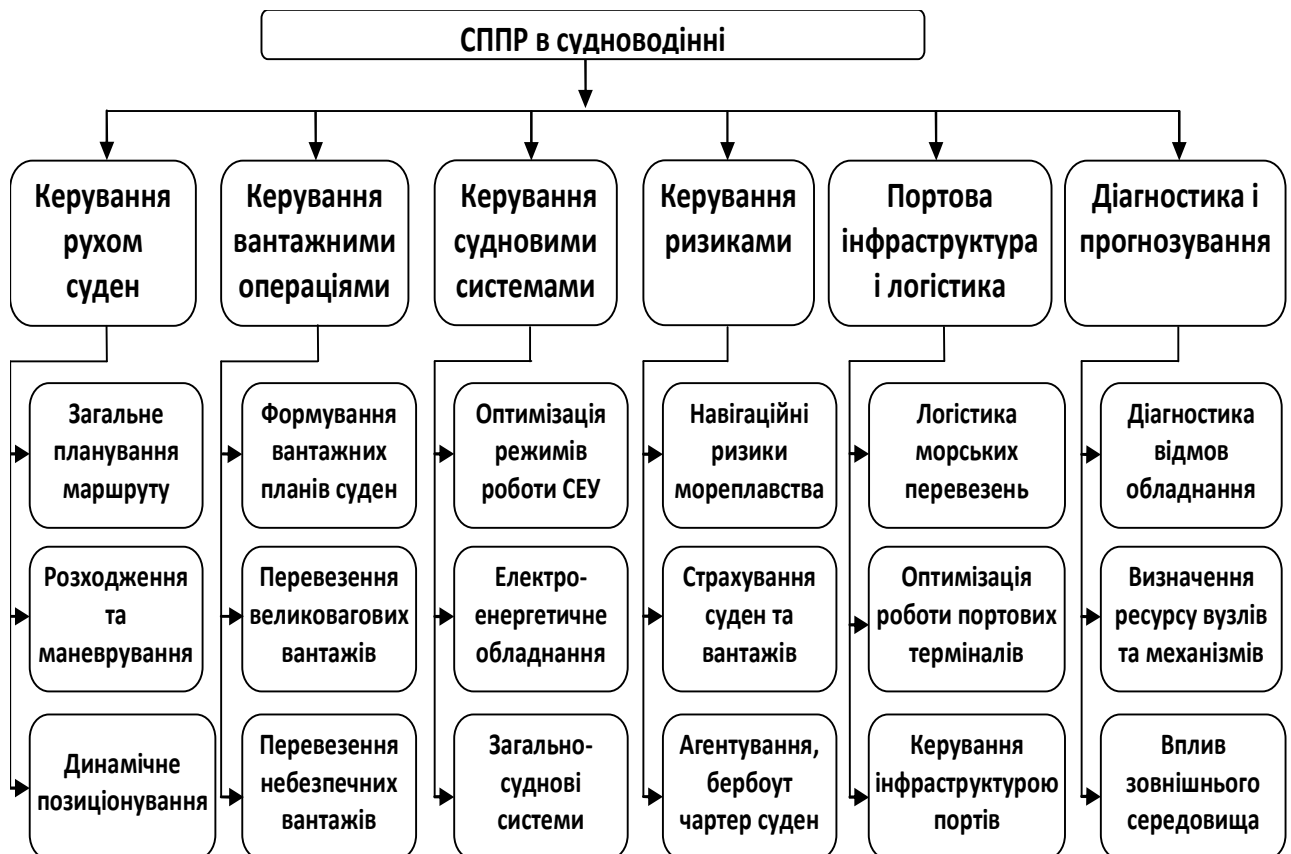


Рисунок 1.1 – Класифікація напрямків застосування СППР в галузі судноводіння

Відповідно до вищезазначених етапів було побудовано структуру життєвого циклу СППР в галузі судноводіння, яка наведена на рис. 1.2., [128].

Згідно з першим етапом необхідно враховувати, що особливостями предметної галузі, що розглядається, є наступні [15]:

- наявність стохастичних та недетермінованих факторів впливу на процеси керування рухом судна;

- наявність факторів невизначеності та неповноти вихідних даних стосовно ситуацій, що розглядаються;
- наявність часових обмежень на процеси на процеси введення, аналізу інформації та формування управлінських рішень;
- необхідність комплексного врахування зовнішніх збурень на процеси прийняття рішень, що обумовлені впливом навколишнього середовища;
- наявність фактору суб'єктивності суджень особи, що приймає рішення (ОПР), що обумовлено наявними в неї стереотипами формування управлінських рішень для певних ситуацій;
- істотний вплив на прийняття рішень психофізіологічного стану ОПР;
- обов'язкова відповідність рішень, що приймаються, вимогам чинних міжнародних нормативних документів, що регламентують діяльність в галузі судноплавства;
- у випадку застосування СППР у сфері запобігання зіткнення суден, слід брати до уваги, що процеси прийняття рішень щодо їх розходження мають розподілений і кооперативний характер за умов цілеспрямованої поведінки всіх учасників навігаційної ситуації.

Врахування вищевказаних особливостей СППР в галузі судноводіння та практичне застосування запропонованого життєвого циклу створення таких систем дозволить скоротити витрати часу на їх розробку, верифікацію та подальше практичне запровадження, реалізувати у повному обсязі функціональні можливості, які слід реалізувати відповідно до обраного напрямку застосування.



Рисунок 1.2 – Життєвий цикл створення СППР в судноводінні

Також слід зазначити, що вищенаведені особливості предметної галузі вимагають комбінованого застосування відомих математичних методів керування у поєднанні з моделями і методами ІШ [14].

1.4. Основні чинники аварійності сучасного судноводіння та шляхи зниження їх впливу

Проведений аналіз даних щодо кількості суден світового торгового флоту за період 2002–2022 р, а також рівня аварійності, на підставі інформації, яка отримана з джерел [97] та [29], дозволяє зробити висновки стосовно наявності стійкої тенденції до зростання обох показників (рис. 1.3). Важливо зазначити,

що в абсолютних показниках кількість аварій суден у 2021 році у порівнянні з 2002 роком зросла у 1,74 рази (на 74%), при цьому найбільша кількість аварій припадає на контейнеровози, пасажирські судна та суховантажі. Але слід також враховувати, що і кількість суден за зазначений період часу зросла майже вдвічі, тому у співвідношенні до кількості суден показник аварійності майже не зазнав змін [119].

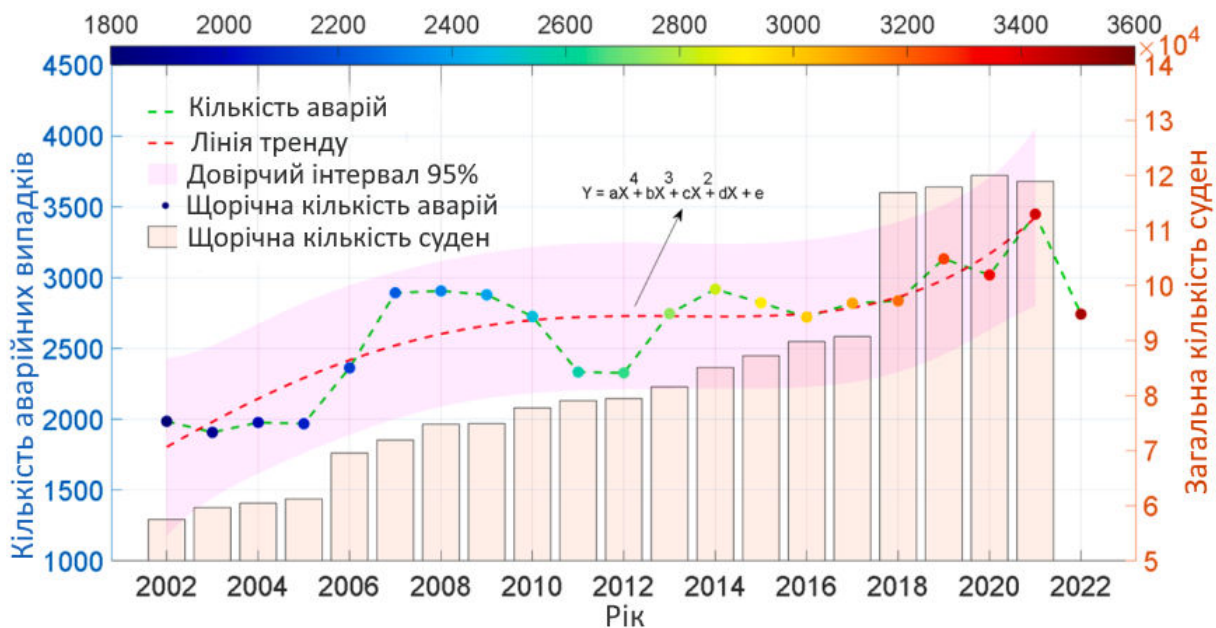


Рисунок 1.3 – Показники аварійності світового судноплавства, 2002–2022р.,[29]

Проте, слід мати на увазі, що кожна аварія морського судна кличе за собою високі техногенні, екологічні та економічні ризики, що можуть мати суттєвий вплив на світове судноплавство в цілому (наприклад, припинення внаслідок аварій, руху суден в Суецькому, Панамському каналах, протоці Босфор, забруднення Мексиканської затоки та ін.). Тому об'єктивне зростання імовірності настання таких подій майже вдвічі, обумовлює гостру потребу пошуку шляхів зниження аварійності світового судноплавства в абсолютних показниках [119].

Першим кроком в даному напрямку має бути виявлення основних чинників виникнення аварій суден і з'ясування відносної частки кожного з них від загальної кількості. Розглядаючи причини, що обумовлюють виникнення аварій

морських суден згідно з даними джерела [29], (рис. 1.4), можна виявити, що причиною третини всіх аварійних випадків (33%) є зіткнення суден одне з одним (14%) та посідання на мілину (19%).

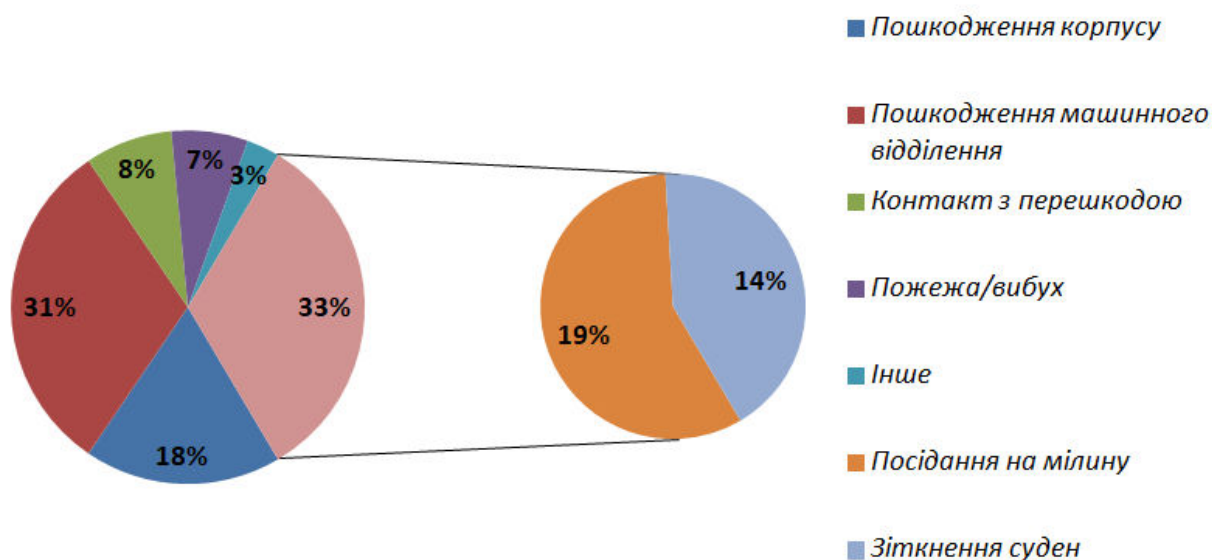


Рисунок 1.4 – Розподіл основних причин аварійності суден [2]

Ще 8% аварій припадає на зіткнення суден з перешкодами. Таким чином, майже половина (41%) всіх аварійних випадків пов'язані саме з похибками в управлінні рухом суден.

Додатково слід зазначити, що, значна частка аварій, що належать до інших категорій (аварії у машинному відділенні, пожежі, пошкодження конструкцій судна) також доволі часто мають причиною свого виникнення негативний вплив так званого «людського чинника», тобто безпосередньо пов'язані з помилками керування членів суднової команди відповідними системами та пристроями. Частка таких аварій за даними різних авторів [6, 166,169,188,227], складає не менш ніж 70–80% від їх загальної кількості.

Помилки, що обумовлені негативним впливом людського фактора, виникають внаслідок того, що під час прийняття рішення людина-оператор, або ОПР покладається на свій емпіричний (суб'єктивний) вибір та напівемпіричні знання (критерії прийняття рішень), що може призвести до виникнення двох

типів помилок «Відомі помилки» та «Невідомі помилки» [100]. Помилки першого типу виникають внаслідок браку знань, або частково обізнаністю ОНР (недооцінка зовнішніх факторів впливу на траєкторію руху судна, неможливість спрогнозувати подальший сценарій розвитку навігаційної ситуації, тощо). Помилки другого типу більш складні, оскільки пов'язані з повною відсутністю обізнаності ОНР про певні фактори або ризики (неправильна оцінка дій інших суден, неправильна оцінка поточної навігаційної ситуації). Проте, помилок другого типу можна уникнути, або істотно знизити їх кількість, шляхом застосування інтелектуальних навігаційних інформаційних систем (ІНІС) або СПНР, що використовують новітні інформаційні технології передачі та аналізу даних ІІ, інтелектуальний аналіз даних (ІАД), машинне навчання (МН) та ін..

Зазначені системи можна застосовувати для прогнозування можливих небажаних подій та сценаріїв розвитку навігаційних ситуацій і керування судновими системами, пропонуючи ОНР упереджувальні (проактивні) управлінські рішення, спрямовані на запобігання виникнення аварій.

Таким чином, СПНР мають значний потенціал у вирішенні проблеми зменшення кількості помилок, спричинених впливом людського фактора на процеси керування суднами та допоміжними системами, і, як наслідок, сприятимуть зменшенню кількості аварій у світовому судноплаванні. Саме тому дослідження та вдосконалення методів прийняття рішень, які застосовуються в СПНР, а також визначення пріоритетних шляхів їх практичного запровадження являє собою важливу задачу сьогодення.

1.5. Методи прийняття рішень в галузі судноводіння та їх застосування для зниження рівня аварійності суден

Серед методів прийняття рішень, що застосовуються в галузі забезпечення безпеки судноводіння, залежно від типів задач, на вирішення яких вони спрямовані, можна виокремити кілька окремих специфічних напрямів. Нижче запропонована класифікація напрямів наукових досліджень та методів

підтримки прийняття рішень, що застосовуються в ІНІС для вирішення задач запобігання зіткнень суден та уникнення навігаційних небезпек і посідань на міліну наведена у таблиці 1.1., [126]. Розглянемо докладніше специфіку та особливості наукових досліджень за кожним з вищенаведених напрямів.

Методи досліджень за напрямом «Загальне керування морськими ризиками та безпекою мореплавства» фокусуються на вирішенні задач, пов'язаних з імплементацією міжнародних норм, правил та систем керування безпекою судноплавства з метою підвищення його безпечності. Дослідження за напрямом мають підтримку з боку ІМО, ІСО, багатьох класифікаційних товариств та регіональних морських організацій. Методи підтримки прийняття рішень у зазначеному напрямі слід розділити на дві великі підгрупи: до першої відносяться методи, що вирішують питання, пов'язані з оцінкою довгострокових або стратегічних ризиків в судноплавстві, до другої – методи, пов'язані з оцінкою оперативних ризиків, безпосередньо пов'язаних з операціями керування судном [31].

Значна частка досліджень зазначеного напрямку пов'язана з потребами дотримання вимог ISO 31000 [35,36], ІМО FSA та ISM, а також виконанням норм міжнародного законодавства, які регламентують правила руху суден, зокрема МПЗЗС-72 [34] та POLARIS [38]. Важливою складовою напрямку, яка перебуває в стадії активного розвитку, є створення прикладних програмних та апаратних засобів, дозволяють реалізувати на практиці процеси неухильного дотримання судноводіями вимог вказаних нормативних документів. Зазначені обставини обумовлені насамперед тим, що на практиці судноводіям складно обробляти в режимі реального часу великі обсяги навігаційних даних з одночасним врахуванням нормативних вимог, які регламентують рух суден, що призводить до виникнення помилок в процесах керування судном і обумовлює появу негативного впливу так званого людського чинника.

Таблиця 1.1 – Класифікація напрямів наукових досліджень за колом задач, що вирішуються

№	Спрямування методів досліджень	Коло задач, що вирішуються
1	Загальне керування морськими ризиками та безпекою мореплавства	Створення нормативних документів і правил з метою покращення безпеки мореплавства, шляхом застосування стратегій керування ризиками, що гармонізовані з міжнародними стандартами безпеки
2	Аналіз статичних ризиків	Оцінка та зменшення ризиків мореплавства на основі наявних масивів статистичних даних для визначених районів та маршрутів суден за минулі періоди часу
3	Аналіз динамічних ризиків	Оцінка та зменшення ризиків мореплавства в режимі реального часу на основі наявної навігаційної ситуації та можливих змін зовнішніх факторів, що впливають на її розвиток
4	Аналіз зіткнень суден та посідань на міліну	Оцінка масштабів та наслідків збитків, обумовлених зіткненнями суден та їх посіданням на міліну, з метою визначення найбільш безпечних та ефективних стратегій керування рухом суден
5	Управління та планування руху суден із застосуванням математичних моделей руху	Створення математичних моделей управління рухом суден в різних умовах плавання та за наявності зовнішніх факторів впливу з метою підвищення точності та безпечності навігації.
6	Управління та планування руху суден з використанням ШІ, ІАД, МН та ін.	Створення новітніх технологій управління рухом суден з використанням методів ШІ, ІАД, МН метою підвищення точності та безпечності навігації в складних навігаційних умовах та за наявності зовнішніх факторів впливу, що динамічно змінюються.

Окремим пріоритетним під напрямом досліджень в межах вищевказаного, є розробка методів і засобів керування автономними суднами. Стратегічний план діяльності ІМО на 2018–2023 р. вказує на наявну гостру необхідність імплементації в міжнародні нормативні документи норм і правил, що регламентують рух автономних суден [126].

Згідно [40], ІМО визначає чотири рівні автономності суден: судно з автоматизацією процесів і прийняттям рішень, дистанційно кероване судно з машиною командою на борту, дистанційно кероване судно без команди на борту,

повністю автономне судно. Також ІМО анонсувало розробку нових правил керування ризиками та безпекою для автономних суден, які вступлять в дію з 01.01.2028 р. Застосування таких суден обумовить стрімке зростання частки наукових досліджень, пов'язаних із застосуванням методів ШІ, ІАД, МН та інших методів в галузі сучасних інтелектуальних інформаційних технологій, що будуть розглянуті нижче.

Напрямок досліджень, що пов'язаний з аналізом постійних ризиків охоплює методи ідентифікації, оцінки та мінімізації ризиків судноплавства на стратегічному рівні. Зазначені методи дозволяють визначити існуючі фактори ризику, здійснити класифікацію ситуацій за рівнем ризиків та забезпечити відповідний вибір керуючих впливів, спрямованих на їх мінімізацію. Переважна більшість методів, що застосовується для аналізу постійних ризиків, розглядає такі фактори ризику як: людський фактор, вплив зовнішнього середовища, характеристики руху судна та параметри функціонування його систем, організаційні фактори впливу. Найбільш пріоритетним на поточний момент часу є вирішення питань запобігання зіткнень суден, посідання мілину та оцінки ризиків, що виникають під час експлуатації автономних та безекіпажних суден [25,31].

В цілому, зазначений напрям досліджень є найбільшим за обсягом серед напрямів, що наведені в таблиці 1.1, і може бути додатково розподілений ще на дев'ять піднапрямів в залежності від типів математичних моделей, що застосовуються для вирішення поставлених задач. До таких піднапрямів слід віднести: методи нечіткої логіки [55], дерева подій та дерева відмов [96], аналіз видів відмов та їх наслідків [10], байесівські мережі [18], методи імітаційного моделювання [7], методи системного аналізу [59], геометричне моделювання [51], методи оцінки впливу людського фактора [100], інші (або комбіновані) методи.

Головною метою напрямку досліджень «Аналіз динамічних ризиків» є виявлення та оцінка ризиків, що обумовлені рухом суден. Методи зазначеного напрямку спрямовані на ідентифікацію небезпечних ситуацій що виникають під

час руху суден (зіткнення з іншими суднами, посідання на мілину та зіткнення з нерухомими об'єктами, навігаційні небезпеки, тощо) з метою формування сценаріїв дій з керування рухом суден, спрямованих на уникнення таких ситуацій. Виходячи, з математичних моделей, що застосовуються, зазначений напрям також може бути розділений на п'ять піднапрямів, а саме: метод пошуку точок найбільшого зближення, метод безпечної зони судна, метод динамічної безпечної зони судна, метод швидкостей перешкод, гібридні методи [26,103,31].

Напрямок досліджень «Аналіз зіткнень суден та посідань на мілину» розглядає методи оцінки наслідків морських аварій суден та рівнів потенційних збитків, до яких вони призводять, з метою мінімізації їх негативного впливу. Таким чином, зазначені методи слугують для визначення дій, спрямованих на зменшення масштабів пошкодження суден під час морських аварій.

Для визначення масштабів наслідків пошкодження суден під час зіткнень застосовуються аналітичні та імітаційні моделі, а також емпіричні моделі, що базуються на статистичних відомостях щодо пошкодження суден, що мали місце в минулому під час різних типів аварій. Контакт корпусу судна, що рухається, з твердими перешкодами або посідання на мілину призводить до структурних деформацій, масштаб яких залежить від множини факторів (швидкість руху, місце, напрям та тривалість зіткнення та ін.) і може бути оцінений шляхом застосування певних математичних або імітаційних моделей та методів. В зазначених моделях корпус судна розглядається як тверде тіло, що рухається в просторі з шістьма ступенями свободи (6DoF) та знаходиться під впливом зовнішніх (хвилі, вітер та течії) та власних рушійних сил (момент інерції, амортизаційні ефекти від руху корпусу у воді, відхилення від траєкторії руху, кінетична енергія тощо) [88].

Виходячи з математичного апарату, що застосовується для вирішення вказаних задач, зазначений напрям досліджень може бути розділений на чотири піднапрями: ймовірнісні методи, аналітичні методи, методи машинного навчання, комбіновані методи [25,31,49,55,96,103].

Управління та планування руху суден з використанням методів ШІ для запобігання зіткнень є напрямом досліджень, якій протягом останніх кількох років набув найбільш стрімкого розвитку [62], як завдяки процесам бурхливої інтеграції новітніх інформаційних технологій в галузі судноводіння так і появи нового сегменту в галузі – автономних та дистанційно керованих, безекіпажних суден. Ключовими задачами, на розв’язання яких спрямовані методи даного напряму є: прогнозування можливих траєкторій руху суден задля запобігання зіткнень, вибір найкращого маршруту руху суден під час виконання трансокеанських переходів за критеріями економії палива та безпеки виконання рейсу у відповідності до гідрометеорологічних умов, керування рухом у вузькостях та каналах, автоматизоване та повністю автономне керування безекіпажними суднами [126].

1.6. Процес прийняття рішень в ергатичній системі «СППР-ОПР»

Аналізуючи сукупність напрямів досліджень та методів прийняття рішень, що застосовуються в галузі забезпечення безпеки судноплавства, можна виділити коло обов’язкових ключових функцій, які повинні бути реалізовані в СППР, визначити структуру СППР та шляхи її практичної реалізації.

Розглядаючи процес прийняття рішень в ергатичній системі «СППР-ОПР» як цілісний багатоетапний процес взаємодії, можна виділити цикл прийняття рішень, що полягає в послідовній реалізації чотирьох взаємопов’язаних етапів (рис. 1.5), [119]:

- аналіз поточної навігаційної ситуації на підставі наявних вхідних даних та існуючих норм та правил, що регламентують рух суден;
- визначення потенційних ризиків, що існують в умовах, які склалися на поточний момент часу, та оцінка ймовірності їх настання;
- визначення можливих наслідків, що матимуть місце у випадку настання кожного із ризиків, та кількісна оцінка пошкоджень або матеріальних збитків, які будуть в такому разі отримані;

– прийняття рішень з управління судном на підставі комплексної згортки критеріїв мінімізації ризиків/негативних наслідків за умов дотримання існуючих міжнародних вимог.

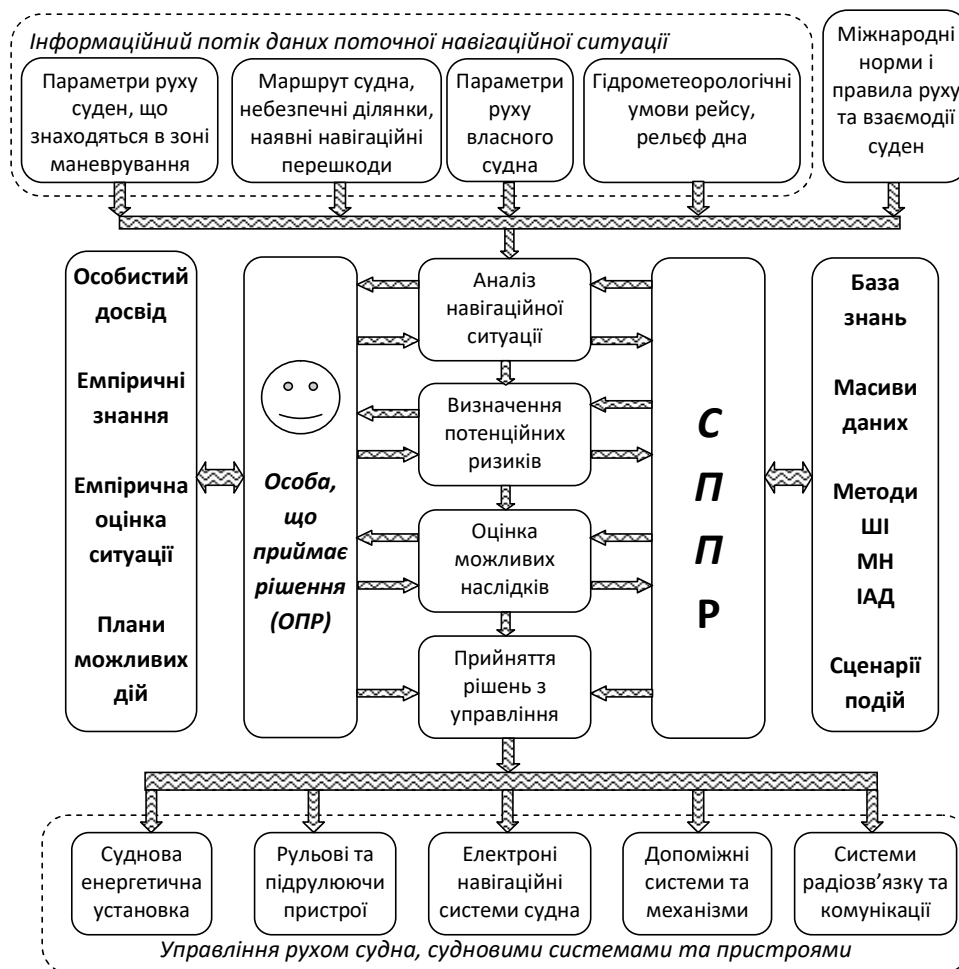


Рисунок 1.5 – Структура СППР судноводія та інформаційних потоків в процесі прийняття рішень

При цьому слід зазначити, що вказані етапи відбуваються послідовно та одночасно як безпосередньо з боку СППР, так і з боку ОПР, при цьому, однак, сторони застосовують різні підходи до їх реалізації. Так, ОПР в процесі прийняття рішень спирається на власні знання, емпіричні методи та інтуїцію, будуючи певні плани майбутніх дій, тоді як СППР застосовує спеціалізовані бази статистичних даних та сучасні методи їх обробки, що дозволяє будувати можливі сценарії подальшого розвитку навігаційної ситуації та формувати на їх основі можливі рішення. Обидва контури (ОПР та СППР) обробки інформації під час прийняття рішень є взаємодоповнюючими і саме в їх синергії та

злагодженій взаємодії і полягає ключ успішної реалізації процесів безпечного управління рухом судна.

Важливо відзначити, що задля забезпечення ефективної обробки інформації в колі постійної інформаційної взаємодії «СППР-ОПР» під час кожного з чотирьох вищезазначених етапів процесу прийняття рішень, слід застосовувати різні методи з узагальненої класифікації напрямів, наведених в таблиці 1, а саме наступні [119].

1. На першому етапі доцільним є застосування методів ідентифікації та класифікації ситуацій, а також методів, що належать до першого та третього піднапрямку методів досліджень, зазначених в таблиці 1. Результатом виконання етапу є визначення множин статичних та динамічних небезпек, а також обмежень, що накладаються на траєкторію руху власного судна.

2. Під час виконання другого етапу процесу прийняття рішень визначаються потенційні фактори ризику, що можуть виникнути в процесі руху судна згідно з передбаченим маршрутом. На даному етапі слід застосовувати методи (окремі, або їх комбінації) що належать до другого та третього піднапрямків методів досліджень, зазначених в таблиці 1.1. Результатом етапу є формування множини факторів ризику, яка підлягає подальшому аналізу, впорядкуванню та скороченню.

3. На третьому етапі процесу прийняття рішень здійснюється оцінка наслідків – збитків та втрат, що можуть виникнути у разі настання одного або декількох визначених ризиків. За масштабами ймовірних наслідків здійснюється поділ усіх наявних ризиків на прийнятні, істотні та неприйнятні. Істотні та неприйнятні ризики розглядаються на наступному етапі для визначення керуючих впливів на рух судна та процеси функціонування його систем з метою уникнення ризикових ситуацій. Третій етап реалізується із застосуванням методів, які відносяться до четвертого піднапрямку.

4. Четвертий етап передбачає широке застосування методів, зазначених у п'ятому та шостому піднапрямках таблиці 1.1, а саме: методів математичного

моделювання, ШІ, ІАД та сценарно-прецедентного підходу, з метою формування остаточного рішення з управління судном, або підмножини можливих рішень.

Також слід зауважити, що при практичній реалізації СППР вкрай необхідним є застосування модульного принципу побудови системи, відповідно до якого кожен з вищезазначених етапів реалізується в окремому програмному модулі СППР, а уніфікованими є лише формати потоків даних між ними. В такому випадку з'являється можливість швидкої модернізації та модифікації СППР відповідно до потреб конкретного судновласника, або у зв'язку з необхідністю внесення змін, обумовлених змінами у чинних міжнародних нормативних документах у галузі судноплавства.

Окремо слід зазначити, що важливою складовою практичного застосування СППР в судноводінні є обов'язкове дотримання вимог МПЗЗС-72 у процесах управління рухом суден, що, у свою чергу потребує створення відповідних математичних моделей для формалізації правил у вигляді, придатному для подальшого використання у СППР.

1.7. Застосування МПЗЗС-72 в СППР судноводія

Питанням формалізації вимог правил МПЗЗС-72 з метою їх подальшого застосування в інтелектуальних навігаційних інформаційних системах, СППР, та автоматизованих системах управління рухом суден, у тому числі автономних, присвячена низка робіт зарубіжних та вітчизняних дослідників, в яких розглянуто різні аспекти практичного застосування МПЗЗС-72 та створення відповідних систем управління [2,9,27,41,46,64,104,50].

Так, у роботі [41] описано підходи, які слід враховувати при розробці алгоритмів, що покладено в основу функціонування СППР судноводія для прийняття рішень у ситуаціях розходження суден. Зазначені СППР можуть бути застосовані як безпосередньо на борту судна, так і для процесів дистанційного керування суднами, а також для автономних систем керування.

У статті [46] представлено ефективний алгоритм уникнення зіткнень, який використовує порогові функції керування, засновані на застосуванні маневрених характеристик суден у поєднанні з вимогами МПЗЗС-72. На відміну від традиційних методів управління рухом судна, яким бракує явного врахування технічних можливостей здійснення судном повороту та зміни напрямку руху з метою уникнення зіткнення, автори пропонують дві функції керування, що розраховуються на основі параметрів лівих та правих кіл повороту. Вказані функції встановлюють умови безпеки руху суден шляхом визначення дистанцій між суднами та центрами кіл їх повороту, що, у свою чергу, дозволяє ефективно визначити, як напрямки руху для ухилення від зіткнення, так і можливості повороту власного судна.

У роботі [64] проведені дослідження в напрямку визначення прогалин у розумінні та застосуванні МПЗЗС-72 серед морських студентів та досвідчених офіцерів. Автори проаналізували основні причини зіткнень суден, та з'ясували, що домінуючими факторами виникнення морських аварій є людський фактор і неправильне тлумачення правил. За допомогою анкетування цільових груп, було перевірено рівень їх розуміння правил, та виявлено, що недоліки у знаннях найчастіше виникають через неправильну інтерпретацію правил та їх помилкове застосування. За результатами дослідження визначено, що професійну компетентність навігаційних офіцерів можна покращити шляхом застосування відповідних методів навчання, які включають використання реальних сценаріїв, електронного навчання та мають на меті допомогти студентам не лише запам'ятати правила, а й зрозуміти їх вірне застосування на практиці.

У статті [2] пропонується застосування у системах уникнення зіткнень суден нового інтелектуального алгоритму виявлення небезпечних навігаційних ситуацій, заснованого на застосуванні нечіткої логіки у поєднанні з правилами МПЗЗС-72. Основна увага приділяється сценаріям, пов'язаним із розходженням кількох суден, оскільки їм притаманний істотно більш високий ризик виникнення зіткнень. Система оцінює рівень ризиків зіткнень для кожного судна, використовуючи в якості вихідних даних масштабовану дистанцію до

найближчої точки зближення та час до найближчої точки зближення. На основі розрахованого рівня ризику зіткнення, кута зустрічі та відносного кута руху кожного судна, визначеного відносно інших, система ухвалює рішення щодо уникнення зіткнень.

Робота [104] присвячена вирішенню проблеми формалізації МПЗЗС-72 у технічних системах. Автори пропонують застосовувати онтологічну модель поведінки суден, засновану на МПЗЗС-72, використовуючи методи графів знань. В такому випадку судно розглядається як просторово-часовий об'єкт, а його поведінка описується як зміни окремих параметрів руху у часових та просторових масштабах.

У роботі [9] досліджуються актуальні питання та потенційні виклики застосування МПЗЗС-72 у контексті розвитку автономних суден. Автори аналізують існуючі правила, які були розроблені для суден, керованих людиною, і розглядають їхню відповідність потребам та можливостям практичного застосування для повністю автономних систем.

Стаття [27] присвячена вивченню проблем безпеки на морі, пов'язаних із ризиками зіткнень суден та ролі МПЗЗС-72 у їх вирішенні. Автори зазначають, що, попри свою важливість як основного міжнародного регуляторного документа, формулювання МПЗЗС-72 не завжди є повністю зрозумілими для судноводіїв, що часто призводить до виникнення непорозумінь та двозначностей трактувань правил. У статті підкреслюється, що, хоча і наразі ведеться багато дискусій щодо застосування МПЗЗС-72, внесення істотних змін в їх діючу редакцію вбачається малоімовірним. Тому, замість переробки правил, пропонується зосередитись на вдосконаленні методів, які забезпечать ефективніше використання правил на практиці, перш за все у сферах освіти та тренажерної підготовки морських фахівців.

У роботі [50] досліджуються особливості застосування МПЗЗС-72 в СППР судноводія. Автори зазначають, що СППР, які застосовуються для навігації морських суден, повинні забезпечувати коректну реалізацію дотримання вимог МПЗЗС-72 в процесах керування рухом. В статті запропоновано нову методику

визначення безпечної зони навколо власного судна, засновану на застосуванні просторово-часової логіки.

За підсумками проведеного аналізу літературних джерел з проблеми, що досліджується, [2,6,9,24,27,41,46,50,64,75,104,128,188], можна зробити висновок, що важливими аспектами успішного застосування МПЗЗС-72 в судноводінні є не лише створення їх адекватних формальних моделей, адаптованих до застосування у СППР судноводія та автоматизованих системах керування рухом суден, а й розвиток тренажерних систем підготовки морських фахівців з метою підвищення їх компетентності в галузі практичних навичок застосування правил під час несення вахти на навігаційному містку.

Таким чином, створення методів оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій згідно з вимогами МПЗЗС-72 та їх подальше практичне використання в СППР судноводія, пріоритетним напрямком застосування якої буде тренажерна підготовка морських фахівців, являє собою актуальну науково-практичну задачу сьогодення.

1.8. Людський фактор в судноводінні та шляхи зниження його впливу

Питанням впливу людського фактора на стан аварійності на морському транспорті присвячені резолюції ІМО, зокрема А.772 (18) «Фактор втоми при укомплектуванні суден екіпажами та забезпеченні безпеки» від 04 листопада 1993 року та А.947 (23) «Принципи та цілі організації щодо концепції людського елемента» від 05 листопада 2003 року. У 2003 році ІМО було прийнято документ під назвою «Бачення людського фактора, принципи та цілі» (Human Element Vision, Principles and Goals), в якому людський фактор був визнаний головною причиною, що значно погіршує рівень безпеки сучасного морського судноплавства.

Проблемам, що виникають у процесі взаємодії людини з технічними засобами, а також питанням негативного впливу людського фактора на ефективність, надійність та безпеку взаємодії елементів системи «людина-

машина», присвячені праці багатьох авторів [11,12,70,72,79,95,175,176,215]. У зазначених роботах насамперед відстежується пряма залежність безпеки судноплавства від компетентності представників суднового персоналу, їхньої готовності працювати у важких та екстремальних умовах, здатності оперативно приймати правильні та ефективні рішення щодо управління морським судном, а специфіка взаємодії оператора з відповідною судною технікою розглядається з погляду функціонування ергатичної системи [117].

Широке застосування сучасних інформаційних технологій у судноводінні на сучасному етапі призводить до все більш широкого впровадження в судових автоматизованих системах, насамперед навігаційних, елементів СППР [231-233,235]. Автоматизовані судові системи управління в зазначених умовах стають різновидом специфічних ергатичних систем управління, принциповою особливістю яких є збереження активної ролі людини як об'єкта прийняття управлінських рішень.

Розглядаючи питання функціонування автоматизованих систем у судноводінні, слід зазначити, що таким системам притаманна низка специфічних рис, обумовлених галуззю їх практичного застосування, які повинні бути враховані в процесі їх створення та експлуатації, а саме [117]:

- функціонування в режимі реального часу накладає певні часові обмеження на процеси оцінювання навігаційної ситуації, формування безлічі можливих альтернатив щодо прийняття рішень, і надання відповідної інформації ОПР;

- множина альтернатив щодо прийняття рішень, яке формується СППР, повинна відповідати вимогам, визначеним у міжнародних нормативних документах, що регламентують рух суден, принципам «доброї морської практики» та досвіду ОПР, що складно формалізувати у вигляді математичних моделей;

- процес взаємодії автоматизованих систем управління та ОПР має циклічний характер: «формування інформаційного повідомлення – сприйняття

інформації – обробка інформації та прийняття рішень – здійснення керуючих впливів», більша частина часу в якому припадає на сторону ОПР;

– беручи до уваги той факт, що кількість інформації, необхідна для оцінки навігаційної ситуації значна, а ОПР має певні фізіологічні обмеження на обсяги інформаційних повідомлень, які сприймаються та оброблюються ним одночасно, важливого значення набуває ефективна комунікативна взаємодія між членами команди навігаційного містка.

Ключовим моментом зниження впливу людського фактора на рівень аварійності є усвідомлення ситуації за межами безпосередніх причин аварій. Вищевказаного можна досягти шляхом докладного визначення ланцюгів прихованих помилок, пов'язаних з процедурами та діями, що сприяли їх виникненню. Усвідомлення сутності явища «людський фактор» на морі як причини виникнення аварії на підставах професійних помилок представників плавскладу, що допускаються ними в межах існуючої соціотехнічної системи, обумовлює необхідність забезпечення високого рівня їх професійного реагування в підсистемі «людина-машина».

Беручи до уваги зазначені особливості функціонування автоматизованих систем управління судном, можна зробити висновок, що вирішення зазначених проблем виходить за площину процесів взаємодії «людина – автоматизована система», саме тому вирішення проблеми «людського фактора» може бути тільки комплексним і повинно включати три ключові складові:

- удосконалення функціональних можливостей сучасних автоматизованих систем і технічних засобів судноводіння;
- удосконалення процесів взаємодії в ергатичній системі «ОПР-автоматизована система»;
- удосконалення процесів взаємодії «людина-людина» в судновому екіпажі.

Тільки одночасне вирішення зазначених складових дозволить ефективно долати проблему негативного впливу людського фактора в сучасному мореплавстві [117].

Вдосконалення процесів взаємодії в ергатичній системі «ОПР-автоматизована система керування» може бути досягнуто шляхом розробки сучасних СППР судноводія.

Остання складова має безпосереднє відношення до професійних якостей членів суднової команди і може бути врахована шляхом введення спеціальних курсів підготовки плавскладу. Одним з курсів, здатних ефективно вирішувати зазначені питання, є курс «Менеджмент морських ресурсів», викладання якого розпочато в Херсонській державній морській академії в 2012 році.

У процесі виконання дослідження, у Херсонській державній морській академії (ХДМА) за підтримки кріюінгової компанії «Марлоу Навігейшен» (Кіпр), творчим колективом за участю автора, було розроблено та впроваджено в навчальний процес ХДМА та інших морських навчальних закладів України навчальний курс «Менеджмент морських ресурсів» (ММР), головною метою якого є мінімізація негативного впливу людського фактора на процеси управління судном.

Зміст курсу дає змогу майбутнім морякам звернути увагу на елементні складові їхнього професійного реагування, які в сукупності є умовою прийняття ними правильних рішень в екстремальних ситуаціях, а саме:

- сприймати характеристики ситуації та прогнозувати можливий подальший розвиток подій, що передбачає високий рівень розвитку психологічних пізнавальних процесів майбутніх судноводіїв, їхніх інтелектуальних та прогностичних здібностей;
- на підставі усвідомлених ознак ситуацій формувати варіанти моделі практичних дій членів суднового екіпажу для визначення оптимального управління та формулювання на цій основі змісту управлінського рішення;
- своєчасно враховувати попередження берегових служб, визначати стратегію безпеки та тактики виходу із ситуації з урахуванням позицій інших представників офіцерського складу;
- брати до уваги об'єктивну обмеженість дій членів суднового екіпажу в межах соціотехнічної системи;

- раціонально розподіляти навантаження серед членів команди, виходячи з їхньої реальної психологічної готовності діяти адекватно в кожній конкретній ситуації;

- ретельно відстежувати процес управління судном, генерувати нові варіанти виходу із ситуації в разі її погіршення на підставі спільного рішення тощо.

Автором було розроблено окремі змістовні модулі курсу ММР, а саме модулі: «Вплив «людського фактора» на аварійність суден», «Вплив рівня автоматизації на безпеку управління судном» та «Шляхи запобігання впливу «людського фактора» на морі» [191].

У змістовній частині модуля «Вплив рівня автоматизації на безпеку управління судном» визначено роль СППР судноводія, особливості функціонування ергатичної системи «Судноводій-технічні засоби управління судном», здійснено аналіз чинників виникнення аварій у процесі взаємодії людини з автоматизованими технічними засобами, визначено ключові причини виникнення помилок суднового персоналу, та запропоновано шляхи їх усунення.

З метою зниження негативного впливу людського фактора та запобігання можливим наслідкам людських помилок у судноплавстві при запровадженні курсу ММР також було розроблено інформаційну систему тестування курсантів для визначення їх рівня професійної підготовки та компетентності в екстремальних умовах роботи та дій у надзвичайних та аварійних ситуаціях на морському судні.

1.9. Хронологічні етапи виконання дослідження

Виконання дослідження здійснювалось протягом 2010-2025 років у Херсонський державній морській академії у лабораторіях електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем, які поєднані в єдиний інформаційно-обчислювальний комплекс, що дозволило моделювати процеси

розходження кількох суден в режимі реального часу та вивчати особливості процесів прийняття рішень судноводієм при здійсненні управління судном.

Також дослідження проводилось на базі науково-дослідної лабораторії «Розробка систем підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем керування рухом суден» в межах проведення на її базі низки досліджень, пов'язаних з розробкою функціональних модулів систем підтримки прийняття рішень та тренажерних комплексів, спрямованих на вирішення проблем підвищення безпеки судноплавства. Під час проведення досліджень було створено стенд імітаційного моделювання з інтегрованим використанням інформаційних сигналів навігаційного тренажера Navi Trainer 5000, що дозволило здійснювати математичну та програмну обробку сигналів з навігаційних датчиків для системи автоматизованого керування рухом суден у реальному часі, за умов складних навігаційних умовах плавання та наявності негативного впливу людського чинника. Створення вищезазначеного тренажера дозволило надалі перейти до розробки багатомодульної СППР, яка комплексно виконує завдання ідентифікації навігаційної ситуації, розрахунковий аналіз ризиків зіткнень, шляхом аналізу позицій суден та векторів їх відносного руху, а також врахування моделей людино-машинної взаємодії операторів-судноводіїв.

Окрім вищезазначеного, дослідження здійснювалось на базі навчально-тренажерного обладнання Херсонської державної морської академії та Херсонського морського спеціалізованого морського тренажерного центру при ХДМА (ХМСТЦ ХДМА) у процесі поетапного створення та експлуатації (протягом 2011-2020 років) цілісного комплексу новітніх навігаційних тренажерів від компанії TRANSAS Navi Trainer 5000: «Повнофункціональний тренажер навігаційного містка», «Повнофункціональний тренажер судна з динамічною системою позиціонування», «Засоби електронної навігації», «Тренажер ЗАРП та РЛТ», «Тренажер Глобальний морський зв'язок у разі лиха та для забезпечення безпеки», «Тренажер вантажних операцій з великоваговими вантажами» [65-68].

За тематикою дослідження з відповідно до угоди про співробітництво з німецьким державним інвестиційним фондом DEG та крьюінговою компанією «Marlow Navigation» (Кіпр) протягом 2010-2012 рр. здійснювалась розробка навчального курсу «Менеджмент морських ресурсів» і запровадження останнього в навчальний процес морських навчальних закладів України. Зазначена ініціатива була підтримана Міністерством освіти і науки України. Наказом МОН України № 1001 від 25.10.2010 р, базовим навчальним закладом у розробці цього курсу призначено ХДМА. У 2011 році було видано навчальний посібник з курсу «Менеджмент морських ресурсів» [191], який отримав гриф МОН України. Одним з укладачів вищезазначеного посібника є автор.

За наслідками реалізації проєкту в 2012 році курс «Менеджмент морських ресурсів» включено до нормативної частини стандарту підготовки морських фахівців за напрямом «Морський та річковий транспорт».

Матеріали наукового дослідження розвивають та узагальнюють наукові здобутки учнів автора: к.т.н. Паламарчука І.В., к.т.н. Федорова А.І., к.т.н. Солов'я О.С., які працювали під його керівництвом над виконанням прикладних досліджень, що виконувались за рахунок видатків загального фонду державного бюджету - № 0115U002517, (2015-2016 рр) [219], № 0117U002176, (2017-2018 рр) [222], № 0119U100948, (2019-2020 рр.) [218], № 0121U109680 (2021-2022 рр.) [217], а також, одночасно, над власними дисертаційними роботами, які успішно захистили у 2021 році [199,221,224].

Дисертаційне дослідження автора також було складовою виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Херсонської державної морської академії на 2021-2025 рр, яке фінансувалося за рахунок коштів державного бюджету, № 0121U114703 (2021 р.,2023 р.) і в якому автор виступав у ролі керівника [173,174].

Для отримання нових наукових рішень, побудови інноваційних інтегрованих систем людино-машинної взаємодії в ергатичних системах морського та внутрішньо водного транспорту України, у 2020 р. за ініціативи автора у ХДМА було створено науково-дослідну лабораторію «Розробка систем

підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем керування рухом суден» [138].

1.10. Висновки до першого розділу

1. Визначено, що в умовах запровадження сучасних інформаційних технологій в судноводінні та концепції e-Navigation, найважливішою складовою підвищення безпеки сучасного судноводіння є створення та застосування СППР судноводія. При створенні таких систем необхідно враховувати, що найвагомішим чинником аварійності сучасного судноводіння, є так званий «людський фактор», тому при створенні СППР судноводія особлива увага має бути приділена саме процесам взаємодії судноводія з технічними засобами судноводіння та шляхам зниження впливу «людського фактора» на процеси управління судном.

2. Показано, що в сучасних умовах впровадження СППР судноводія здатна істотно знизити аварійність сучасного судноводіння, перш за все шляхом підвищення ефективності функціонування ергатичної системи «людина – технічні засоби судноводіння» та всебічного запровадження досягнень сучасних інформаційних технологій в процеси управління судном.

3. Проведений аналіз аварійності сучасного судноводіння за останні два десятиріччя дозволив визначити наявність стійкої тенденції до збільшення кількості аварій в абсолютних показниках, яка обумовлена, передусім, зростанням кількості суден світового флоту та загальною інтенсифікацією морських перевезень в цілому. Слід також зазначити, що зростання рівня автоматизації сучасних суден та запровадження новітніх систем навігації та керування рухом, призводить до збільшення частки аварій, обумовлених негативним впливом на процеси прийняття рішень так званого людського чинника, оскільки у даному випадку саме ОПР постає найбільш «слабкою ланкою» зазначеного процесу.

4. Зниження кількості аварій суден може бути досягнуте шляхом широкого запровадження СППР в галузі судноводіння, при цьому важливою передумовою їх успішного застосування є обґрунтований і коректний вибір належних методів обробки інформації в цілісній ергатичній системі «СППР-ОПР» на відповідних етапах прийняття рішень. Виділення в циклі прийняття рішень у системі «СППР-ОПР» чотирьох базових етапів з диференційованим застосуванням різних методів обробки даних та прийняття рішень на кожному з них позитивно вплине на якість та оперативність формування рішень з управління рухом суден.

5. Проблема зниження негативного впливу людського фактора на рівень аварійності в сучасному судноплаванні вимагає комплексного вирішення, яке може бути досягнуто шляхом: застосування сучасних інформаційних систем управління судном, що забезпечують функції підтримки прийняття рішень, на основі принципів ефективної взаємодії «ОПР - автоматизована система управління». Впровадження таких систем повинно здійснюватися одночасно з введенням нових програм підготовки плавскладу, спрямованих на підвищення ефективності комунікативної взаємодії членів машинної команди, умінь прийняття ними правильних управлінських рішень у критичних умовах, формуванню лідерських якостей.

6. Збільшення кількості автономних та безекіпажних суден потребує подальшого поглиблення та розвитку наукових досліджень не лише галузі сучасних методів прийняття рішень з керування такими суднами (ШІ, ІАД, МН та ін..) але і нових технологічних рішень в розвитку каналів високошвидкісної передачі даних, оскільки для успішної практичної реалізації зазначені методи потребують переробки великих обсягів інформації стосовно руху суден в режимі реального часу. У зазначеному контексті важливим напрямом є розвиток берегових навігаційних систем та портової інфраструктури в рамках розвитку нової технології систем водного транспорту «New Generation of Waterborne Transportation System» (NG-WTS) [101]. Також необхідним є спрямування спільних зусиль міжнародної спільноти на розвиток загальної нормативно-

правової бази, що регламентує рух автономних та безекіпажних морських суден та наслідки інцидентів з їх участю.

Матеріали першого розділу дисертаційного дослідження представлено у наступних працях автора: [116,117,120,121-131,139,140,145,149,150,188,191].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Обґрунтування вибору теми наукового дослідження

На підставі проведеного в першому розділі аналізу поточного стану застосування новітніх інформаційних технологій в галузі судноводіння, визначено, що підвищення безпеки та ефективності судноводіння в сучасних умовах може бути досягнуте шляхом застосування в практичній діяльності судноводіїв СППР та інтелектуальних систем управління судном та судновими системами.

Для вирішення вищевказаної задачі спочатку необхідно визначити наявні тенденції розвитку СППР в галузі судноводіння, шляхи їх вдосконалення та ефективного практичного застосування. Далі, шляхом критичного аналізу методів оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій та прийняття рішень з управління рухом суден дослідити математичні моделі процесів підтримки прийняття рішень в судноводінні та розробити методи підтримки прийняття рішень судноводія з управління рухом суден за умов наявності критичних ситуацій та обмежень часу на прийняття рішення. Виходячи з необхідності мінімізації негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом суден, особливо у критичних ситуаціях, розробити методи його ідентифікації, оцінки, та зниження впливу, а також методи автоматизації процесів прийняття рішень з управління рухом судна.

Виходячи з проблеми підвищення безпеки та ефективності судноводіння в умовах впровадження сучасних інформаційних технологій, було визначено тему дисертаційного дослідження, яка сформульована наступним чином: «Теоретичні та методологічні засади створення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні».

Актуальність тематики дисертаційного дослідження обумовлює необхідність вдосконалення методів прийняття рішень з управління рухом

суден, особливо в критичних умовах та наявності обмежень часу на їх здійснення.

Вирішення вищезазначеної проблеми потребує послідовного розв'язання наступних задач:

- здійснити, за допомогою методів системного аналізу, декомпозицію головної задачі дисертаційного дослідження на окремі складові;
- визначити пріоритетні напрямки створення та застосування СППР в галузі судноводіння в умовах запровадження новітніх інформаційних технологій управління рухом суден;
- дослідити принципи побудови та функціонування СППР в галузі судноводіння, а також особливості їх розробки і практичного впровадження;
- визначити особливості процесів обробки навігаційних даних в СППР та їх взаємодії з судноводієм;
- дослідити методи оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій та прийняття рішень з управління рухом суден в СППР судноводія;
- розробити методи підтримки прийняття рішень судноводія з управління рухом суден при вирішенні задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування;
- розробити методи оцінки негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом судна та шляхи його зниження в СППР судноводія;
- розробити методи автоматизації процесів управління рухом судна для прийняття рішень в критичних ситуаціях за умов наявності обмежень часу;
- розробити прототип СППР, інтегрований з модулями навігаційного тренажера, що забезпечує інформаційну підтримку судноводія в процесах прийняття рішень з управління рухом судна.

Комплексне розв'язання вищевказаних задач містить наукову новизну дослідження.

Економічна ефективність дослідження полягає у можливіму зменшенні рівня аварійності сучасного судноплавства, і, як наслідок, зниженню втрат від прямих і опосередкованих збитків, обумовлених зіткненнями та посіданням на

мілину суден, які кличуть за собою виникнення складних техногенних наслідків та втрату людських життів.

Розробка теоретичної складової дисертації та її перевірка на навігаційному тренажері дозволили здійснити практичну реалізацію проведеного наукового дослідження.

Об'єкт дослідження – процеси підтримки прийняття рішень в судноводінні.

Предмет дослідження – сукупність теоретико-методологічних та прикладних методів створення та застосування систем підтримки прийняття рішень в судноводінні.

2.2. Методологічні та технологічні аспекти дослідження проблеми

Проблема, яка досліджується, належить до класу складних слабо структурованих проблем, які характеризуються наявністю нових якісних елементів, що обумовлює необхідність комплексного застосування для її успішного вирішення низки різних методів, а саме:

- системного аналізу – для декомпозиції головної задачі дисертації на окремі складові задачі;
- ситуаційного аналізу – для аналізу навігаційних ситуацій, визначення рівня їх небезпеки та побудови сценаріїв можливих дій ;
- сценарно-прецедентного підходу – для процедур прийняття рішень з управління рухом судна;
- математичного моделювання – для визначення траєкторії руху судна;
- аналітичної геометрії та векторної алгебри – для вирішення навігаційних задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування суден;
- теорії автоматичного та оптимального керування – для створення процедур автоматизованого вибору траєкторій руху суден;

- диференційного обчислення – для проведення розрахунків оптимізаційних задач;
- імітаційного моделювання – для проведення експериментальних досліджень з моделювання навігаційних ситуацій з використанням сертифікованих навігаційних тренажерів.

На рис. 2.1. наведена технологічна карта методологічного забезпечення наукового дослідження, яка визначає послідовність етапів вирішення його головного завдання з позицій застосування системного підходу. Технологічна карта містить комплексне завдання роботи, та п'ять головних завдань. Приведено вирішення комплексного завдання та головних завдань роботи, а також наведено вирішення поставленої проблеми у вигляді наукового положення.

Сучасним запитом практики є потреба підвищення ефективності та безпеки морських перевезень, яка нерозривно пов'язана із зниженням аварійності судноплавства та підвищенням якості процесів управління рухом морських суден в цілому, при цьому слід максимально залучити досягнення нових інформаційних технологій в галузі управління морськими суднами, за умов мінімізації витрат коштів та часу на практичне запровадження необхідних технічних засобів та методів.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності та безпеки судноводіння шляхом впровадження систем підтримки прийняття рішень судноводія.

Досягнення поставленої мети здійснюється за рахунок розробки новітніх концептуальних підходів до створення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні, визначення теоретичних та методологічних засад побудови таких систем та пріоритетних шляхів їх практичного запровадження, що дозволить підвищити безпеку судноплавства.

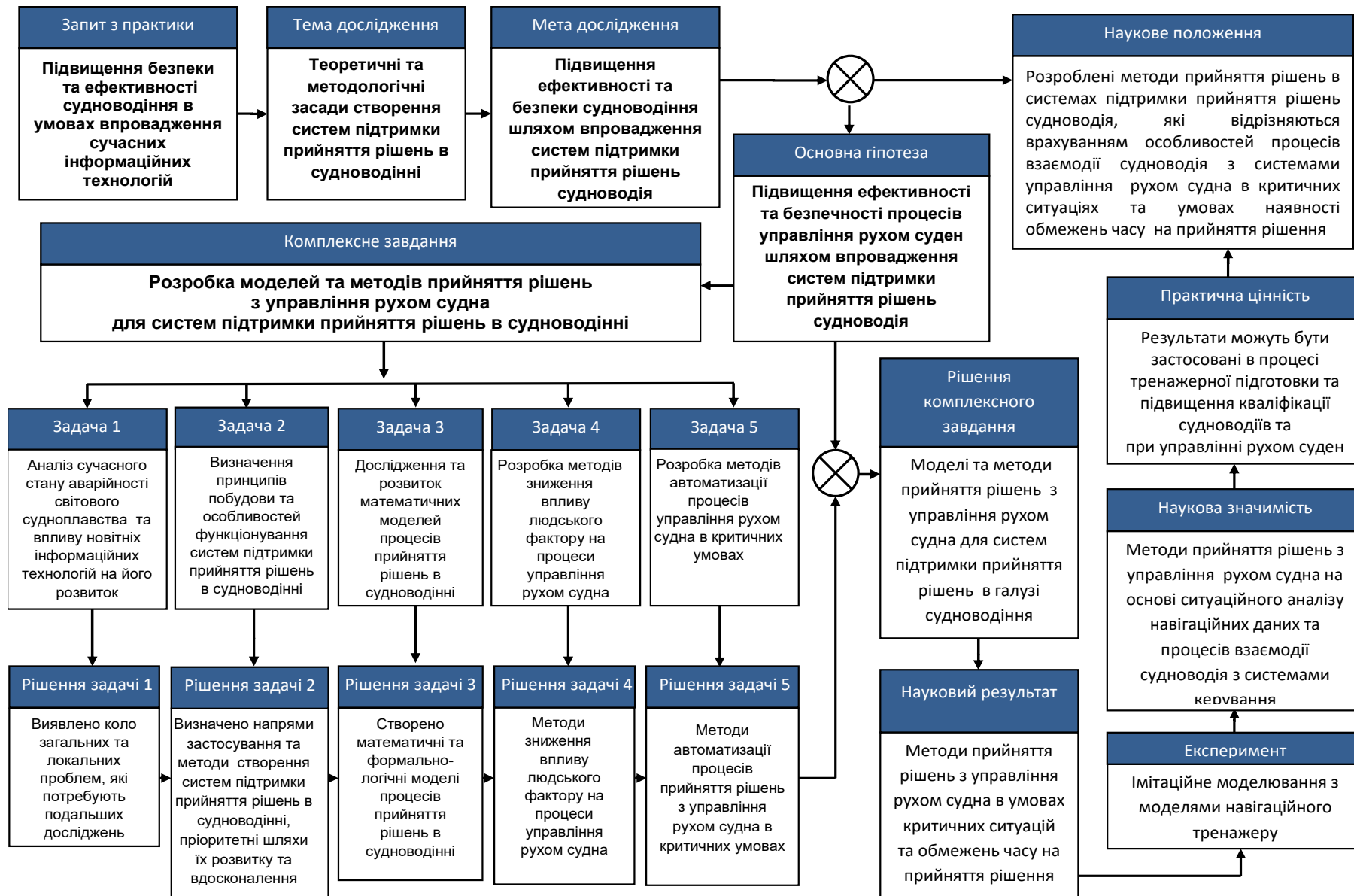


Рисунок 2.1 - Технологічна карта дисертаційного дослідження

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження є припущення, що підвищення ефективності та безпечності процесів управління рухом суден може бути досягнуте шляхом впровадження СППР судноводія.

Головна задача дослідження полягає в розробці моделей та методів управління рухом суден для СППР в судноводінні, які враховують особливості процесів взаємодії судноводія з такими системами та технічними засобами управління судном.

З метою вирішення головної задачі дослідження була виконана її декомпозиція на окремі складові, а саме:

- аналіз основних чинників аварійності світового судноплавства та впливу сучасних інформаційних технологій на його розвиток;
- аналіз пріоритетних напрямів наукових досліджень в галузі судноводіння, визначення ролі і місця СППР у процесі його розвитку;
- визначення особливостей та перспектив практичного застосування СППР в галузі судноводіння з метою підвищення безпечності та ефективності морських перевезень;
- дослідження та оптимізація математичних моделей процесів прийняття рішень у СППР судноводія з урахуванням вимог міжнародних нормативних документів, що регламентують рух суден;
- визначення критеріїв оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій та методів побудови у СППР можливих сценаріїв дій судноводія, спрямованих на уникнення небезпек;
- розробка методів підтримки прийняття рішень з управління рухом суден з метою вирішення задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування, адаптованих до практичного застосування у СППР судноводія, за умов наявності обмежень часу на прийняття рішення та у критичних ситуаціях;
- дослідження та розробка методів ідентифікації, оцінки та зниження негативного впливу людського фактора у процесах управління судном;

- дослідження та розробка методів автоматизації процесів прийняття рішень в задачах розходження, маневрування та критичних ситуаціях;
- проведення експериментальних досліджень з метою перевірки адекватності розроблених моделей, методів та алгоритмів на стенді імітаційного моделювання інтегрованого з сертифікованим обладнанням навігаційного тренажера.

Прийнята наукова гіпотеза, що можливість підвищення ефективності та безпечності процесів управління рухом суден може бути досягнута шляхом впровадження СППР судноводія, була підтверджена результатами імітаційного моделювання та здійсненням навігаційних вправ із застосуванням створеного стенда імітаційного моделювання, інтегрованого з сертифікованим навігаційним тренажерним обладнанням.

Проведене дослідження має практичну значущість, оскільки створені моделі, методи та алгоритми можуть бути застосовані при створенні та вдосконаленні судових НІС, СППР та автоматизованих систем керування рухом судна.

Також отримані результати можуть бути використані у процесі тренажерної підготовки та підвищенні кваліфікації морських фахівців у спеціалізованих тренажерних центрах, а також при підготовці здобувачів вищої освіти за напрямком «Морський та річковий транспорт» у морських навчальних закладах.

Результати, отримані у дисертаційному дослідженні, визначають його наукове положення, яке може бути сформульоване наступним чином:

- розроблено методи прийняття рішень у СППР судноводія, які відрізняються врахуванням особливостей процесів взаємодії судноводія з системами управління рухом судна і можуть бути застосовані у критичних ситуаціях та умовах наявності обмежень часу на прийняття рішення.

2.3. Обґрунтування напрямків досліджень

Дослідження здійснювалось відповідно до напрямів, пов'язаних з науковою спеціальністю 05.22.13, а саме наступних.

1. Дослідження закономірностей процесів навігації й управління рухом, розроблення методів і засобів управління рухом і орієнтації транспортних засобів і їх потоків.

2. Розроблення методів комплексної обробки інформації та способів їх застосування в системах спостереження, розпізнавання об'єктів, навігації й управління рухом.

3. Розроблення методів і засобів дистанційного виявлення та розпізнавання небезпечних об'єктів на траєкторії руху або в зоні відповідальності, дослідження зв'язків інформаційних параметрів активного та пасивного дистанційного зондування середовища з характеристиками об'єктів та/або небезпекою об'єктів і траєкторій руху.

4. Дослідження методів проектування й експлуатації систем навігації в різних середовищах, засобів навігаційного обслуговування й управління рухом, підвищення їхньої точності, цілісності, надійності й експлуатаційної готовності.

5. Дослідження методів підвищення ефективності процесів навігації й управління рухом, засобів й систем навігаційного обслуговування.

6. Дослідження закономірностей діяльності операторів і їх колективів у системах навігаційного обслуговування й управління рухом.

7. Дослідження та розроблення методів виводу рухомих об'єктів у локально обмежений простір з визначеними просторово-часовими координатами, а також принципів прийняття рішень за допомогою навігаційних систем і систем спостереження.

2.4. Висновки до другого розділу

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено вибору теми дисертаційного дослідження та визначенню його основних напрямів. В розділі визначено структуру та основні складові дисертації, а також наведено її методологічне забезпечення.

На основі аналізу загальної проблеми сформульовано мету та головну задачу дослідження, а також здійснено її декомпозицію на окремі складові задачі. Сформульовано і підтверджено робочу гіпотезу наукового дослідження. Визначено, що за підсумками вирішення окремих складових задач одержані відповідні наукові результати дисертаційної роботи.

Сформульоване основне наукове положення роботи, а також показана її значущість та практична цінність. Наведено узагальнену методику вирішення окремих складових задач, поставлених у роботі, яка описує основні етапи виконання дослідження та визначає його теоретичну та практичну складову.

Практична значущість дисертаційного дослідження полягає у тому, що отримані теоретичні і практичні результати можуть бути використані в процесі розробки СППР в галузі судноводіння, у процесі тренажерної підготовки та підвищення кваліфікації судноводіїв, а також при управлінні рухом суден в критичних ситуаціях та наявності обмежень часу на прийняття рішень.

РОЗДІЛ 3

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СППР СУДНОВОДІЯ

3.1. Структура та особливості функціонування СППР судноводія

Наявний досвід створення СППР в судноводінні дозволяє зробити висновок, що їх ефективне практичне використання можливо тільки в разі дотримання ряду важливих вимог, обумовлених, з одного боку, особливостями функціонування безпосередньо СППР, а з іншого - процесами прийняття рішень в судноводінні.

Аналіз існуючих робіт, присвячених теорії і практиці створення СППР у судноводінні [6,26,52,57,61,68,94,119,120,128,184,194,204,229], показує, що найважливішим чинником, який необхідно враховувати при описі процесу розходження суден, є характер їх взаємодії. Також слід взяти до уваги принцип спільності інтересів взаємодіючих суден, якій полягає в намаганні уникнення зіткнення за умов дотримання нормативної координації їх поведінки відповідно до вимог МПЗЗС-72. Відміною рисою СППР судноводія є також необхідність прийняття рішень з управління судном у реальному часі, в умовах навігаційної обстановки, яка динамічно змінюється.

Робота СППР в режимі реального часу, накладає жорсткі часові обмеження на процеси розробки та прийняття рішень і вимагає побудови сценаріїв розходження суден на весь період взаємодії. Зазначені обставини зумовлюють необхідність розробки математичних моделей, адекватних вимогам МПЗЗС-72 та придатних для опису ситуацій взаємодії суден при розходженні та прийнятті рішень з управління судном в реальному часі [13]. Наявний вітчизняний та зарубіжний досвід створення СППР в судноводінні дозволяє зробити висновок, що їх ефективне практичне використання можливе тільки в разі дотримання ряду важливих вимог, обумовлених, з одного боку, особливостями функціонування безпосередньо СППР, а з іншого – процесами прийняття рішень в судноводінні. Аналіз процесів прийняття рішень судноводієм, дозволив виявити п'ять базових

принципів, які використовуються їм на практиці в процесі прийняття рішень [13,116]:

- увага судноводія концентрується переважно не на варіантах рішення задачі розходження, а на умовах перебігу процесу управління судном, які він аналізує, спираючись на свій досвід практичної діяльності;

- за сприятливих умов (невелика кількість об'єктів, добра видимість, відсутність втоми) судноводій здатний самотійно долати фактори неточності і невизначеності опису навігаційної ситуації і оперативно приймати правильне рішення на основі наявного досвіду;

- при несприятливих умовах, наявності зовнішніх впливів, втоми, судноводій вирішує завдання розходження на основі найбільш значущих, з його точки зору, факторів і системи узагальнених оцінок, не беручи до уваги багато «несуттєвих» деталей;

- аналізуючи інформацію про навігаційну ситуацію в зоні маневрування, судноводій підсвідомо оцінює динаміку навігаційних параметрів, екстраполюючи їх очікувану зміну в часі і формуючи єдину модель її подальшого розвитку;

- у складних умовах судноводій постійно оцінює не лише динаміку розвитку подій, але й імовірність досягнення поставленої мети, яка виявляється у вигляді емоційного відчуття успіху або тривоги.

Зазначені обставини зумовлюють виникнення «людського фактора» як однієї з основних причин аварійності в судноводінні. Необхідність мінімізації його впливу шляхом використання СППР судноводія, дозволяє сформулювати основні вимоги до СППР:

- робота СППР в режимі реального часу та її інтеграція за наявними на судні системами управління рухом;

- необхідність врахування всіх вимог МПЗЗС-72;

- необхідність графічного представлення сформованої ситуації, з візуальними позначками меж зони безпеки власного судна і динаміки їх змін;

- необхідність аналізу під час прийняття рішень декількох можливих сценаріїв розходження, обумовлених цілеспрямованою поведінкою суден-цілей під час їх руху;
- необхідність врахування впливу зовнішніх умов у зоні маневрування, зокрема гідрометеорологічних, гідрографічних факторів і навігаційних небезпек;
- врахування попереднього досвіду управління рухом судна в аналогічних умовах, якщо він мав місце.

Беручи до уваги зазначені особливості функціонування СППР судноводія, було визначено її структуру та концептуальні вимоги щодо окремих компонентів [145,219].

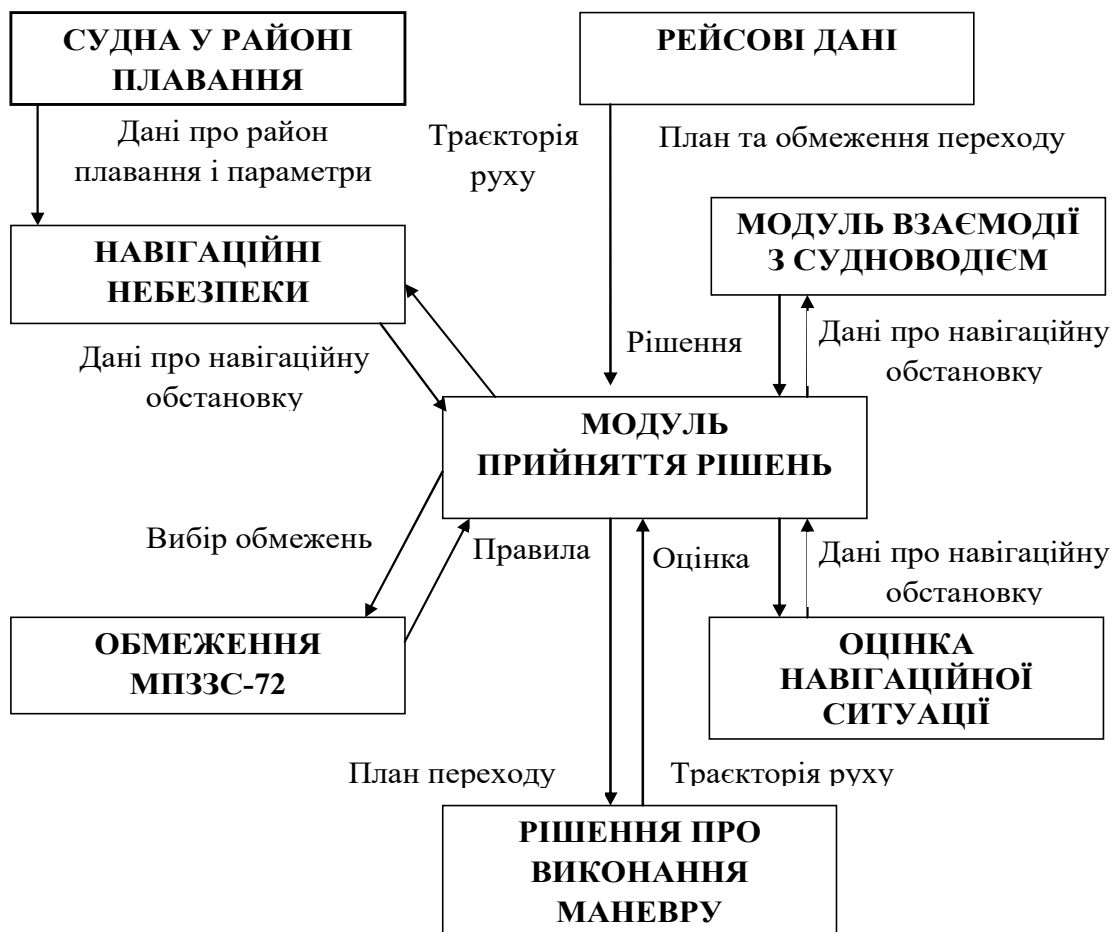


Рисунок 3.1 – Структура СППР судноводія і обмін даними між її модулями

Структура СППР і порядок обміну інформацією між її окремими модулями представлені на рис 3.1. [145].

Виходячи з вищезазначеного, були визначені базові вимоги до моделей і алгоритмів, які слід враховувати під час розробки СППР судноводія [145,218]:

- рух кожного з суден-учасників навігаційної ситуації розглядається з позиції цілеспрямованої поведінки, що має на меті уникнення зіткнень з іншими суднами, максимально дотримуючись при цьому вимог МПЗЗС-72;
- для аналізу процесу розвитку навігаційної ситуації необхідно будувати багатокрокові сценарії її розвитку, приймаючи до уваги динамічні моделі поведінки суден-учасників руху;
- слід враховувати, що реальний процес розходження суден проходить в умовах складної взаємодії учасників у випадку, якщо їх число більше двох, а умови видимості відрізняються від добрих;
- кількість можливих сценаріїв розвитку навігаційних ситуацій, які аналізуються СППР достатньо велика, і їх число необхідно скорочувати, виходячи як з обмежень МПЗЗС-72, так і динаміки змін ключових параметрів руху суден (ліній відносного руху (ЛВР), пеленгів і швидкостей).
- необхідно враховувати і накопичувати в СППР інформацію щодо попереднього досвіду управління рухом судна в аналогічних умовах, якщо такий мав місце.

3.2 Формалізація вимог МПЗЗС-72 в СППР судноводія

МПЗЗС-72 є основоположним нормативним документом, який регламентує процеси розходження суден, тому формалізації правил присвячено досить велику кількість робіт дослідників, що працюють в галузі інтелектуальних та автоматизованих систем управління рухом суден [41,51,99,104,124,139,161]. Слід зазначити, що, незважаючи на значну кількість різних теоретичних підходів до побудови формальних моделей МПЗЗС-72, до теперішнього часу поставлена задача повністю не вирішена, виходячи із неоднозначності трактувань деяких положень правил.

Істотним недоліком МПЗЗС-72 є також те, що правила регламентують дії судноводія тільки для випадків бінарної взаємодії і не розглядають ситуації одночасного розходження декількох суден. Крім того, правила самі по собі є джерелом невизначеності в описі ситуації розходження зважаючи на неоднозначність трактування деяких приписів. Разом з тим, МПЗЗС-72 залишається основним нормативним документом, що регламентує процеси розходження суден, і їх формалізацію у вигляді, придатному для використання в СППР судноводія та є актуальною науковою і практичною задачею.

Важливість правил як ключового нормативного документа в судноводінні, обумовлює необхідність розробки формальних моделей МПЗЗС-72, придатних для використання в СППР судноводія [136].

Структурно МПЗЗС-72 складаються з шести частин, які містять 41 правило, і чотирьох додатків, як представлено на рис 3.2. Під час розробки СППР судноводія найбільшу складність формалізації представляють правила, які стосуються частини В – «правила плавання і маневрування». Відомості, що містяться в частинах А, С, D, Е правил носять переважно декларативний характер та їх подання в СППР не викликає істотних ускладнень [13].

Розглянемо порядок формального запису правил МПЗЗС-72 в СППР судноводія (за винятком правил 4,5 і 11, які також є декларативними і визначають умови застосування правил з розділів I і II частини В).

Оскільки МПЗЗС-72 регламентують попарну взаємодію суден, при формуванні сценаріїв розвитку поточної ситуації в СППР доцільно розглядати саме такий вид взаємодії, приймаючи, однак, при цьому до уваги той факт, що судна взаємодіють не тільки з власним судном, але й один з одним. Вибір пар суден, взаємодія яких аналізується СППР і для яких формуються сценарії, здійснюється відповідно рівня їх небезпеки один для одного.

МПЗЗС-72 містить дві незалежні системи координації взаємодіючих суден: для умов доброї й обмеженої видимості відповідно.

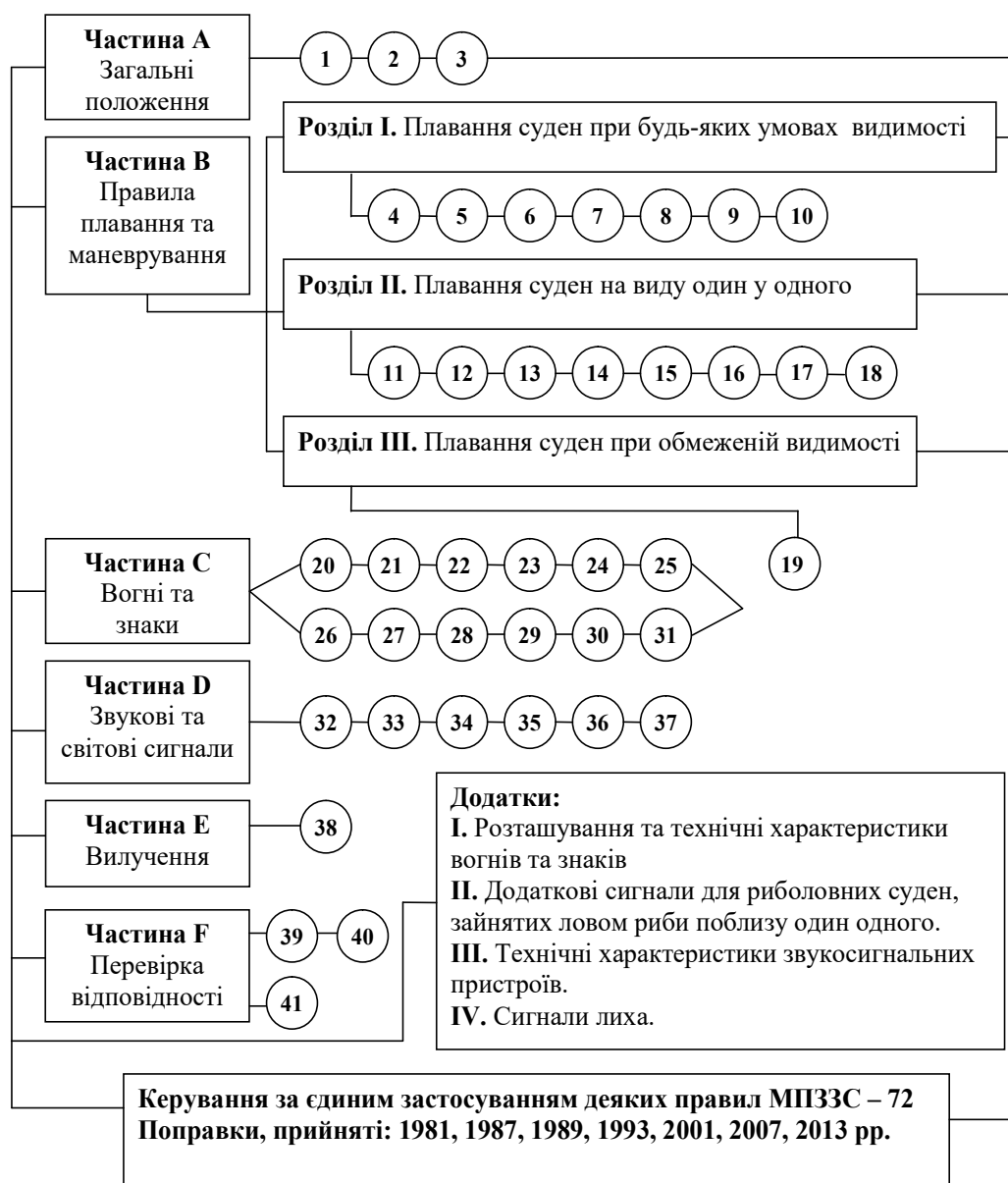


Рисунок 3.2 – Структура МПЗС-72, [136]

В умовах доброї видимості МПЗС-72 передбачені взаємні обов'язки суден в залежності від їх початкової відносної позиції, району плавання, можливостей маневрування, які визначаються типом суден, їх конструктивними особливостями або технічним станом.

За умов доброї видимості застосовуються правила Розділу 1 та Розділу 2 частини В, слід зазначити, що з точки зору реалізації функцій СППР необхідно здійснювати постійний контроль дотримання правил 6-8 Розділу 1 та 13-18 Розділу 2. Розділ 2 частини В регламентує процеси розходження та взаємодії власного судна з іншими, тому його аналізу слід приділити особливу увагу.

В умовах доброї видимості МПЗЗС-72 передбачені взаємні обов'язки суден залежно від їх початкової відносної позиції, району плавання, можливостей маневрування, які визначаються типом суден, їх конструктивними особливостями або технічним станом.

Ситуація обгону суден регламентується Правилем 13, виключаючи випадок плавання суден в вузькостях. Згідно з Правилем 13 судно, що обганяє, має поступатися дорогою судну, яке обганяється. У свою чергу судно, що обганяють, має не заважати обгону і відповідно до Правила 17 зберігати параметри руху, за винятком випадків обгону в вузькості. На нього також поширюються вимоги Правила 17 в тих випадках, коли дії судна, що обганяє створюють ризик зіткнення [75].

Правило 13 і обов'язки суден при обгоні поширюються на всі без винятку судна, незалежно від їх взаємних обов'язків, що передбачаються МПЗЗС-72. Так, згідно з Правилем 18 судна, що мають переважне право проходу, у разі обгону їх судном з механічним двигуном повинні в загальному випадку триматися осторонь від шляху судна, з механічним двигуном, яке обганяється.

Правило 14 стосується тільки суден з механічним двигуном, воно визначає обов'язки обох суден при розходженні і вказує на узгодження дій при маневрі. У ситуації зустрічі на протилежних курсах немає привілейованого судна, на обидва судна покладається обов'язок - у разі виникнення небезпеки зіткнення - вжити заходів для розходження, і при цьому обидва судна зобов'язані змінити курс вправо, щоб пройти в іншого судна по лівому борту.

Ситуацію перетину курсів регламентує Правило 15, яке приписує судам з механічним двигуном взаємні обов'язки: судно, яке спостерігатиме інше зі свого правого борту, повинно поступитися йому дорогою.

Взаємні обов'язки суден обумовлені Правилем 18, згідно з яким судно з механічним двигуном на ходу повинно уступати дорогу судну, позбавленому можливості управлятися, обмеженому в можливості маневрувати, зайнятому ловлею риби і вітрильному судну [75].

Правилом 16 оговорюється, що судно, яке поступається дорогою іншому судну, повинно завчасно вживати відповідні заходи.

Дії судна, якому поступаються дорогою, регламентуються Правилом 17, що визначає три області дій судна:

- у першій області судно, якому поступаються дорогою, має зберігати свій курс і швидкість;
- у другій області якщо судно, якому звільняють дорогу, виявить, що судно, зобов'язане дати дорогу, не робить дію, то воно може вжити заходів, щоб уникнути зіткнення;
- третя область визначається тим, що коли судно, яке поступається дорогою, знаходиться настільки близько, що зіткнення не можна уникнути діями тільки судна, яке поступається дорогою, то воно повинно вжити всіх заходів, щоб уникнути зіткнення.

Отже, Правилами 15, 16 і 17 регламентуються три області взаємних обов'язків суден і пов'язані з цими областями три типи бінарної координації, [75]:

- координація при нормальній взаємодії;
- координація при активній взаємодії;
- координація при екстремальній взаємодії.

В умовах обмеженої видимості плавання суден здійснюється з безпечною швидкістю машинами, готовими до негайного реверсування, тобто в маневреному режимі. Якщо присутність іншого судна виявлено за допомогою радара, то Правилом 19 призначаються дії для уникнення зіткнення, виходячи з геометричного положення суден. Правилом 35 регламентується подача звукових сигналів залежно від маневрених можливостей суден в умовах обмеженої видимості, проте дії для уникнення зіткнень згідно з Правилом 19 стосуються всіх суден незалежно від їх привілеїв, якщо вони не ошвартовані, не стоять на якорі або перебувають на міліні [75].

Проведений аналіз частини В правил МПЗЗС-72, дозволив визначити базові навігаційні ситуації, що виникають в процесі розходження суден, а також побудувати їх класифікацію відповідно до дій судноводія та правил МПЗЗС-72,

що застосовуються у кожному випадку. Встановлено, що базовими навігаційними ситуаціями, які виникають при розходженні суден залежно від параметрів їх руху та взаємного розташування є наступні вісім типів ситуацій, [136]:

1. *Зустрічний курс*: два судна прямують один на одного або майже на зустрічних курсах.

Ознаки: курси майже протилежні (різниця $\approx 180^\circ \pm 10^\circ$).

Дії згідно МПЗЗС-72: Обидва судна повинні відвернути праворуч, щоб розминутися лівими бортами (Правило 14).

2. *Перетин курсів*: Судна прямують на перехресних курсах, і траєкторії можуть перетнутися.

Ознаки: один з капітанів бачить інше судно на правому траверзі, різниця курсів складає від 45° до 135° .

Дії згідно МПЗЗС-72: судно, яке бачить інше справа, повинне дати дорогу (Правило 15), судно, що має перевагу, повинно зберігати курс і швидкість (Правило 17).

3. *Обгін*: одне судно наздоганяє інше зі швидкістю, що перевищує його хід.

Ознаки: обгін відбувається в межах $22,5^\circ$ позаду траверзу судна, яке обганяють.

Дії згідно МПЗЗС-72: судно, що обганяє, повинне триматися осторонь і забезпечити безпечне розходження (Правило 13), судно, яке обганяють, не повинне змінювати курс.

4. *Паралельні курси*: судна йдуть однаковим курсом і напрямом, але на різних дистанціях, і ризик зіткнення мінімальний.

Ознаки: рух суден паралельними курсами.

Дії згідно МПЗЗС-72: не вимагає дій, але навігаційна ситуація потребує постійного моніторингу (Правило 5).

5. *Небезпечне зближення*: Судна зближуються до мінімально допустимої дистанції, незалежно від курсу.

Ознаки: мінімальна дистанція зближення менше 1 милі ($CRA < 1$ милі)

Дії згідно МПЗЗС-72: потребує негайного реагування відповідно до ситуації, що склалася (Правило 8).

6. *Ускладнені умови видимості:* туман, дощ, ніч, сильний вітер, імла, погана видимість.

Ознаки: обмеження зорового контролю руху.

Дії згідно МПЗЗС-72: зниження швидкості руху, ведення радіолокаційного спостереження, подавання звукових сигналів (Правила 19, 35).

7. *Обмежений простір для маневрування:* маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях.

Ознаки: русло річки, канал, протока, порт.

Дії згідно МПЗЗС-72: судна, що не можуть маневрувати вільно (наприклад, великі танкери), мають пріоритет (Правило 9, Правило 10, Правило 34).

8. *Аварійні ситуації:* відмова суднових систем та механізмів.

Ознаки: Вихід з ладу двигуна, стерна, втрата ходу.

Дії згідно МПЗЗС-72: рішення приймаються відповідно до пріоритету безпеки і сповіщення інших суден (AIS, сигнали, Правило 36, Правило 37).

Узагальнена класифікація навігаційних ситуацій та дій судноводія і правил МПЗЗС-72, що відповідають їм, наведена у таблиці 3.1.

Слід окремо зазначити, що з позицій аналізу рівня небезпеки навігаційної ситуації в СППР судноводія стосовно можливого зіткнення суден, ключовим є Правило 7 – «Небезпека зіткнення». З метою визначення дій судноводія, спрямованих на уникнення зіткнення, для кожного судна, за яким ведеться спостереження, слід проводити аналіз траєкторії руху за шістьма ключовими параметрами: пеленг та дистанція до цілі, істинний курс та швидкість цілі, дистанція найкоротшого зближення (СРА) та час до найкоротшого зближення (ТСРА), [136,190].

Таблиця 3.1 Класифікація основних навігаційних ситуацій

№	Тип ситуації	Ключові дії	Правила МПЗЗС-72
1	Зустрічний курс	Обидва судна відвертають праворуч	14
2	Перетин курсів	Судно, яке бачить інше праворуч, поступається	15, 16, 17
3	Обгін	Судно, що обганяє – поступається	13
4	Паралельний курс	Моніторинг навігаційної ситуації	5
5	Небезпечне зближення	Зміна курсу/швидкості	8, 16
6	Погана видимість	Сповільнення руху, радар, сигнали	19, 35
7	Обмежене маневрування	Пріоритет суднам, обмеженим в маневрі	9, 10, 34
8	Аварійна ситуація	Уникнення зіткнення, сповіщення	36,37

На практиці в задачах запобігання зіткненню суден виникають особливі режими руху або обставини плавання. Проблема полягає в тому, що, діючи відповідно до МПЗЗС-72, жорсткі критерії навігаційної безпеки суден можуть виявитися недосяжними через технічні і (або) технологічні обмеження. Таким чином, МПЗЗС-72 не розглядають кращих альтернативних варіантів прийняття рішення – «найкраще вирішення проблеми зіткнення суден в цілому включає в себе кращі рішення підпроблем». Саме тому при формуванні бази даних (БД) СППР слід застосовувати сценарно-прецедентний підхід, якій дозволяє враховувати досвід судноводія з прийняття рішень в подібних навігаційних ситуаціях, що вже мали місце в минулому [232].

3.3 Оцінка навігаційної ситуації в СППР судноводія

У процесі формування стратегії розходження враховується передбачувана зміна параметрів руху суден, обумовлена їх взаємодією одне з одним відповідно до МПЗЗС-72. Оскільки МПЗЗС-72 регламентують попарну взаємодію суден, при формуванні сценаріїв розвитку поточної ситуації в СППР доцільно розглядати саме такий вид взаємодії, приймаючи, однак, при цьому до уваги той факт, що судна взаємодіють не тільки з нашим власним судном, але й одне з

одним. Очевидно, що число розглянутих взаємодіючих пар суден для випадку суден у зоні розходження буде дорівнювати числу сполучень C_N^2 [161]:

$$C_N^2 = \frac{N!}{(N-2)!2!} \quad (3.1)$$

Вказана величина на практиці вкрай рідко перевищує значення 190 (що відповідає 20-ти судам в зоні розходження), а, для більшості розглянутих ситуацій, знаходиться в діапазоні 2–7 взаємодіючих суден відповідно. Зазначений порядок величини C_N^2 хоча й унеможливорює «програвання» всіх можливих варіантів взаємодій безпосередньо зусиллями судноводія, як це зазначається в роботі [184], проте, не є перешкодою для здійснення такої операції сучасними засобами обчислювальної техніки в режимі реального часу, враховуючи ту обставину, що реальне значення величини C_N^2 може бути додатково суттєво зменшено шляхом введення попередньої класифікації суден за ступенем їх небезпеки один для одного. Для оцінки рівня небезпеки доцільно використовувати систему критеріїв, запропонованих у роботах [99,152,118,187].

Оцінка навігаційної ситуації в СППР і побудова можливих сценаріїв її подальшого розвитку здійснюється шляхом формування та аналізу логічних правил, представлених у вигляді фрейм-структур наступного вигляду [161]:

[{ідентифікатор судна}, {параметри руху судна}, {дії судна, рекомендовані МПЗЗС}, {дії судна, що забороняються МПЗЗС}, {дії, реалізовані судном з моменту спостереження}, {передбачувані дії судна}]. Слот {ідентифікатор судна} містить поля <тип судна>, <маневрені характеристики судна> і <розміри судна>. Значення поля <тип судна> регламентовані вимогами МПЗЗС-72: «судно з механічним двигуном», «мале судно», «судно, зайняте ловлею риби», «вітрильне судно», «судно, позбавлене можливості управлятися», «судно, обмежене в можливості маневрувати», «гідролітак», «не ідентифіковане судно». Слот {параметри руху судна} містить поля <координати>, <швидкість>, <курс>. Слоти {дії судна, рекомендовані МПЗЗС} і {дії судна, що забороняються МПЗЗС} містять ранжирувані списки дій, сформовані СППР на основі вимог МПЗЗС-72 стосовно ситуації взаємодії розглянутої пари суден, кожне з яких

представлене власною фрейм структурою. Два слоти, які залишилися, містять інформацію про локальний сценарій взаємодії для конкретної пари в розрізі вже реалізованих та ймовірних дій [161].

Вибір пар суден, взаємодія яких аналізується СППР і для яких формуються сценарії, здійснюється відповідно до рівня їх небезпеки одне для одного. З огляду на те, що наявність повних достовірних даних про параметри руху суден важко досягається на практиці навіть для навігаційних ситуацій, які характеризуються гарними умовами видимості, практичне використання даного підходу вимагає введення інтервальних оцінок в слоті {параметри руху судна}, що дозволяє враховувати неповноту та неточність наявної інформації. Також можливе використання в СППР даного слоту з частково заповненими полями.

Розроблений алгоритм роботи СППР щодо запобігання зіткнень суден [115], має наступний вигляд (рис. 3.3) :

- ідентифікація суден, що знаходяться в зоні можливого зіткнення;
- моніторинг параметрів руху суден та динаміки їх зміни;
- оцінка похибки параметрів руху, які одержано;
- класифікація суден за ступенем небезпеки;
- визначення пар взаємодіючих суден, для яких формуються можливі сценарії руху;
- визначення областей взаємних обов'язків у відповідності із МПЗЗС-72 і меж зони безпеки власного судна;
- формування множини можливих сценаріїв (стратегій) руху суден;
- визначення стратегій руху, що відповідають заданим критеріям безпеки;
- вироблення можливих альтернатив з управління судном і надання їх судноводію.

Судно вилучається із розгляду СППР у випадку ідентифікації його як безпечного, але моніторинг параметрів руху триває при перебуванні його в межах зони дії РЛС.

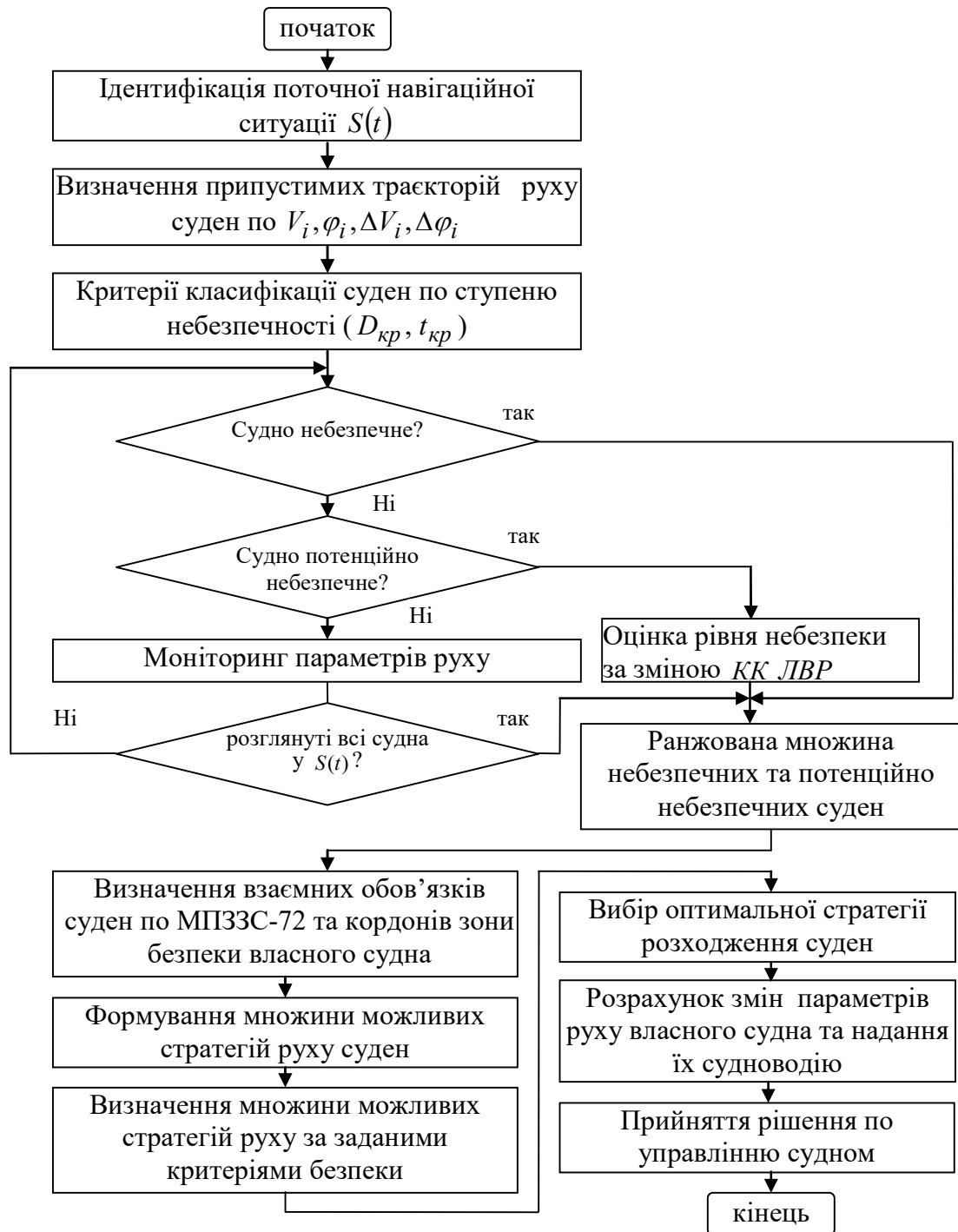


Рисунок 3.3 – Процедура прийняття рішень у СППР судноводія [115]

Для небезпечних і потенційно небезпечних суден СППР формує багатокрокову стратегію розходження на весь прогнозований період їх перебування в зоні взаємних обов'язків, з подальшою корекцією стратегії у випадку, якщо поточний розвиток ситуації буде відрізнятися від прогнозованого.

3.4. Критерії оцінки небезпечності навігаційних ситуацій

Важливою складовою СППР судноводія є критерії оцінки небезпеки суден [32,37,118,187,201,227], що оточують власне судно (суден-цілей).

В якості вихідних даних для формування комплексних критеріїв оцінки рівня небезпеки суден-цілей були застосовані наступні навігаційні параметри: дистанції, лінії відносного руху (ЛВР), пеленги і швидкості [123,200].

Розглянемо ситуацію зближення двох суден, яка представлена на рис. 3.4. Судно A характеризується параметрами: V_n, K_n, D_0 (V_n – швидкість судна A , K_n – курс судна A , D_0 – дистанція до судна B), судно B характеризується параметрами: V_u, K_u, D_0 (V_u – судна B , K_u – курс судна B , D_0 – дистанція до судна A). K_0 – поточний курс лінії відносного руху (ЛВР) цілі, K_1, K_2 – можливі ЛВР цілі; $\alpha_c, \alpha_{лн}, \alpha_{нк}$ – кути перетину відповідних ЛВР із курсом судна A , а D_0, D_2, D_3 – від судна B до точок перетину його ЛВР із курсом судна A . D_1 – дистанція до точки перетину курсів, P – різниця курсів.

Якщо $\alpha_c < \alpha_{лн}$, то ЛВР перетинає курс по носу, якщо $\alpha_c > \alpha_{нк}$, то ЛВР перетинає курс по кормі.

Аналогічно для суден зліва – якщо $\alpha_c < \alpha_{лн}$, то ЛВР перетинає курс по носу, якщо $\alpha_c > \alpha_{нк}$, то ЛВР перетинає курс по кормі. Відстані між судном та точками перетину ЛВРів судна з курсом судна будуть залежати від величини кутів $\alpha_{нк}, \alpha_{лн}$, які пов'язані з кутом α_c співвідношенням $\alpha_{нк} + \Delta\alpha_1 = \alpha_c = \alpha_{лн} - \Delta\alpha_2$.

Розглянемо 18 різних ситуацій зближення, що можуть мати місце під час розходження двох суден, та вплив зміни кута на небезпеку їх зіткнення (табл. 3.2.). З аналізу табл. 3.2 видно, що як для суден справа, так і зліва маємо однакову ситуацію щодо зміни небезпеки зіткнення, пов'язаної зі зміною курсового кута ЛВР – у випадку, якщо ЛВР проходить по носу, небезпека зіткнення зменшується при збільшенні кута ЛВР та зростає при зменшенні [118].

Для випадку, коли ЛВР проходить по кормі, маємо залежність зміни небезпеки зіткнення від курсового кута ЛВР, зворотну до випадку проходження ЛВР по носу. Більш чітка оцінка зміни небезпеки зіткнення, зумовлена зміною кута ЛВР та потребує встановлення залежності швидкості зміни кута ЛВР від швидкості зміни кута $\Theta(\Theta = K_u - K_0)$.

Скористаємося рівністю кута α_c у трикутнику позицій із кутом α_l у трикутнику швидкостей. Із векторного трикутника швидкостей кут α_l за допомогою теореми синусів можна визначити наступним чином [123]:

$$\frac{V_u}{V_n} = \frac{\sin \alpha_l}{\sin \Theta}, \quad \text{або} \quad \alpha_l = \arcsin \left(\frac{V_u \sin \Theta}{V_n} \right). \quad (3.2)$$

Обчислюючи похідну виразу (3.2), визначимо швидкість зміни α_l від Θ :

$$\alpha'_l = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_u \sin \Theta}{V_n} \right)^2}} \frac{V_u}{V_n} \cos \Theta \right)'. \quad (3.3)$$

Спростуючи вираз (3.3), отримаємо:

$$\alpha'_l = \left(\frac{V_u \cos \Theta}{\sqrt{V_n^2 - V_u^2 \sin^2 \Theta}} \right)' = \left(\frac{\cos \Theta}{\sqrt{\frac{V_n^2}{V_u^2} - \sin^2 \Theta}} \right)' \quad (3.4)$$

Таким чином, залежність швидкості зміни $\alpha_l(a_c)$ від швидкості Θ визначається співвідношенням:

$$\Delta \alpha_l = \Delta \alpha_c = \frac{\cos \Theta}{\sqrt{\left(\frac{V_n}{V_u} \right)^2 - \sin^2 \Theta}} \Delta \Theta \quad (3.5)$$

Таблиця 3.2 – Залежність небезпеки зіткнення суден від зміни кута ЛВР

Судно	Курсовий кут ЛВР	№ п.п	Характеристика проходження ЛВР	Зміна ЛВР ($+\Delta\alpha$ - зростає) ($-\Delta\alpha$ - зменшується)	Небезпека зіткнення, її зміна
Справа	$\alpha_c < 90^\circ$	1	Перетинає курс по носу	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c < 90^\circ$	2	Проходить через нас	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c < 90^\circ$	3	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
	$\alpha_c = 90^\circ$	4	Перетинає курс по носу	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c = 90^\circ$	5	Проходить через нас	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c = 90^\circ$	6	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
	$\alpha_c > 90^\circ$	7	Перетинає курс по носу	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c > 90^\circ$	8	Проходить через нас	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c > 90^\circ$	9	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
Зліва	$\alpha_c < 90^\circ$	10	Перетинає курс по носу	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c < 90^\circ$	11	Проходить через нас	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c < 90^\circ$	12	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
	$\alpha_c = 90^\circ$	13	Перетинає курс по носу	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c = 90^\circ$	14	Проходить через нас	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c = 90^\circ$	15	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується
	$\alpha_c > 90^\circ$	16	Перетинає курс по носу	$+\Delta\alpha$	Зменшується
				$-\Delta\alpha$	Збільшується
	$\alpha_c > 90^\circ$	17	Проходить через нас	$+\Delta\alpha$	Небезпечно
				$-\Delta\alpha$	Небезпечно
	$\alpha_c > 90^\circ$	18	Перетинає курс по кормі	$+\Delta\alpha$	Збільшується
				$-\Delta\alpha$	Зменшується

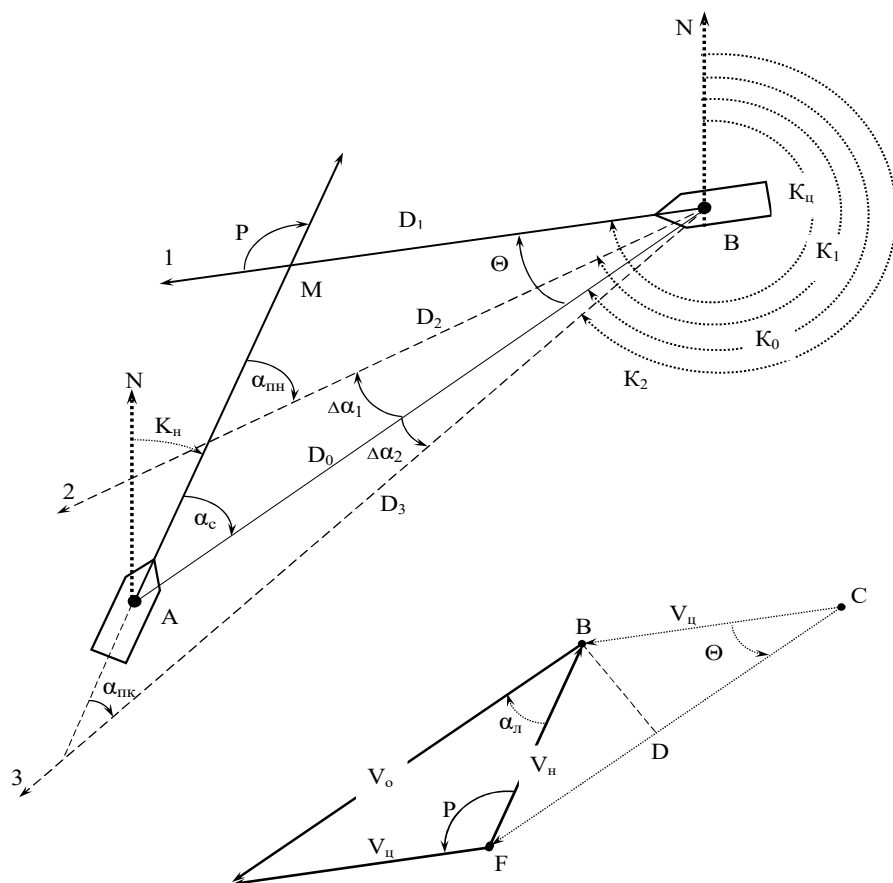


Рисунок 3.4 – Оцінювання небезпеки зіткнення за зміною кута курсу ЛВР (трикутник позицій та трикутник швидкостей) [123]

Вираз (3.5) дозволяє визначити швидкість зміни кута курсу ЛВР, а відповідно і динаміку зміни поточної навігаційної ситуації – наближення ЛВР до нашого судна по носу або кормі, що може свідчити про зростаючу небезпеку зіткнення.

У разі, якщо судна розходяться на незначній відстані, у міру їх зближення швидкість зміни пеленга зростає, досягаючи найбільшої величини в момент зближення на найкоротшу відстань $D_{кр}$. Аналіз ситуації небезпеки зіткнення суден проводиться на підставі даних РЛС у період від моменту виявлення цілі до початку маневру на відстані $D_{кр}$, що визначається радіолокаційною прокладкою. Під час виявлення судна РЛС необхідно враховувати похибку визначення величини $D_{кр}$, що виникає внаслідок випадкових похибок пеленгування, а також розміри суден [123].

Із аналізу виразу (3.5) також можемо зробити наступні висновки:

- при $V_n = V_u$ отримуємо $\Delta\alpha_c = \Delta\Theta$, тобто зміна ЛВР точно відповідає зміні пеленга;
- при $\Theta = 90^\circ$ і $\Theta = 270^\circ$ – маємо небезпечну ситуацію, коли ЛВР проходить через нас і не змінюється;
- при $\Theta = 0^\circ$ і $\Theta = 180^\circ$, а також кутах, близьких до них, Θ , $\Delta\alpha_c = \frac{V_u}{V_n} \Delta\Theta$.

Таким чином, за різницею курсу цілі та відносного курсу визначається величина курсового кута ЛВР, що дає змогу розрахувати $\alpha_{нк}$ і $\alpha_{нн}$ за формулами: $\alpha_{нн} = \alpha_c + \Delta\alpha$, $\alpha_{нк} = \alpha_c - \Delta\alpha$. Беручи до уваги формулу (3.5), отримаємо остаточний вираз для розрахунку $\alpha_{нк}$ і $\alpha_{нн}$ за зміною кута Θ :

$$\alpha_{нк} = \arcsin\left(\frac{V_u \sin \Theta}{V_n}\right) - \frac{\cos \Theta}{\sqrt{\left(\frac{V_n}{V_u}\right)^2 - \sin^2 \Theta}} \Delta\Theta, \quad (3.6)$$

$$\alpha_{нн} = \arcsin\left(\frac{V_u \sin \Theta}{V_n}\right) + \frac{\cos \Theta}{\sqrt{\left(\frac{V_n}{V_u}\right)^2 - \sin^2 \Theta}} \Delta\Theta. \quad (3.7)$$

Позиційний трикутник AMB дозволяє визначити дистанцію перетину курсу (bow cross range BCR) [188]:

$$\begin{aligned} BCR &= \sqrt{D_0^2 + D_1^2 - 2D_0D_1 \cos \Theta} \\ BCR &= \sqrt{D_0^2 + D_1^2 + 2D_0D_1 \cos(P + \alpha_c)} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Знову використовуючи теорему синусів та співвідношення $D_1/\sin \alpha_c = D_0/\sin P$, перетворюємо вираз (3.8) до вигляду:

$$BCR = \sqrt{D_0^2 + D_0^2 \frac{\sin^2 \alpha_c}{\sin^2 P} + 2D_0^2 \frac{\sin \alpha_c}{\sin P} \cos(P + \alpha_c)} = D_0 \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \alpha_c}{\sin^2 P} + 2 \frac{\sin \alpha_c}{\sin P} \cos(P + \alpha_c)} \quad (3.9)$$

Таким чином, оцінка небезпеки зіткнення суден за єдиним інформаційним параметром – зміною напрямку ЛВР, дозволяє підвищити оперативність прийняття рішень судноводієм щодо вибору маневру для розходження. У порівнянні з традиційними підходами, що використовують спостережувані або обчислювані параметри, цей метод дає змогу заздалегідь визначити небезпеку розвитку ситуації. Запропоновану методику оцінки небезпеки зіткнення за зміною курсового кута ЛВР доцільно використовувати в автоматизованих системах керування рухом судна, берегових радіолокаційних системах (БРЛС), а також при створенні спеціалізованих СППР.

Крім того, при використанні інформації з АІС у СППР цей метод дозволяє визначити небезпечне зближення навіть під час маневрування суден, коли в наявних пристроях відбувається скидання супроводу [188].

Виконаний порівняльний аналіз точності розрахунку параметрів у судових РЛС, БРЛС та з використанням АІС показав, що:

- точність розрахунку дистанції та часу розходження в БРЛС вища, ніж у судових РЛС;
- точність розрахунку параметрів при використанні інформації з АІС та GPS буде приблизно такою ж, як у БРЛС, а різниця проявлятиметься в успадкованих похибках через різні алгоритми обчислення. При використанні DGPS супутникова система матиме найвищу точність, проте така система доступна не у всіх регіонах.

Для забезпечення контролю процесу розходження та вироблення пропозицій щодо маневрування для суден в СППР пропонується:

- розглядати судна в морі у вигляді кола з радіусом, рівним половині його максимальної довжини, з центром на перетині міделя і діаметральної площини;
- застосовувати розрахунки дистанції та часу найкоротшого зближення двома способами – з використанням БРЛС та АІС суден, а також алгоритми оцінки їх точності з подальшим узгодженням результатів за точністю;
- при призначенні допустимої дистанції найкоротшого зближення та видачі рекомендацій для розходження враховувати максимальну довжину суден,

інструментальні радіальні СКП визначення місця суден в АІС та успадковані похибки розрахунку найкоротшого зближення в СППР.

Оцінка небезпеки зіткнення суден за єдиним інформаційним параметром – зміною напрямку ЛВР, дозволяє підвищити оперативність прийняття рішень судноводієм щодо вибору маневру для розходження. У порівнянні з традиційними підходами, що використовують спостережувані або обчислювані параметри, цей метод дає змогу заздалегідь визначити небезпеку розвитку ситуації.

Запропоновану методику оцінки небезпеки зіткнення за зміною курсового кута ЛВР доцільно використовувати в автоматизованих системах керування рухом судна, БРЛС, а також при створенні спеціалізованих СППР.

Крім того, при використанні інформації з АІС у запропонований метод дозволяє визначити небезпечне зближення навіть під час маневрування суден, коли в наявних пристроях відбувається скидання супроводу [188].

Слід окремо зазначити, що МПЗЗС-72 вимагають враховувати, що «небезпека зіткнення повинна вважатися такою, що існує, якщо пеленг судна, яке наближається, помітно не змінюється», і що «небезпека зіткнення може іноді існувати навіть при зближенні з дуже великим судном або буксиром чи при зближенні суден на малу відстань». У таких випадках слабка «позитивна» зміна пеленга, взятого на носову частину дуже великого судна або буксира, не гарантує від можливості зіткнення з їх кормовою частиною. На жаль, МПЗЗС-72 не містить чітких визначень таких критеріїв, як «пеленг помітно не змінюється» та «помітна зміна пеленга», що вносить суб'єктивність в оцінку зазначених параметрів і змушує розробляти спеціальні процедури для оцінки зміни пеленга.

Критерієм оцінки небезпеки зіткнення може слугувати різниця пеленгів θ виміряна до початку маневру розходження, яка визначає відносну середньоквадратичну похибку відстані найкоротшого зближення $\delta_{D_{кр}}$ [118]:

$$\delta_{D_{кр}} = \left(\operatorname{ctg} \theta - \frac{\sin \theta}{\frac{D_1}{D_2} + \frac{D_2}{D_1} - 2 \cos \theta} \right) 1,41 \varepsilon_n \quad (3.10)$$

де θ – різниця пеленгів між спостереженнями, ε_n – середньоквадратична похибка вимірювання пеленгів, D_1 і D_2 – дистанції до цілі на початку та в кінці спостережень.

Для малих кутів θ , прийнявши $\cos \theta = 1$ і $\sin \theta = 0$, формулу (3.6) можна подати у вигляді:

$$\delta_{D_{кр}} = \left(1 - \frac{\theta^2}{\frac{D_1}{D_2} + \frac{D_2}{D_1} - 2} \right) \frac{1,41 \varepsilon_n}{\theta} \quad (3.11)$$

Знехтувавши другим доданком у формулі (3.7), який характеризується другим порядком малості за умови, що судна рухаються, отримаємо кількісний критерій оцінки точності визначення $D_{кр}$:

$$\delta_{D_{кр}} = 1,41 \frac{\varepsilon_n}{\theta} \quad (3.12)$$

Вираз (3.12) являє собою кількісний критерій оцінки ефективності визначення $D_{кр}$ за даними РЛС. Величина $\delta_{D_{кр}}$ у цьому випадку враховує як середньоквадратичну похибку пеленгування, так і величину зміни пеленга, що характеризує дистанцію найкоротшого зближення суден. З аналізу виразу (3.8) випливає, що небезпека зіткнення існує завжди, якщо за час між спостереженнями пеленг наближеного судна змінюється на кут, при якому $\delta_{D_{кр}} \geq 1$, оскільки в цьому випадку його величина співмірна з величиною ε_n , а абсолютна похибка визначення дистанції найкоротшого зближення $\varepsilon_{D_{кр}}$ дорівнює або перевищує $D_{кр}$. Проте небезпека зіткнення може існувати і у випадку, якщо $\delta_{D_{кр}} < 1$ ($\varepsilon_{D_{кр}} < D_{кр}$), коли розвивається ситуація надмірного зближення на відстань менше гранично допустимої $D_{он}$, розрахованої з

урахуванням розмірів та маневрених характеристик суден, а також похибки визначення $D_{кр}$. У такому випадку слід вважати, що розвивається ситуація надмірного зближення і існує небезпека можливого зіткнення, якщо різниця пеленгів θ менша за мінімальну зміну пеленга θ_{on} , при якій судна можуть розійтися на відстань, що дорівнює допустимій дистанції найкоротшого зближення D_{on} . Також необхідно враховувати, що відносна похибка визначення дистанції найкоротшого зближення $\delta_{D_{кр}}$ зменшується зі збільшенням різниці пеленгів між спостереженнями.

Розглядаючи θ_{on} як критерій оцінки небезпеки зіткнення суден, можна вважати, що судна розійдуться на безпечну відстань, якщо пеленг наближеного судна зміниться за час спостереження на кут, більший ніж θ_{on} , $\theta > \theta_{on}$.

Під час плавання в умовах обмеженої видимості відповідно до Правил 7 МПЗС-72 величина θ_{on} може слугувати кількісною характеристикою зміни пеленга: якщо він змінюється за час зближення на кут $\theta < \theta_{on}$, можна вважати, що він «помітно не змінюється». Зазначена обставина забезпечує мінімізацію впливу суб'єктивності оцінки поняття «пеленг помітно не змінюється» на прийняття рішень судноводієм.

Додатковим критерієм оцінки небезпеки зіткнення слугує динаміка зміни пеленгів суден. З метою підвищення точності оцінки береться серія пеленгів, що дозволить судити про їх показники, і, відповідно, про наявність небезпеки зіткнення. При оцінці небезпеки навігаційної ситуації за зміною пеленгу необхідно керуватися наступними положеннями [118]:

- якщо ціль наближається, а пеленг не змінюється, то розвивається ситуація зближення суден впритул;
- якщо ціль наближається, а пеленг змінюється, то в процесі розвитку ситуації судна розійдуться на деякій відстані, величина якої буде тим менше, чим повільніше змінюється пеленг цілі.

У випадку, якщо судна розходяться на незначній відстані, в міру їх зближення швидкість зміни пеленга збільшується, досягаючи найбільшої

величини в момент зближення на найкоротшу відстань. Аналіз ситуації небезпеки зіткнення суден проводиться на підставі даних суднової РЛС в період від моменту виявлення цілі до початку маневру за відстанню, що визначається радіолокаційною прокладкою. При виявленні судна РЛС необхідно враховувати похибку визначення місця, що виникає внаслідок випадкових похибок пеленгування, а також врахування розмірів суден.

Розглянутий комплексний метод кількісної оцінки небезпеки зіткнення дозволяє визначити області взаємних обов'язків суден та гранично допустимі дистанції найкоротшого зближення, що дає можливість розраховувати в СППР параметри зони безпеки навколо власного судна. Базові підходи до формування такої зони були розглянуті в роботі [99].

У випадку, якщо судна розходяться на незначній відстані, в міру їх зближення швидкість зміни пеленга збільшується, досягаючи найбільшої величини в момент зближення на найкоротшу відстань. Аналіз ситуації небезпеки зіткнення суден проводиться на підставі даних суднової РЛС в період від моменту виявлення цілі до початку маневру за відстанню, що визначається радіолокаційною прокладкою. При виявленні судна РЛС необхідно враховувати похибку визначення місця, що виникає внаслідок випадкових похибок пеленгування, а також врахування розмірів суден.

Судно виключається з розгляду СППР при формуванні сценаріїв взаємодії у разі ідентифікації його як безпечного, але моніторинг параметрів руху такого судна триває при перебуванні його в межах зони дії ЗАРП.

Для небезпечних і потенційно небезпечних суден СППР формує багатокрокову стратегію розходження на весь прогнозований період їхнього перебування у зоні взаємних обов'язків, із подальшою корекцією стратегії у випадку, якщо поточний розвиток ситуації буде відрізнятися від прогнозованого. У процесі формування стратегії розходження враховується передбачувана зміна параметрів руху суден, обумовлена їх взаємодією один з одним відповідно до МПЗЗС-72 [118].

3.5. Обробка навігаційної інформації в СППР судноводія

Створення СППР судноводія потребує розробки відповідних моделей та методів накопичення і обробки навігаційних даних. Використання класичних методів ШІ ускладнюється тим, що більшість з них або жорстко детерміновані і не дозволяють якісно вирішити завдання за наявності суперечливості чи неповноти вихідних даних (продукційні системи, теорія ігор, семантичні мережі) [56,58] або не забезпечують достатньої надійності одержуваного рішення (нечітка логіка, нейронні мережі, байєсовські мережі) [11,43], або мають високу складність практичної реалізації і не задовольняють тимчасовим обмеженням (генетичні алгоритми, переборні методи, методи евристичного пошуку) [46]. Зазначені обставини, а також необхідність застосування досить простих у практичній реалізації механізмів самонавчання СППР, зумовили доцільність використання прецедентних (CBR або Case-Based Reasoning) методів [42,231-233]. CBR, або метод міркування на основі прецедентів, є одним з напрямків у дослідженнях зі штучного інтелекту, що інтенсивно розвиваються. За визначенням Р. Шенка «CBR-спосіб вирішення нових проблем шляхом адаптації рішень, які використовувалися раніше в аналогічних ситуаціях». У СППР прецедент являє собою структуру, що складається з опису поточної навігаційної ситуації, і рішення, що містить список можливих варіантів прийняття рішення управління судном, а також опис ситуації, яка (можливо) матиме місце після вибору прецеденту (реалізації прийнятого рішення) рис. 3.5. [232].

Найбільш складним етапом роботи прецедентної СППР є етап класифікації поточної ситуації. В якості методу, за допомогою якого здійснюється обчислення заходів подібності прецедентів, використовується метод пошуку найближчого сусіда, в основі якого лежить спосіб вимірювання ступеня збігу значень атрибутів, які визначають прецедент. Атрибутами є тип маневру і параметри руху судна [232].

Нехай S – простір можливих ситуацій, U – простір можливих рішень.

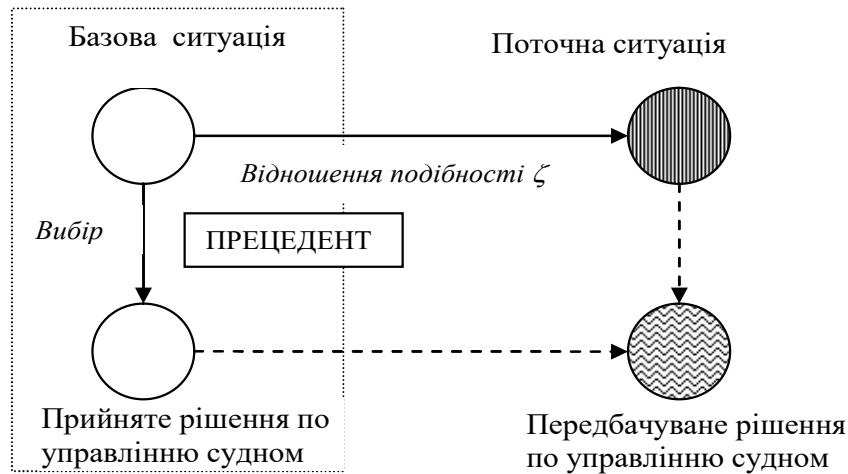


Рисунок 3.5 – Прийняття рішень на основі прецеденту [232]

Прецедент P є парюю $\langle s, u \rangle \in \wp = S \times U$, що складається з навігаційної ситуації $s \in S$ та пов'язаного з нею рішення щодо керування судном $u \in U$. Кожній ситуації s можуть відповідати кілька рішень, таким чином, допустимі прецеденти виду $\langle s, u \rangle$ і $\langle s, u' \rangle$, які відрізняються у випадку, якщо $u \neq u'$. Дані в СППР представлені множиною прецедентів P [231,233]:

$$P = \{ \langle s_1, u_1 \rangle, \langle s_2, u_2 \rangle, \dots, \langle s_n, u_n \rangle \} \quad (3.13)$$

Прецедентна система являє собою структуру $\langle P, SM_\Omega, K \rangle$, де P – сховище прецедентів, SP_Ω – міра подібності, задана на множині інтерпретацій Ω мови L , що описує вхідні ситуації, K – множина формул мови L . Множина формул K становить базу знань про предметну область, отриману експертним шляхом або за допомогою методів машинного навчання. Кожен прецедент p_i може розглядатися як умовна імплікація виду:

$$s_i \Rightarrow u_i \quad (3.14)$$

Таким чином, якщо задана певна ситуація $s \approx s_j$ та існує прецедент $p_j = \langle s_j, u_j \rangle$, можна стверджувати, що u_j є u_j наближеним (або правдоподібним)

рішенням для ситуації s . Більш того, чим ближче ситуація s до ситуації s_j , тим правдоподібніше, що u_j є рішенням для s .

Для знаходження ступеня близькості ситуації s до ситуації s_j та відповідно оцінки близькості рішення u_j до шуканого, використовується функція ζ , на її основі будується відношення подібності між прецедентами та виводиться міра SP . Для кожного прецеденту можна за допомогою оцінки подібності обчислити ступінь доречності рішення u_i у ситуації, близькій до s_i .

Вибір найбільш підходящого у конкретній ситуації прецеденту дозволяє сформулювати на його основі готове рішення або потребує проведення додаткових дій із адаптації рішення з метою врахування відмінностей у характеристиках поточної та базової ситуації. Якщо відповідний прецедент не знайдено або процес адаптації потребує залучення додаткової інформації, ухвалення рішення потребуватиме звернення до бази знань СППР, що містить основні відомості про предметну область, та використання особистого досвіду судноводія.

Як тільки поточна ситуація ідентифікована, судноводій може прийняти рішення із запропонованих системою альтернатив на основі вже наявних (збережених) прецедентів, або самостійно. Вибір прецеденту, якій у найбільшій мірі відповідає конкретній ситуації, дозволяє сформулювати на його основі рішення у готовому вигляді, або вимагає проведення додаткових дій з адаптації рішення з метою врахування відмінностей у характеристиках сформованої і базової ситуації. Якщо відповідний прецедент не виявлено або процес адаптації вимагає залучення додаткової інформації, прийняття рішення потребує звернення до бази знань СППР, що містить основні відомості про предметну область і застосування для прийняття рішення згідно особистого досвіду судноводія. В останньому випадку відбувається формування нового прецеденту, який зберігається в СППР. Ситуація, для якої був збережений прецедент, надалі вважається опорною або базовою. У якості вихідний базовий набір ситуацій використовується каталог ситуацій, запропонований у роботі [8] та множина ситуацій, що наведена в четвертому розділі дисертаційного дослідження.

Процес функціонування прецедентної СППР можна представити у вигляді CBR-циклу (рис. 3.6), що складається з чотирьох основних фаз [231]:

- 1) отримання (вибір) з БД СППР найбільш доречного прецеденту чи множини прецедентів, на основі заданого відношення подоби;
- 2) використання обраних прецедентів для прийняття рішення;
- 3) перегляд і корекція (адаптація), які у разі необхідності приймалися раніше, в обраних прецедентах рішень;
- 4) збереження в БД прийнятого рішення і сформованої ситуації в якості нового прецеденту чи відповідна зміна обраного прецеденту, що може бути корисним в подальшому при вирішенні аналогічних завдань.

Головною особливістю CBR-циклу є те, він застосовується при безпосередній взаємодії з особою, яка приймає рішення, що забезпечує процес самонавчання СППР.

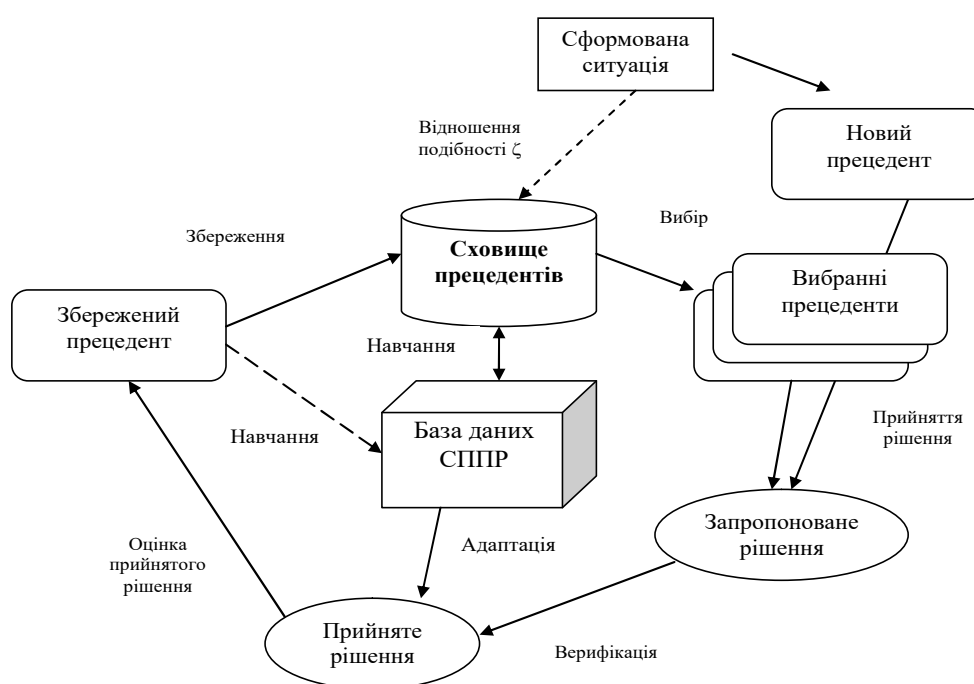


Рисунок 3.6 – Фази циклу прийняття рішень [232]

Оскільки СППР судноводія функціонує в режимі реального часу, це накладає жорсткі часові обмеження на процеси вироблення та прийняття рішень і вимагає побудови сценаріїв розходження суден на весь період взаємодії. Аналіз

низки зарубіжних та вітчизняних робіт, присвячених теорії і практиці створення СППР у судноводінні [188], показує, що найважливішим чинником, який необхідно враховувати при описі процесу розходження суден, є характер їх взаємодії.

При цьому необхідно враховувати принцип спільності інтересів взаємодіючих суден, що складається в уникненні зіткнення і нормативну координацію їх поведінки відповідно МПЗЗС-72.

Із загальної кількості ситуацій S в деякий момент часу t розглянемо навігаційну ситуацію $S(t)$. Нехай $S(t)$ характеризується наявністю в зоні розходження n суден, де кожне i -е судно ($i \in [1, n]$) описується множиною $M_i = \{x_i, y_i, V_i, \psi_i, \Delta V_i, \Delta \psi_i\}$, яка складається із шести параметрів: координати (x_i, y_i) , швидкість V_i , курс ψ_i , та похідні ΔV_i , $\Delta \psi_i$ які визначають динаміку змін V_i та ψ_i . Значення (x_i, y_i) , V_i та ψ_i надходять до ЗАРП, а значення ΔV_i , $\Delta \psi_i$ розраховуються в СППР на основі попередніх значень V_i та ψ_i [115].

Параметри руху i -го судна позначимо множиною $M_i = \{x_i, y_i, V_i, \psi_i, \Delta V_i, \Delta \psi_i\}$. Тоді для будь-якого дискретно заданого моменту часу t навігаційна ситуація $S(t)$ буде представлена у вигляді: $S(t) = (M_0, \dots, M_i, \dots, M_n)$.

Рух суден в зоні розходження здійснюється з урахуванням низки статичних та динамічних обмежень Z , до яких відносяться:

- навігаційні обмеження в зоні розходження, що існують на поточний час - Z_1 ;
- виконання вимог МПЗЗС-72 - Z_2 ;
- виконання вимог критеріїв безпечного розходження на мінімально безпечній дистанції зближення $D_{кр}$, часу зближення $t_{кр}$, пеленгу Π або кута курсу KK - Z_3 ;
- обмеження, які зумовлені врахуванням кінематичних параметрів руху суден та їх характеристик маневрування - Z_4 .

Множина Z_2 являє собою статичне обмеження і може бути записана у вигляді бінарної функції п'яти аргументів, значення яких визначається як [115]:

$$Z_2 = Z_2^1 \cup \overline{Z_2^1} (\overline{Z_2^2 Z_2^3} \cup \overline{Z_2^4 Z_2^5}), \quad (3.15)$$

де $\overline{Z_2^1}$ – зіткнення із іншим судном у будь-якому напрямі;

$\overline{Z_2^2}$ – наближення або віддалення судна;

$\overline{Z_2^3}$ – проходження судна попереду по носу або позаду по кормі;

$\overline{Z_2^4}$ – наближення судна по носу або по кормі;

$\overline{Z_2^5}$ – наближення судна справа або зліва;

Загальна множина обмежень Z може бути представлена у вигляді: $Z = Z_1 \cap Z_2 \cap Z_3 \cap Z_4$. Обмеження Z дозволяють визначити матриці стратегій управління $U_0^i(S(t))$ для власного судна та кожного судна яке є учасником навігаційної ситуації $S(t)$.

Застосування запропонованого підходу до формалізації правил МПЗЗС-72 дозволило реалізувати в СППР імітаційну модель розходження суден, що враховує як вимоги МПЗЗС-72 так і логіку дій судноводіїв. Для подальшого уточнення сценаріїв розвитку навігаційних ситуацій в СППР здійснюється оцінка параметрів руху суден, на підставі якого відбувається прогнозування можливих траєкторій їх руху з метою обмеження кількості можливих сценаріїв розходження, що підлягають аналізу.

Разом з тим, слід зазначити, що застосування СППР для вирішення практичних задач управління рухом суден та устаткуванням потребує також врахування особливостей взаємодії таких систем з ОПР, або судноводієм.

Слід враховувати, що при прийнятті рішення, судноводій зазвичай керується нижченаведеними правилами [116]:

1. Під час здійснення аналізу ситуації, що склалася, судноводій підсвідомо оцінює динаміку навігаційних параметрів, здійснюючі прогнозування їх змін у часі і формуючи, таким чином, навігаційну ситуацію, що матиме місце у майбутньому.

1. За сприятливих умов (відсутність втоми, нескладна ситуація вибору рішення, стали фактори впливу зовнішнього середовища) судноводій здатний самостійно долати фактори неточності та неповноти вихідних даних, та швидко приймати вірне рішення, спираючись лише на наявний досвід.

2. За несприятливих умов, судноводій підсвідомо здійснює «огрублення» ситуації, що склалася, аналізуючи лише певну кількість, «найбільш важливих», з його суб'єктивної точки зору, параметрів з метою більш швидкого ухвалення рішення.

3. Судноводій зазвичай формує для себе можливий сценарій розвитку подальших дій спираючись на власний досвід прийняття рішень в подібних ситуаціях, якщо вони вже мали місце в минулому, проте не завжди подібні сценарії є коректними і достовірними, що, як наслідок, призводить до прийняття ним суб'єктивних рішень.

4. Судноводій постійно оцінює рівень досягнення ним поставлених результатів керування, що завжди супроводжується певним рівнем емоційного відчуття успіху або тривоги залежно від складності ситуації, яка має місце.

Саме вищезазначені особливості у поєднанні з постійним збільшенням обсягів інформації, що потребує оперативної обробки, і є першочерговими чинниками виникнення такого явища, як людський фактор. Можливі шляхи його подолання докладно розглянуто у роботах [147,148,154,176]. З метою зменшення негативного впливу людського фактора, та підвищення ефективності взаємодії СППР із судноводієм в цілому, доцільно враховувати структуру процесів інформаційного обміну, та застосовувати у СППР інтегровану модель судноводія [219,126].

У такому випадку взаємодія СППР та ОПР розглядається у вигляді безперервного ланцюжка послідовних циклів, де цикл інформаційної взаємодії складається з чотирьох фаз: «С»-«П»-«В»-«А» («Синтез», «Подання», «Взаємодія», «Аналіз»).

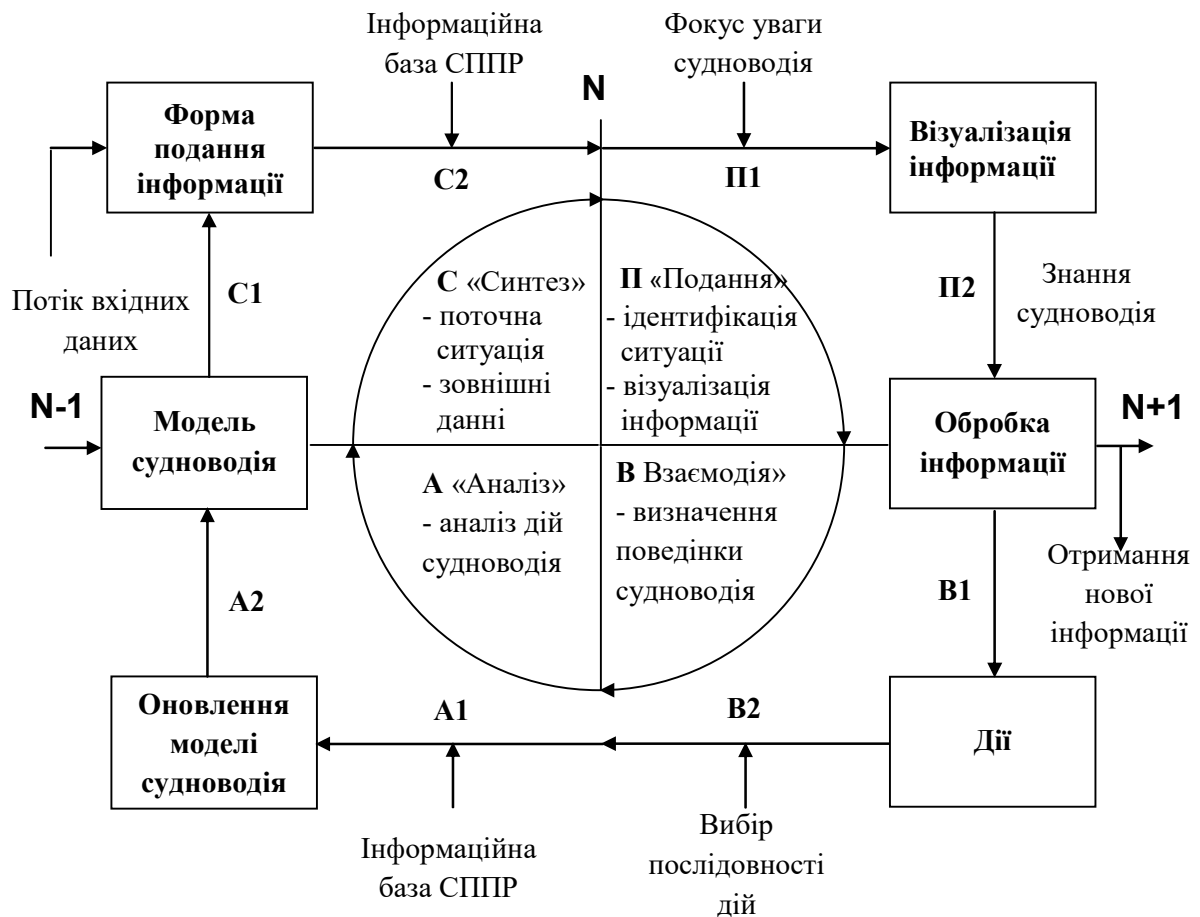


Рисунок 3.7 – Цикл інформаційної взаємодії судноводія з СППР [126]

Під час циклу інформаційної взаємодії СППР застосовує модель судноводія з метою визначення пріоритетності розв'язання задач, що вирішуються, визначення форми візуалізації вихідних даних та змісту інформаційних повідомлень. Одночасно в СППР також здійснюється накопичення інформації про дії судноводія, яка надалі застосовується для уточнення його моделі.

Наявність моделі ОПР дозволяє знизити рівень інформаційного навантаження на ОПР та підвищити швидкість процесів обміну інформацією. Вищевказане набуває особливо важливого значення за умов прийняття рішень в критичних ситуаціях та наявності обмежень часу на їх формування та практичну реалізацію.

3.6. СППР в управлінні вантажними операціями контейнеровозів

Застосування СППР у галузі судноводіння не обмежується лише вирішенням навігаційних задач та задач керування рухом суден. Окремим, не менш важливим напрямком їх практичного застосування постає розв'язання задач оптимізації вантажних операцій суден, особливо контейнеровозів, та суден, що забезпечують перевезення великовагових та негабаритних вантажів. Вирішення вказаних задач формує собою окремий напрям наукових досліджень, пов'язаних із застосуванням СППР у морській галузі, за яким успішно працювали і працюють нині ряд учнів автора [155-160,224,225].

Втім, з метою більш повного висвітлення матеріалів даного розділу, вбачається доречним акцентувати увагу на низку важливих рішень, запропонованих автором у напрямку застосування СППР для вирішення проблем оптимізації вантажних планів контейнеровозів.

Постійне зростання обсягів сучасних морських контейнерних перевезень та ускладнення їх логістичних ланцюжків, що пов'язане з істотним збільшенням контейнеромісткості сучасних суден контейнеровозів, яка може досягати до 24000 TEU (20-ти футових контейнерних одиниць або 20" контейнерів), обумовлює нагальну потребу в розв'язанні низки теоретичних та практичних задач, пов'язаних з підвищенням економічної ефективності та безпечності таких перевезень [1,2]. Однією з ключових складових успішного розв'язання вказаних задач є розробка математичних моделей, методів та інформаційних технологій формування вантажних планів суден-контейнеровозів. З огляду на вищевказане, актуальною проблемою сьогодення є створення СППР з управління процесами побудови вантажних планів таких суден, про що свідчить значна кількість наукових досліджень з різними теоретичними підходами до вирішення вказаних задач.

Нераціональний вантажний план судна призводить до необхідності виконання зайвих вантажних операцій в портах, що кличе за собою додаткові, як прямі, так і опосередковані економічні втрати. Крім того, наявність зайвих

вантажних операцій погіршує безпекову складову виконання рейсу, тому оптимізація структури вантажних планів вкрай важлива.

Слід зазначити, що при складанні вантажного плану контейнеровозу необхідно враховувати низку обов'язкових та додаткових обмежень, які можна структурувати наступним чином [157].

1. Дотримання вимог збереження міцності корпусу судна та врахування його конструктивних особливостей (поздовжня міцність корпусу, вигинаючі моменти, міцність палуби, розташування кришок люків та місць кріплення контейнерів тощо).

2. Дотримання вимог до збереження остійності судна (контроль припустимих меж для метацентричної висоти, осадки, крену та диференту).

3. Врахування послідовності завантаження-вивантаження контейнерів відповідно до портів під час виконання рейсу (мінімізація «шифтіngu» - зайвих технологічних переміщень одних контейнерів з метою отримання доступу до інших).

4. Дотримання технологічних вимог до взаємного розташування і кріплення 20-ти та 40-ка футових контейнерів, а також контейнерів збільшеної висоти та довжини.

5. Врахування вимог, пов'язаних з сегрегацією вантажів та розміщенням небезпечних вантажів на судні.

6. Розміщення рефрижераторних та спеціалізованих контейнерів у заздалегідь призначених для них місцях.

7. Штабелювання контейнерів, які розташовані на палубі судна повинно здійснюватись з урахуванням граничних навантажень на палубу, та таким чином, щоб вони не перекривали лінію огляду з навігаційного містка.

8. Додатково при формуванні вантажного плану судна бажано враховувати характеристики вантажного обладнання та порядок здійснення вантажних робіт у портах призначення з метою зменшення витрат часу на його завантаження та розвантаження.

При цьому дуже важливим питанням є зменшення кількості «шифтіngu», тобто нераціональних, але технологічно необхідних переміщень контейнерів. Зменшення шифтіngu можна досягти шляхом запровадження двохетапних процедур побудови вантажних планів, при цьому спочатку виконується формування огрублених варіантів вантажних планів, або майстер планів, а далі здійснюються процедури їх послідовного уточнення.

Виходячи з вищенаведеного, можна дійти до висновку, що проблема формування оптимального (або раціонального) вантажного плану потребує одночасного комплексного вирішення низки складних взаємопов'язаних задач багатокритеріальної оптимізації, що можливо лише за умов ретельного врахування впливу отриманих розв'язків кожної з них на кінцевий результат, тобто, власне, вантажний план.

Розглядаючи процес формування вантажного плану контейнеровозу з позицій системного підходу, пропонується застосування наступної структурно-логічної схеми для аналізу впливу його окремих складових та оптимізації в цілому (рис. 3.8).

У зазначеному процесі можна виділити два взаємопов'язаних комплекси складових впливу. Перший визначає технологічну складову і чітке виконання його вимог має обов'язковий характер. Другий комплекс відповідає за формування експлуатаційної складової вантажного плану і має більш варіативний характер.

Слід зазначити, що не завжди процес формування вантажного плану розпочинається з виконання вимог комплексу технологічних складових (хоча на практиці у більшості випадків відбувається саме так). Іноді домінантним фактором прийняття рішень для судновласника (або компанії - перевізника вантажів) виступають економічні показники виконання рейсу (максимізація прибутку за умов мінімізації витрат), і в такому разі процес формування вантажного плану контейнеровозу розпочинається з його експлуатаційної складової: визначаються логістичні ланцюжки перевезень, проводиться аналіз та оптимізація послідовності виконання вантажних робіт, розраховуються

економічні показники прибутковості рейсу судна. І лише на другому етапі проробляється технологічний цикл, якій вже повинен забезпечити дотримання необхідних технологічних вимог виконання створеного логістичного ланцюжка перевезень. Також можливі випадки, в яких пріоритетним буде фактор часу поставок товарів, і в такому разі, головним чинником стане оптимізація здійснення вантажних операцій в портах, з метою мінімізації часу виконання рейсу.



Рисунок 3.8 – Структура процесу формування вантажного плану контейнеровозу [157]

Таким чином, наразі існують нагальні потреби врахування різних запитів практики при керуванні процесом формування вантажних планів контейнеровозів.

Постає проблема розробки гнучких оптимізаційних стратегій вибору пріоритетів у прийнятті рішень, які повинні враховувати при плануванні перевезень вантажів існуючі потреби судновласника. Одним з найбільш доцільних шляхів вирішення вищезазначеної проблеми є створення спеціалізованих СППР, особливо для планування мультипортових перевезень,

що відрізняються складною структурою процесу планування та необхідністю внесення постійних змін до вже сформованого вантажного плану судна.



Рисунок 3.9 – Структура СППР з формування вантажного плану контейнеровозу для мультипортових контейнерних перевезень [157]

Виходячи з вищенаведених особливостей процесів обробки інформації при формуванні вантажного плану контейнеровозу, а також специфіки його створення та корегування в умовах здійснення мультипортових перевезень, було розроблено структуру СППР для керування таким процесом та визначено перелік її основних функцій.

Функціонально зазначена СППР забезпечує виконання наступних задач:

- формування множини майстер планів для кожного з портів рейсу судна;
- уточнення й оптимізацію відібраного майстер плану до вантажного плану у відповідності потребами поточного порту;
- розрахунок параметрів остійності та міцності корпусу судна;
- оптимізацію виконання вантажних операцій на судні і портових терміналах;

- розрахунок економічних показників виконання рейсу;
- вибір та рекомендація ОПР найкращих варіантів вантажних планів відповідно до заданої нею стратегії пріоритетів прийняття рішень.

3.7. Висновки до третього розділу

1. Визначено, що при створенні СППР судноводія особлива увага повинна бути приділена процесам накопичення та обробки вихідних даних про навігаційні ситуації, а також методам прогнозування можливих сценаріїв та їх розвиток з урахуванням основних положень МПЗЗС-72 та принципів кооперативної взаємодії суден в умовах реального часу.

2. Запропоновані комплексні критерії оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій за зміною кута ЛВР суден-цілей, пеленгів та дистанцій. Застосування вказаних критеріїв у СППР судноводія дозволяє формувати прогнози розвитку навігаційних ситуацій та упереджувати виникнення найбільш небезпечних з них.

3. З метою накопичення, обробки та узагальнення інформації стосовно процесів руху та взаємодії суден, запропоновано застосування сценарно-прецедентного підходу до побудови бази знань СППР.

4. Розроблені методологічні засади побудови СППР судноводія, що враховують особливості руху суден, процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння та вимоги МПЗЗС-72. Уперше запропоновано застосування чотирьохфазного циклу інформаційної взаємодії судноводія з СППР, що дає змогу поліпшити якість та оперативність прийняття рішень з управління рухом судна.

5. Отримала подальший розвиток методика застосування СППР у процесах оптимізації формування вантажних планів суден контейнеровозів.

Матеріали третього розділу висвітлені у наступних роботах автора: [75,115,116,118,123,126,136,153,157,161,187,190,200,201,204,232,233].

РОЗДІЛ 4

ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ РОЗХОДЖЕННІ, МАНЕВРУВАННІ ТА ДИНАМІЧНОМУ ПОЗИЦІОНУВАННІ СУДЕН

4.1. Оцінка навігаційних параметрів руху та ситуаційний аналіз процесу розходження суден

Для надійної роботи СППР судноводія перш за все необхідно зменшити кількість інформації, яка повинна бути прийнята до обробки. У зв'язку з обов'язковим впровадженням на судах АІС з'явилася можливість поліпшити організацію обробки даних про параметри зближення з навігаційними небезпеками [60]. З метою систематизації ситуацій зближення і видів маневрування суден розглянемо всі можливі випадки розходження і зміни режиму їх руху, вважаючи, що ніяких обмежень на дії судноводіїв немає [188], (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Характеристика видів маневрування для розходження

Судно	№	Умовне позначення	Характеристика виду маневру
Власне судно	1	$V_{\text{нп}}$	Відворот вправо власного судна
	2	$V_{\text{нл}}$	Відворот вліво власного судна
	3	$V_{\text{нзм}}$	Зменшення швидкості власного судна
	4	$V_{\text{нзб}}$	Збільшення швидкості власного судна
	5	$V_{\text{нпзм}}$	Відворот вправо і зменшення швидкості власного судна
	6	$V_{\text{нпзб}}$	Відворот вправо і збільшення швидкості власного судна
	7	$V_{\text{нлзм}}$	Відворот вліво і зменшення швидкості власного судна
	8	$V_{\text{нлзб}}$	Відворот вліво і збільшення швидкості власного судна
Інше судно	9	$V_{\text{цп}}$	Відворот вправо іншого судна
	10	$V_{\text{цл}}$	Відворот вліво іншого судна
	11	$V_{\text{цзм}}$	Зменшення швидкості іншого судна
	12	$V_{\text{цзб}}$	Збільшення швидкості іншого судна
	13	$V_{\text{цпум}}$	Відворот вправо і зменшення швидкості іншого судна
	14	$V_{\text{цпзб}}$	Відворот вправо і збільшення швидкості іншого судна
	15	$V_{\text{цлзм}}$	Відворот вліво і зменшення швидкості іншого судна
	16	$V_{\text{цлзб}}$	Відворот вліво і збільшення швидкості іншого судна

Для позначення видів маневру будемо використовувати позначення швидкості з індексом n власного судна і u – іншого судна.

Характеристика можливих ситуацій розходження, з урахуванням взаємного розташування власного і інших суден, представлена у табл. 4.2.

Всього можливих ситуацій взаємного розташування суден, які враховують розташування іншого судна праворуч / ліворуч, курсового кута лінії відносного руху (ЛВР) – $\alpha < 90^\circ$, $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha > 90^\circ$, а також проходження ЛВР щодо власного судна – перетинає курс по носу, проходить через нас або перетинає курс по кормі, може бути вісімнадцять [187,188].

Таблиця 4.2 – Класифікація ситуацій розходження суден

Судна	КУ ЛВР	№№ зп	Характеристика проходження ЛВР
Праворуч	$\alpha < 90^\circ$	1	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha < 90^\circ$	2	ЛВР проходить через нас
	$\alpha < 90^\circ$	3	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha = 90^\circ$	4	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha = 90^\circ$	5	ЛВР проходить через нас
	$\alpha = 90^\circ$	6	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha > 90^\circ$	7	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha > 90^\circ$	8	ЛВР проходить через нас
	$\alpha > 90^\circ$	9	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
Ліворуч	$\alpha < 90^\circ$	10	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha < 90^\circ$	11	ЛВР проходить через нас
	$\alpha < 90^\circ$	12	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha = 90^\circ$	13	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha = 90^\circ$	14	ЛВР проходить через нас
	$\alpha = 90^\circ$	15	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha > 90^\circ$	16	ЛВР перетинає лінію курсу по носу
	$\alpha > 90^\circ$	17	ЛВР проходить через нас
	$\alpha > 90^\circ$	18	ЛВР перетинає лінію курсу по кормі

При розходженні двох суден існує 288 ситуацій розходження і видів маневрування. При 20 суднах число ситуацій і маневрів взаємного розходження становить 54720. Таку велику кількість інформації судноводій не може обробити, і йому потрібна допомога в підтримці принципового рішення з

маневрування, яке може бути отримане шляхом застосування СППР судноводія [188].

Спочатку наявна навігаційна ситуація підлягає обробці в модулі ситуаційного аналізу, який за даними АІС розраховує відстань до всіх суден у вигляді матриці, і відкидає з подальшої обробки ті, відстань до яких збільшується. Як показує виконаний під час проведення дослідження аналіз, в більшості випадків число таких суден досягає 50 %.

Другим кроком є аналіз характеру зміни відносного руху за трьома факторами:

- розташування інших суден щодо діаметральної площині власного - праворуч або ліворуч;
- величиною кута між ЛВР і діаметральною площиною свого судна, курсового кута ЛВР – $\alpha < 90^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha > 90^\circ$;
- відносним курсом між лінією діаметральної площині власного та іншого судна, $P < 90^\circ$, $P = 90^\circ$, $P > 90^\circ$, – перетинає курс по носу, проходить через нас або перетинає лінію курсу по кормі.

На підставі аналізу існуючих залежностей був розроблений аналізатор ситуації зближення, аналізатори вибору виду маневру і розрахункові схеми визначення часу і відстані до інших суден, в момент початку маневрування власного. Структурний алгоритм ситуаційного аналізатора наведено на рис. 4.1.

Він складається з блоку розрахунку відстані до всіх суден, які постійні за даними АІС, визначає дистанцію і формує матрицю дистанцій. Позначимо кількість спостережуваних суден через n . Параметри, виміряні від власного судна на інші, будемо позначати індексом нуль і цифрою, яка позначає інше судно в межах $i \in [1, n]$, а між суднами, що спостерігаються - індексом з двома цифрами, першою з яких вимірюється пеленг і дистанція, а другою - на яке судно. За наведеним алгоритмом можна аналізувати й оцінювати ситуацію зближення між суднами з метою оцінки небезпеки зіткнень [188].

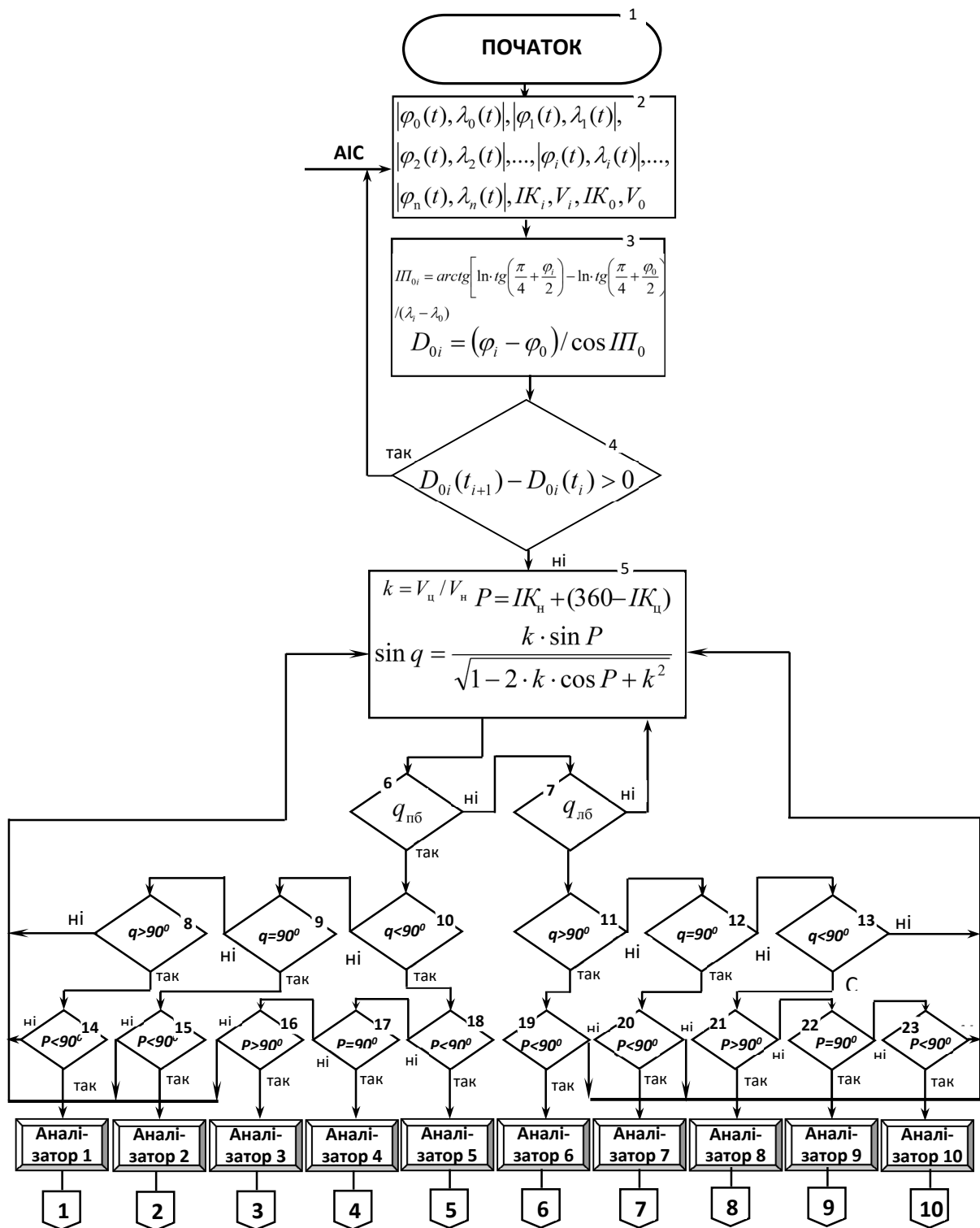


Рисунок 4.1 – Структурний алгоритм ситуаційного аналізу [188]

Позначимо відстань між власним судном і суднами, що спостерігаються як $D_{01}(t), D_{02}(t), \dots, D_{0i}(t), \dots, D_{0n}(t)$, а між іншими і власним через $D_{10}(t), D_{20}(t), \dots, D_{i0}(t), \dots, D_{n0}(t)$.

Тоді відстані між суднами, що спостерігаються в часі можна записати у

вигляді матриці відстаней [187,188]:

$$D(t) = \begin{vmatrix} 0 & D_{01}(t) & D_{02}(t) & D_{03}(t) & \dots & D_{0n}(t) \\ D_{10}(t) & 0 & D_{12}(t) & D_{13}(t) & \dots & D_{1n}(t) \\ D_{20}(t) & D_{21}(t) & 0 & D_{23}(t) & \dots & D_{2n}(t) \\ D_{30}(t) & D_{31}(t) & D_{32}(t) & 0 & \dots & D_{3n}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ D_{n0}(t) & D_{n1}(t) & D_{n2}(t) & D_{n3}(t) & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad (4.1)$$

СППР аналізує зміни дистанцій між власним судном та кожним судном-ціллю через інтервал часу $1 \div 3$ с. Якщо для відповідних елементів матриць, що характеризують поточну та минулу навігаційну ситуацію виконується умова $D_{ij}(t+1) - D_{ij}(t) > 0$, то таке судно розглядається СППР як безпечне, проте моніторинг дистанції до вказаного судна продовжується.

Основою розв'язання задачі розходження є прийняття принципового рішення щодо ефективного маневрування. Ефективним буде маневр, який призначений не тільки для вирішення завдання розходження, але і для того, щоб показати іншим суднам, які спостерігають ситуацію тільки з використанням радіолокатора в умовах обмеженої видимості, дії власного судна. Ефективним слід вважати відворот на кут $30^0 - 45^0$ або зменшення швидкості не менше ніж наполовину, до швидкості втрати керованості. Однак пріоритетом має, за інших рівних умов, маневр одвороту. Причиною є інерційність процесу пригальмовування, однак це не виключає, при необхідності, використання режиму активного гальмування.

Зміна відносного руху залежить від трьох чинників:

- відносного розташування інших суден щодо курсу власного судна – праворуч або ліворуч;
- величини курсового кута між лінією відносного руху і діаметральною площиною свого судна, курсового кута ЛВР – $\alpha < 90^0$, $\alpha = 90^0$, $\alpha > 90^0$;
- розташуванням ЛВР стосовно власного судна – перетинає курс по носі, проходить через нас або перетинає лінію курсу по кормі.

Зміна ЛВР та очікуваної лінії відносного руху (ОЛВР) представлені на рис.

4.2. Судно А розташоване зліва, курсовий кут ЛВР $\alpha < 90^\circ$, ЛВР перетинає лінію курсу по кормі.

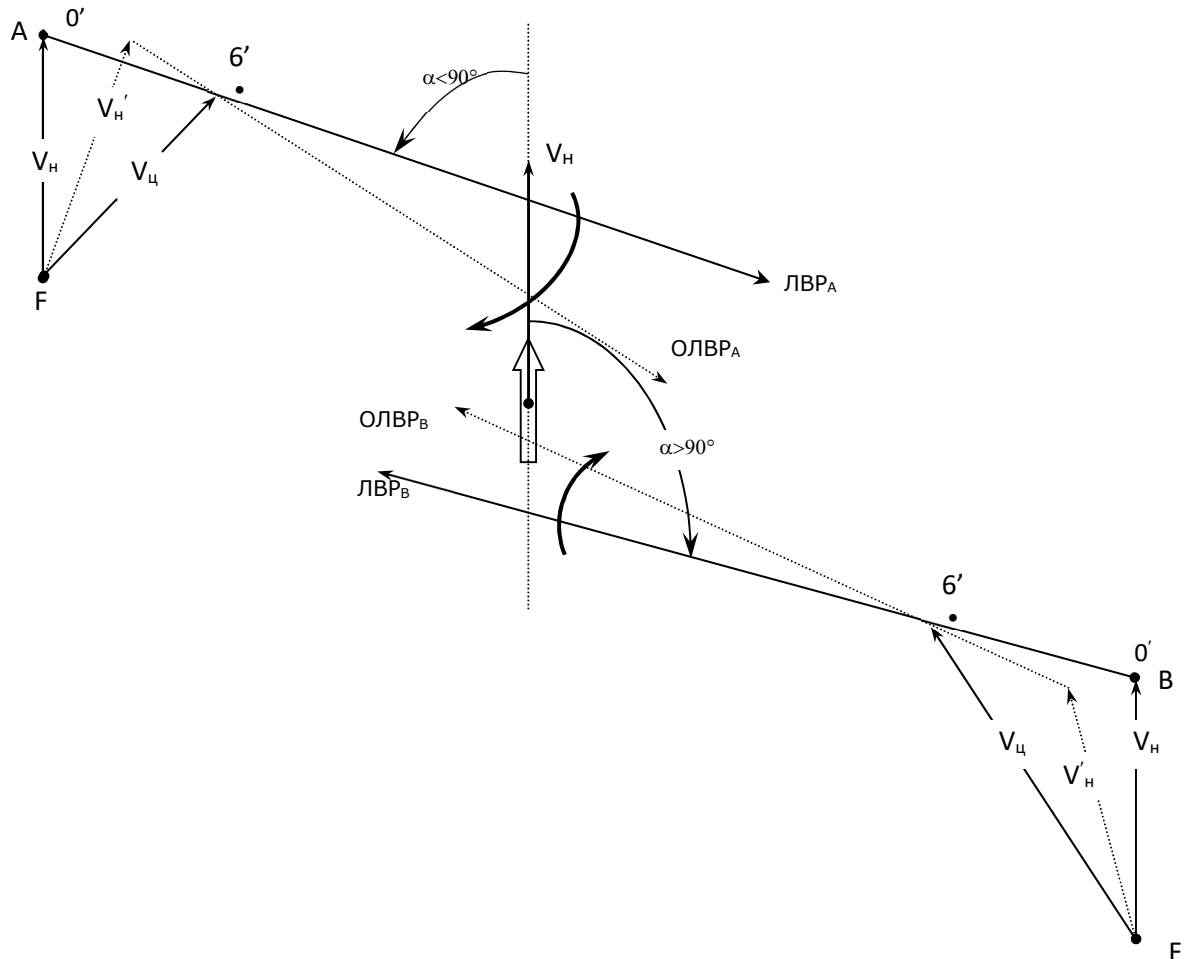


Рисунок 4.2 – Закономірності відносного руху суден [188]

Зміна відносного руху характеризується двома параметрами:

- напрямком розвороту очікуваної лінії відносного переміщення щодо первісної ЛВР – за годинниковою стрілкою або проти годинникової стрілки;
- зміною розташування ОЛВР по відношенню до власного судна – віддаляється від нас або наближається до нас.

З метою уникнення зіткнення суден СППР судноводія формує маневр розходження таким чином, щоб ОЛВР віддалялась від власного судна.

4.2. Підтримка прийняття рішень судноводія при надмірному, небезпечному та критичному зближенню суден

Важливою функцією СППР є підтримка прийняття рішень судноводія при надмірному, небезпечному та аварійному зближенню суден і вибору маневру власного судна у таких випадках. Для вирішення зазначеної задачі було розроблено розрахункові схеми, процедури й алгоритми, які містять вперше запропоновані способи і методики функціонування системи управління судном і контролю над процесом переміщення та зближення, включаючи оцінку надмірного і небезпечного зближення, а також вибір маневру для запобігання аварійній ситуації на підставі даних АІС. З метою оцінки безпеки навігаційної ситуації та прийняття рішень з вибору маневру було взято до уваги два твердження, які є очевидними та не потребують доказів [188].

1. Якщо для суден цілей виконується умова $(d\P/dt)=0$, $(dD/dt)<0$, (курс не змінюється, дистанція зменшується) то існує ймовірність зіткнення і вказані цілі є небезпечними.

2. Оптимальним курсом відвороту для запобігання зіткнення є паралельний або контркурс небезпечного судна.

Збільшення або зменшення швидкості і відворот його від власного судна покращують ситуацію зближення, а відворот у свою сторону малоімовірний, але його можна передбачити і врахувати введенням навігаційного запасу.

Для отримання аналітичних залежностей і обліку маневрових характеристик судна при виконанні маневру розходження в момент зближення, необхідно визначити, на якій відстані необхідно починати змінювати параметри руху і коли саме настає час маневру останнього моменту, при якому ще можна запобігти зіткнення.

При контролі процесу руху береговими системами вихідними даними є три джерела отримання даних:

1. Високоточні координати місця прийомної антени берегової радіолокаційної системи (БРЛС) або автоматизованої інформаційної системи

(AIC), визначені геодезичними способами, у вигляді широти і довготи φ_0, λ_0 ;

2. Пеленги та відстані до спостережуваних суден, виміряні за допомогою БРЛС, $P_{01}, D_{01}; P_{02}, D_{02}; \dots; P_{0i}, D_{0i}; \dots; P_{0n}, D_{0n}$, де n – число суден в зоні відповідальності;

3. Координати суден, які спостерігаються, отримані з використанням АІС, $\varphi_1, \lambda_1; \varphi_2, \lambda_2; \dots; \varphi_i, \lambda_i; \dots; \varphi_n, \lambda_n$, де n – число суден в зоні відповідальності БРЛС.

При контролі процесу руху судновими навігаційними пристроями вихідними даними будуть три джерела отримання даних [188]:

1. Координати місця прийомної антени власного судна, виміряні супутниковими системами в звичайному режимі, або, високоточні – у диференціальному режимі: φ_1, λ_1 .

2. Пеленги і відстані від власного судна до суден, які спостерігаються, виміряні за допомогою РЛС, $P_{12}, D_{12}; P_{13}, D_{13}; \dots; P_{1i}, D_{1i}; \dots; P_{1n}, D_{1n}$, де n – число суден на екрані РЛС.

3. Координати суден, які спостерігаються, отримані з використанням АІС: $\varphi_1, \lambda_1; \varphi_2, \lambda_2; \dots; \varphi_i, \lambda_i; \dots; \varphi_n, \lambda_n$, де n – число суден, які спостерігаються на екрані РЛС.

Алгоритм вибору виду маневру полягає у розрахунку відстані між суднами і часу настання ситуації останнього моменту з урахуванням геометрії зближення, параметрів руху цілей і власного судна, його маневрених характеристик і цілей для всіх альтернатив виконання і тієї, яка настає останньою. Момент надмірного зближення вважатимемо, коли спочатку у розпорядженні судноводія є три можливості запобігти зіткненню: гальмування заднім повним ходом; перекладанням керма вліво або вправо на борт. При цьому будемо вважати «маневром останнього моменту» той, який настане останнім.

Для подальшого викладення розглянемо алгоритми обробки інформації навігаційними пристроями, для оцінки надмірного, небезпечного або аварійного зближення власного судна з іншими, а також спостережуваних цілей на екрані РЛС між собою. Для обробки інформації сформуємо три матриці. Матрицю-

тензор пеленгів і дистанцій між суднами, що спостерігаються $M_{ПД}$, матрицю координат суден, що спостерігаються з використанням АІС $M_{ДАІС}$ і матрицю відстаней $M_{Д}$ між ними.

$$M_{ПД} = \begin{bmatrix} 0 & [P_{12}, D_{12}] & [P_{12}, D_{12}] & \dots & [P_{1n}, D_{1n}] \\ [P_{21}, D_{21}] & 0 & [P_{23}, D_{23}] & \dots & [P_{2n}, D_{2n}] \\ [P_{31}, D_{31}] & [P_{32}, D_{32}] & 0 & \dots & [P_{3n}, D_{3n}] \\ \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ [P_{n1}, D_{n1}] & [P_{n2}, D_{n2}] & [P_{n3}, D_{n3}] & \dots & 0 \end{bmatrix}. \quad (4.2)$$

$$M_{Д} = \begin{bmatrix} 0 & D_{12} & D_{13} \dots & D_{1n} \\ D_{21} & 0 & D_{23} \dots & D_{2n} \\ D_{31} & D_{32} & 0 & \dots & D_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{n1} & D_{n2} & D_{n3} \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad M_{АІС} = \begin{bmatrix} [\phi_1, \lambda_1] & [\phi_2, \lambda_2] & [\phi_3, \lambda_3] \dots & [\phi_n, \lambda_n] \end{bmatrix}. \quad (4.3)$$

Подальшу обробку навігаційної інформації проводимо відповідно до створеної процедури класифікацій навігаційних ситуацій, (рис. 3.3), яка передбачає послідовне виконання наступних дій [188]:

1. Переведення полярних координат матриці $M_{ПД_{РЛС}}$ в прямокутні географічні $\phi_{2_{РЛС}}, \lambda_{2_{РЛС}}; \dots; \phi_{i_{РЛС}}, \lambda_{i_{РЛС}}; \dots; \phi_{n_{РЛС}}, \lambda_{n_{РЛС}}$.

2. Розрахунок матриці відстаней $M_{Д_{РЛС}}$ за географічними координатами в режимі реального часу.

3. Попарне порівняння елементів матриці відстаней на поточний і попередній момент часу $M_{Д_{РЛС}}(t+1) - M_{Д_{РЛС}}(t) > 0$, і якщо судна віддаляються від власного судна, то вони виключаються з подальшої обробки, проте спостереження за всіма відмітками триває. Якщо ситуація зміниться, то вони будуть знов враховані при обробці. Такий алгоритм роботи з навігаційною інформацією дозволяє зменшити завантаження СППР та виключити відволікання судноводія від аналізу інформації про розходження інших суден між собою. Вона становить інтерес для берегової навігаційної системи, що здійснює контроль над безпекою судноплавства у зоні відповідальності.

4. Проводимо розрахунок точності визначення відносного курсу P і кута курсу q і обираємо більш точні вихідні дані для обробки. Проводимо класифікацію ситуації зближення за величинами параметрів зближення –

відносного курсу P та курсового кута q . Таких ситуацій зближення буде 10 для суден ліворуч і праворуч, а загальна кількість розрахункових схем - 30.

Залежності для оцінки відстані в момент початку маневрування будуть мати вигляд:

$$D_{\text{пмт}} = H_{\text{т}} M \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (4.4)$$

$$D_{\text{пмп}} = H_{\text{п}} M \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (4.5)$$

$$D_{\text{пмл}} = H_{\text{л}} M \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (4.6)$$

Де: $H_{\text{т}}M$ – відстань, яку пройде власне судно від моменту подання команди на задній хід до повної зупинки;

$H_{\text{п}}M$ – відстань, яку пройде власне судно, від моменту подання команди «право на борт» до моменту розбіжності;

$H_{\text{л}}M$ – відстань яку пройде власне судно від моменту подачі команди «ліво на борт» до моменту розбіжності.

З урахуванням залежностей (4.4) - (4.6) момент часу, коли необхідно виконувати маневр останнього моменту гальмуванням, визначається за формулою [188]:

$$T_{\text{пмт}} = (D_{\text{н}} - D_{\text{пмт}}) / V_0 \cdot R. \quad (4.7)$$

де $D_{\text{н}}$ – відстань до іншого судна в момент початку розрахунків,

R – усталене значення радіусу циркуляції судна.

Час настання маневру останнього моменту відворотом вліво:

$$T_{\text{пмл}} = (D_{\text{н}} - D_{\text{пмл}}) / V_0 \cdot R. \quad (4.8)$$

Час настання маневру останнього моменту відворотом вправо:

$$T_{\text{пмп}} = (D_{\text{н}} - D_{\text{пмп}}) / V_0 \cdot R. \quad (4.9)$$

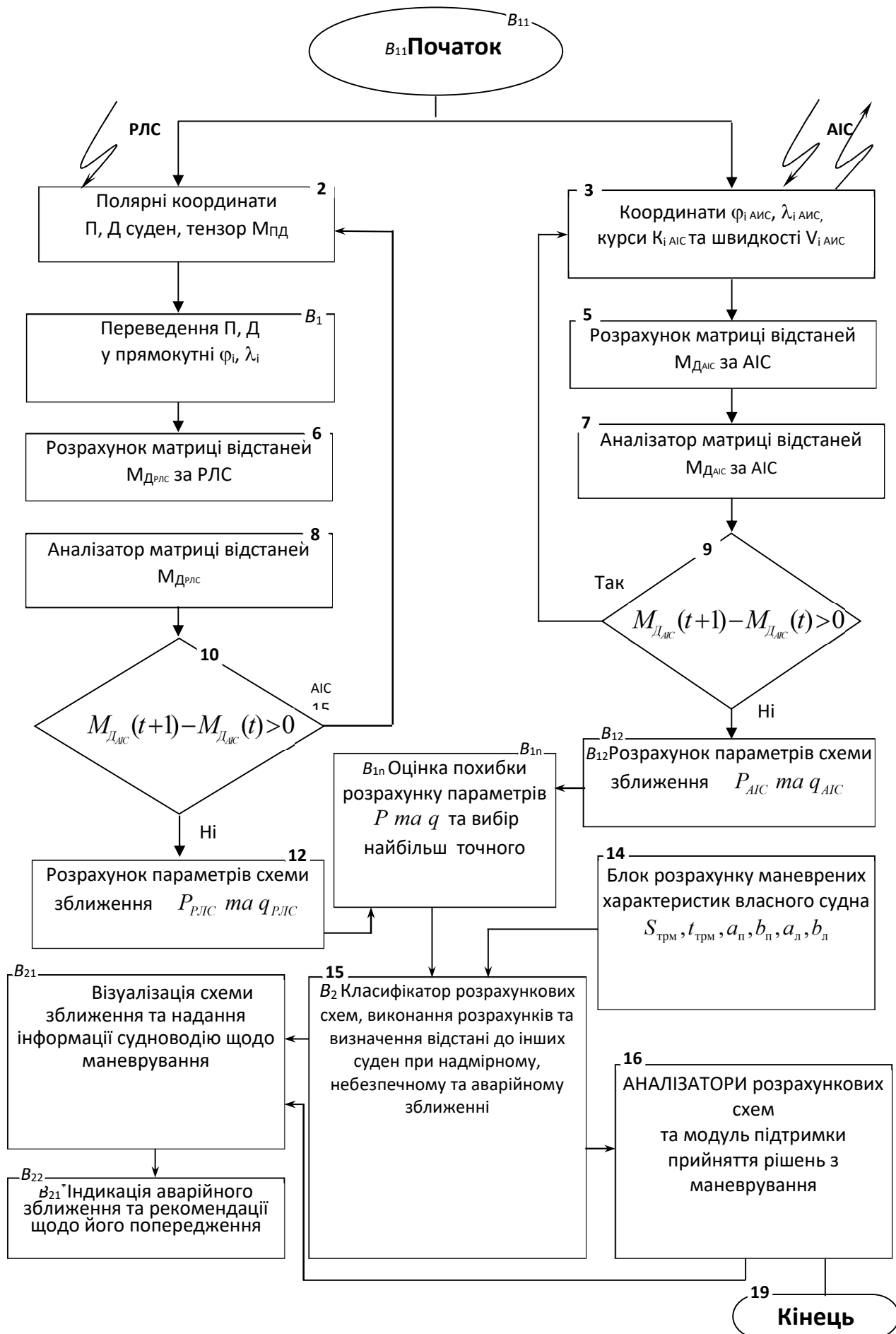


Рисунок 4.3 – Процедура класифікації навігаційних ситуацій [188,219]

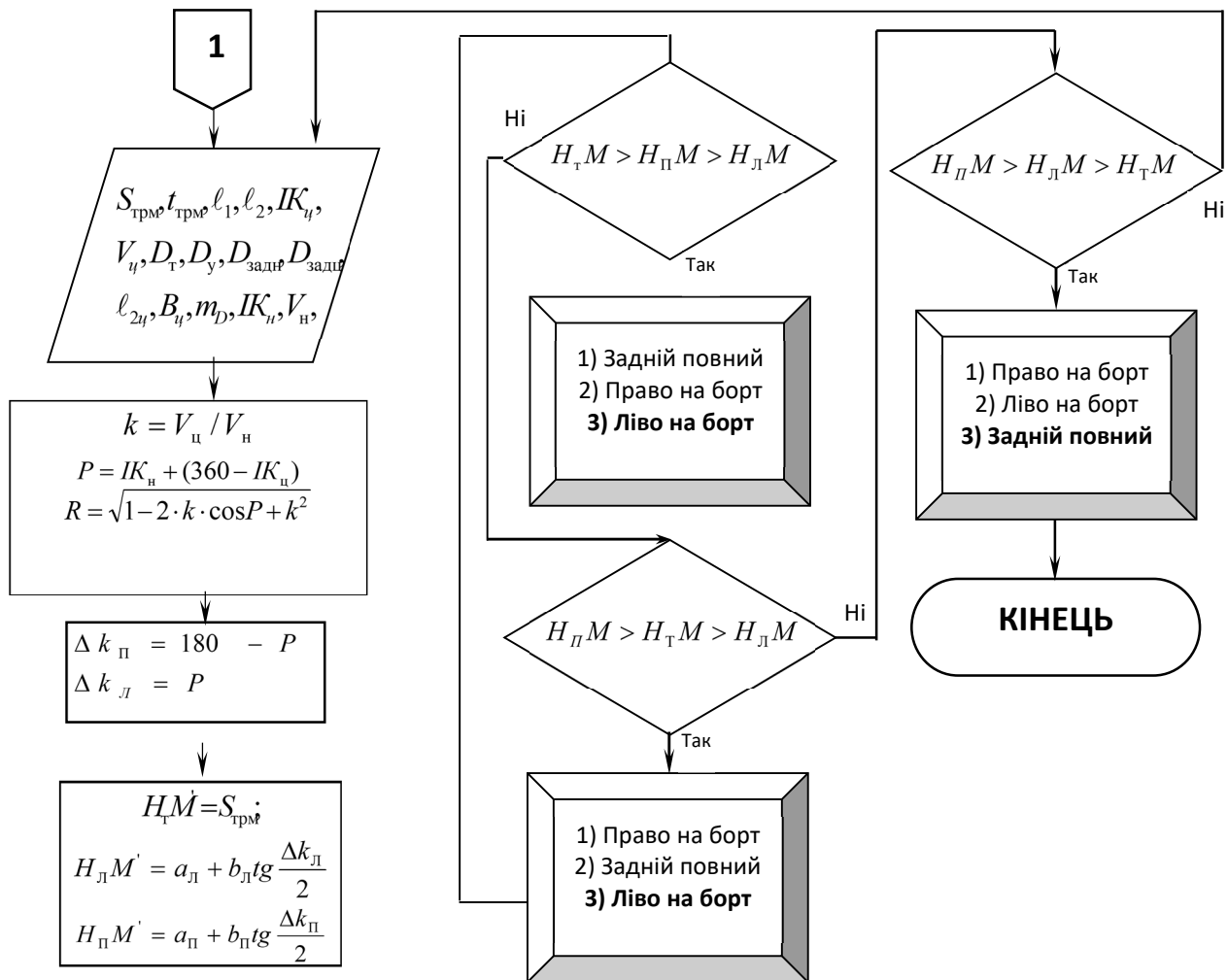


Рисунок 4.5 – Блок-схема аналізатора 1 для судна праворуч [188,219]

Науково-методологічні основи підготовки інформації для команди містка про критичні й аварійні ситуації і представлення її у вигляді знання, яке дозволяє завчасно прийняти рішення для його попередження визначено модельним курсом ІМО 1.22 «Судновий тренажер і робота в колективі містка» [95]. Однак зазначений модельний курс не містить алгоритмів і програм організації містка при виникненні аварійної ситуації. Крім того, у ньому не міститься обґрунтування ефективних способів формування стійкої навички оператора судна.

Розрахункові схеми і алгоритми підтримки прийняття рішень судноводія при виборі маневру судна наведені на рис. 4.6 – 4.23, (аналізатори 2–10).

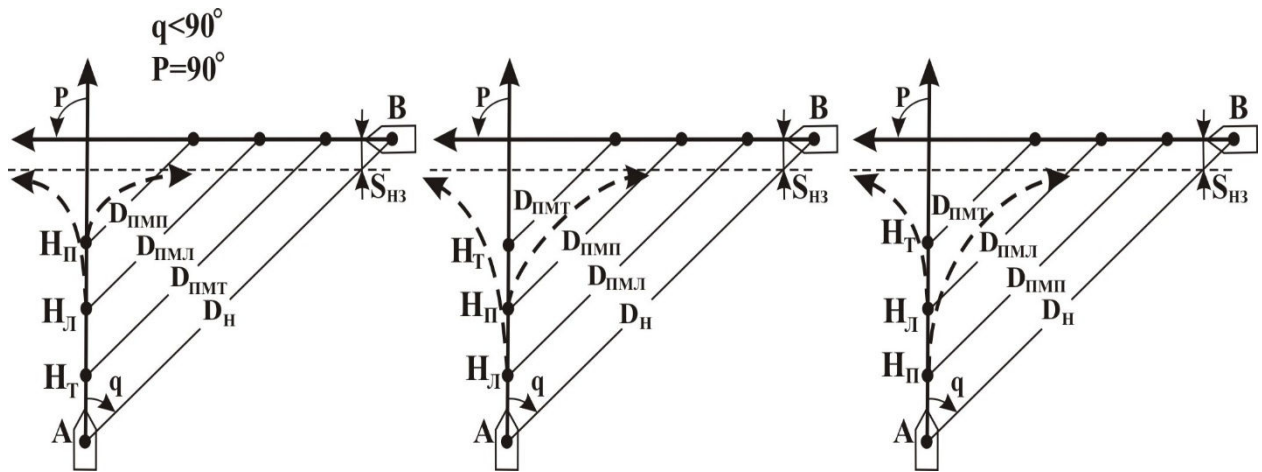


Рисунок 4.6 – Розрахункова схема аналізатора 2, для послідовності настання маневрів: а) ЗП – ліво на борт – право на борт; б) право на борт – ЗП – ліво на борт; в) право на борт – ліво на борт – ЗП [188,219]

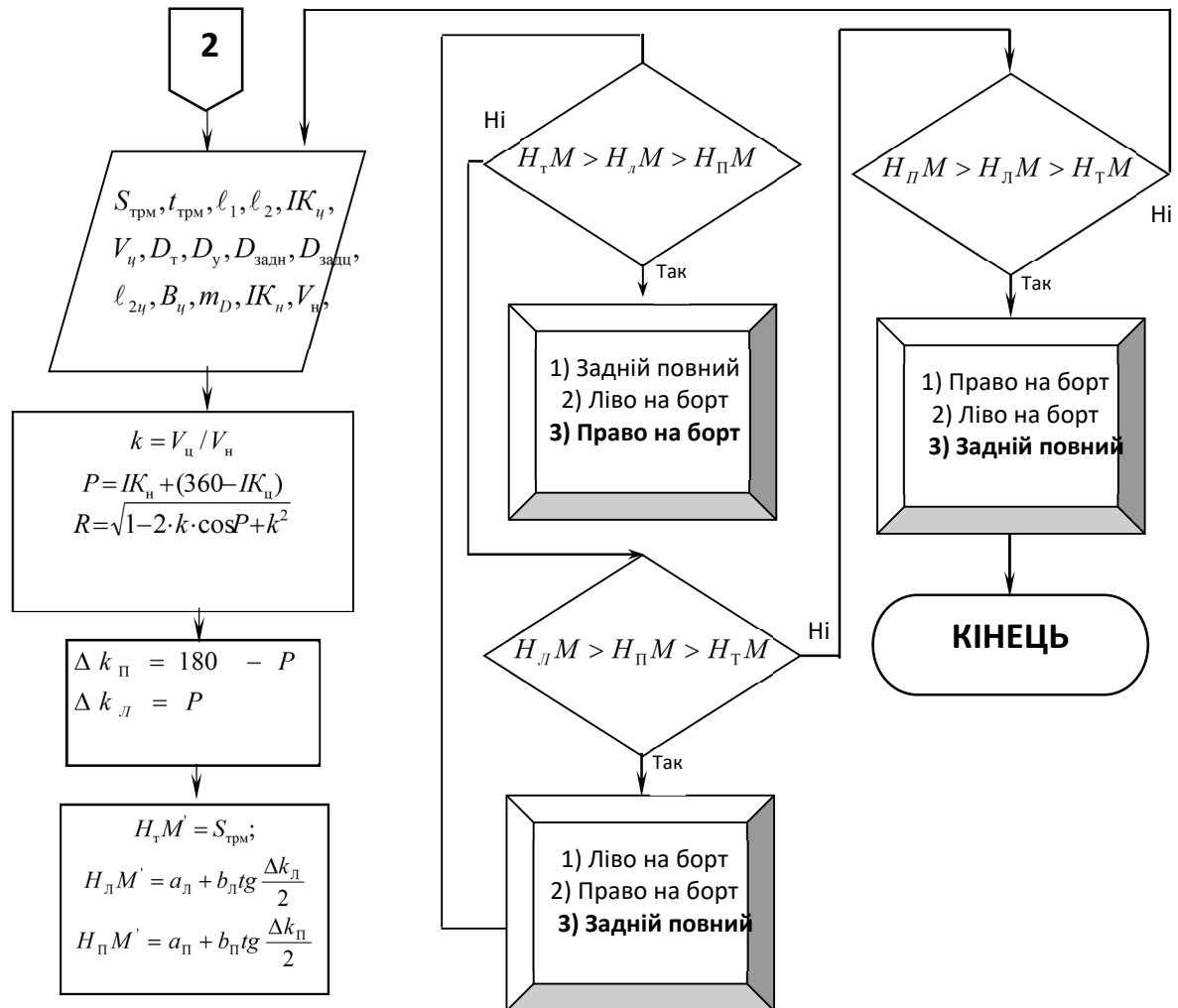


Рисунок 4.7 – Блок-схема аналізатора 2 [188,219]

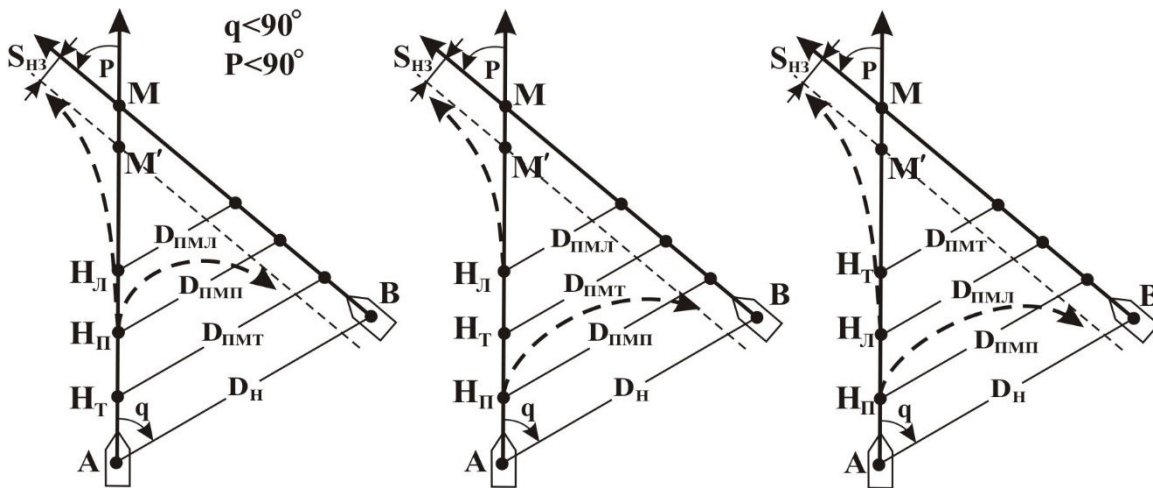


Рисунок 4.8 – Розрахункова схема аналізатора 3, для послідовності настання маневрів: а) 3П – право на борт – ліво на борт; б) право на борт – 3П – ліво на борт; в) право на борт – ліво на борт – 3П, [188,219]

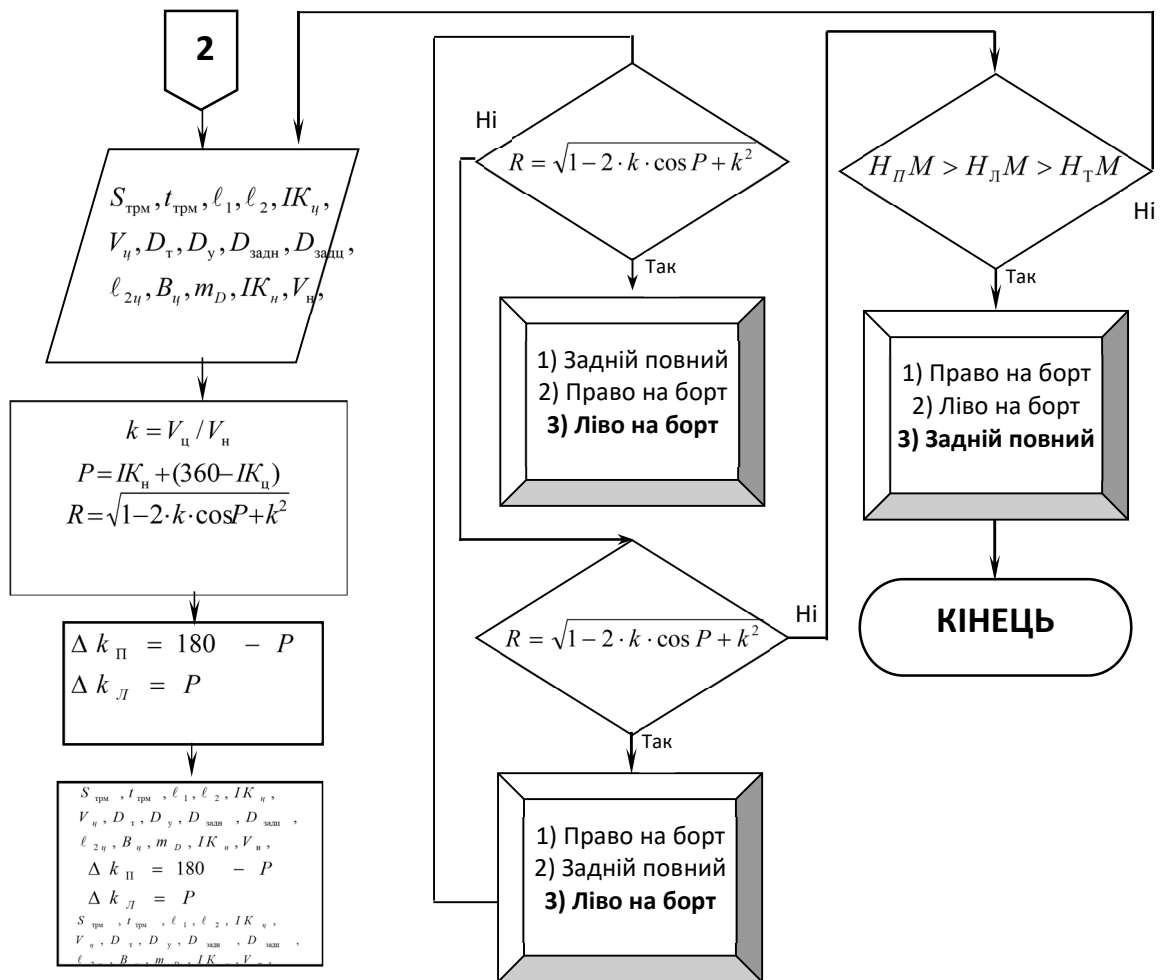


Рисунок 4.9 – Блок-схема аналізатора 3 [188,219]

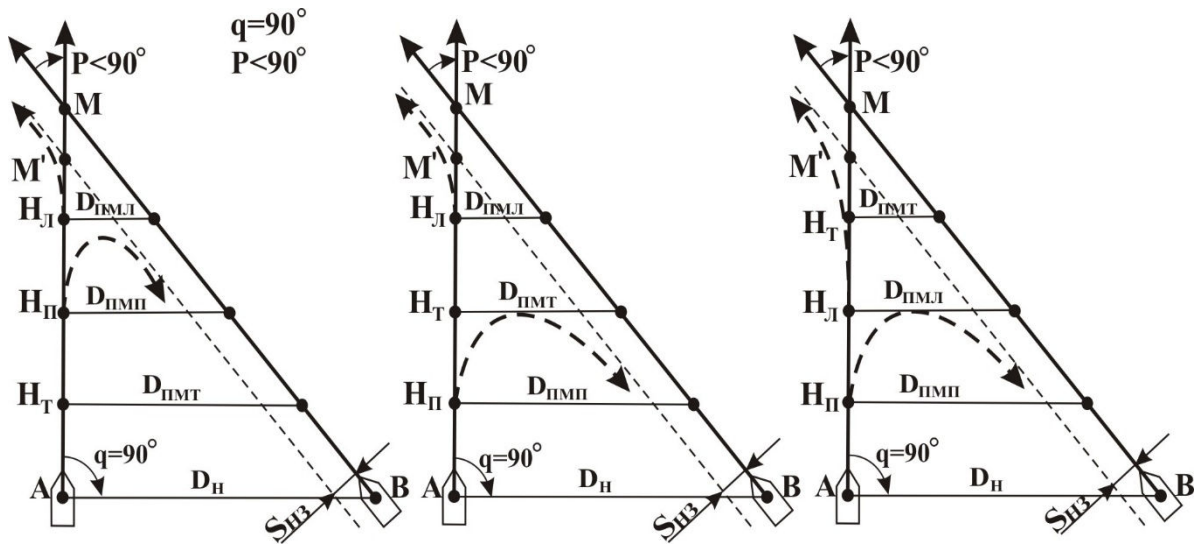


Рисунок 4.10. – Розрахункова схема аналізатора 4, для послідовності настання маневрів: а) 3П – право на борт – ліво на борт; б) право на борт – 3П – ліво на борт; в) право на борт – ліво на борт – 3П [188,219]

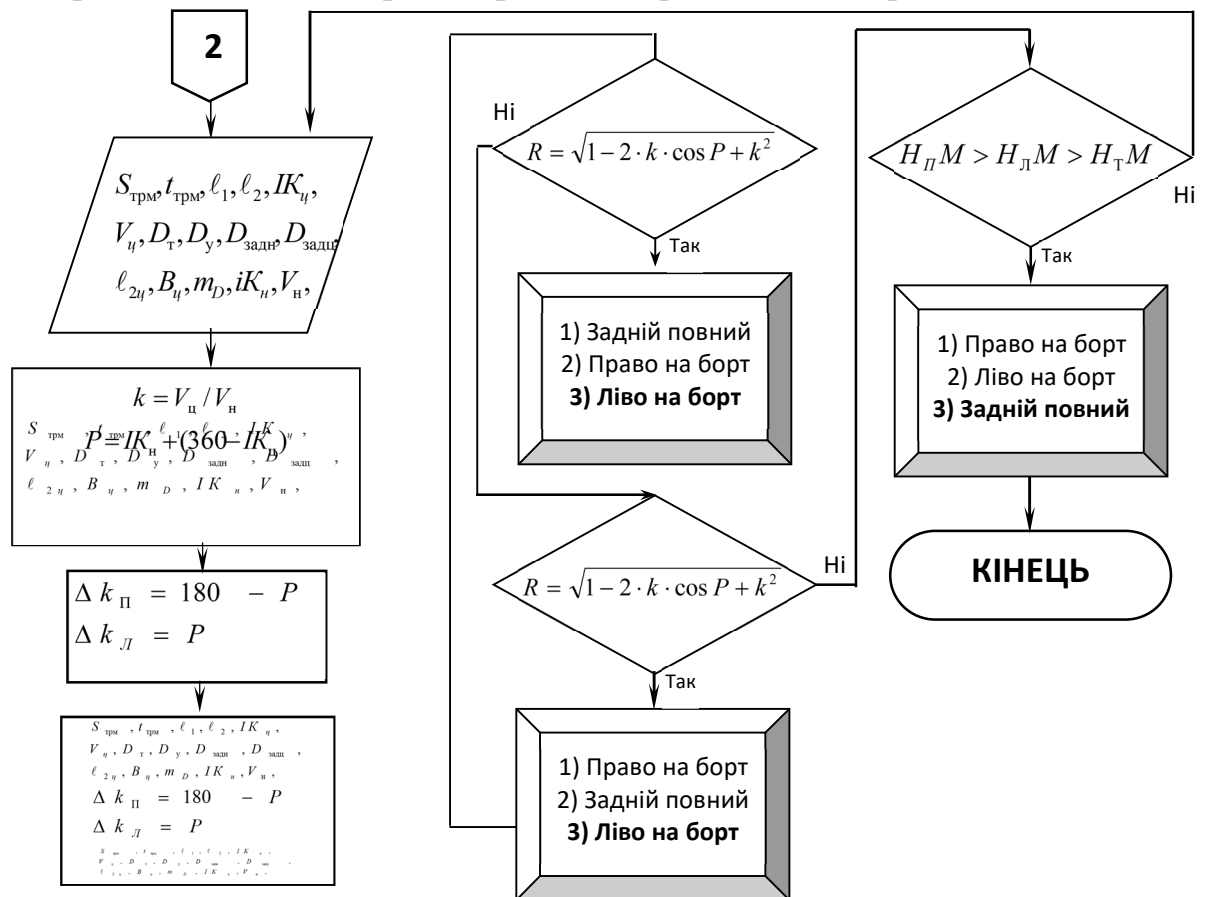


Рисунок 4.11 – Блок-схема аналізатора 4 [188,219]

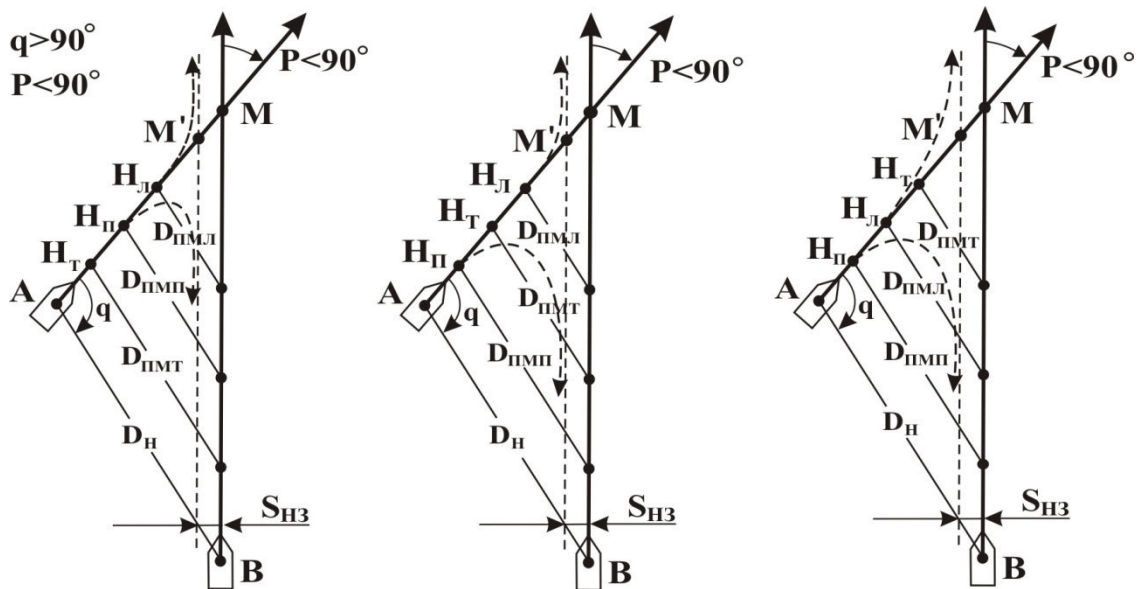


Рисунок 4.12 – Розрахункова схема аналізатора 5, для послідовності настання маневрів: а) ЗП – право на борт – ліво на борт; б) право на борт – ЗП – ліво на борт; в) право на борт – ліво на борт – ЗП [188,219]

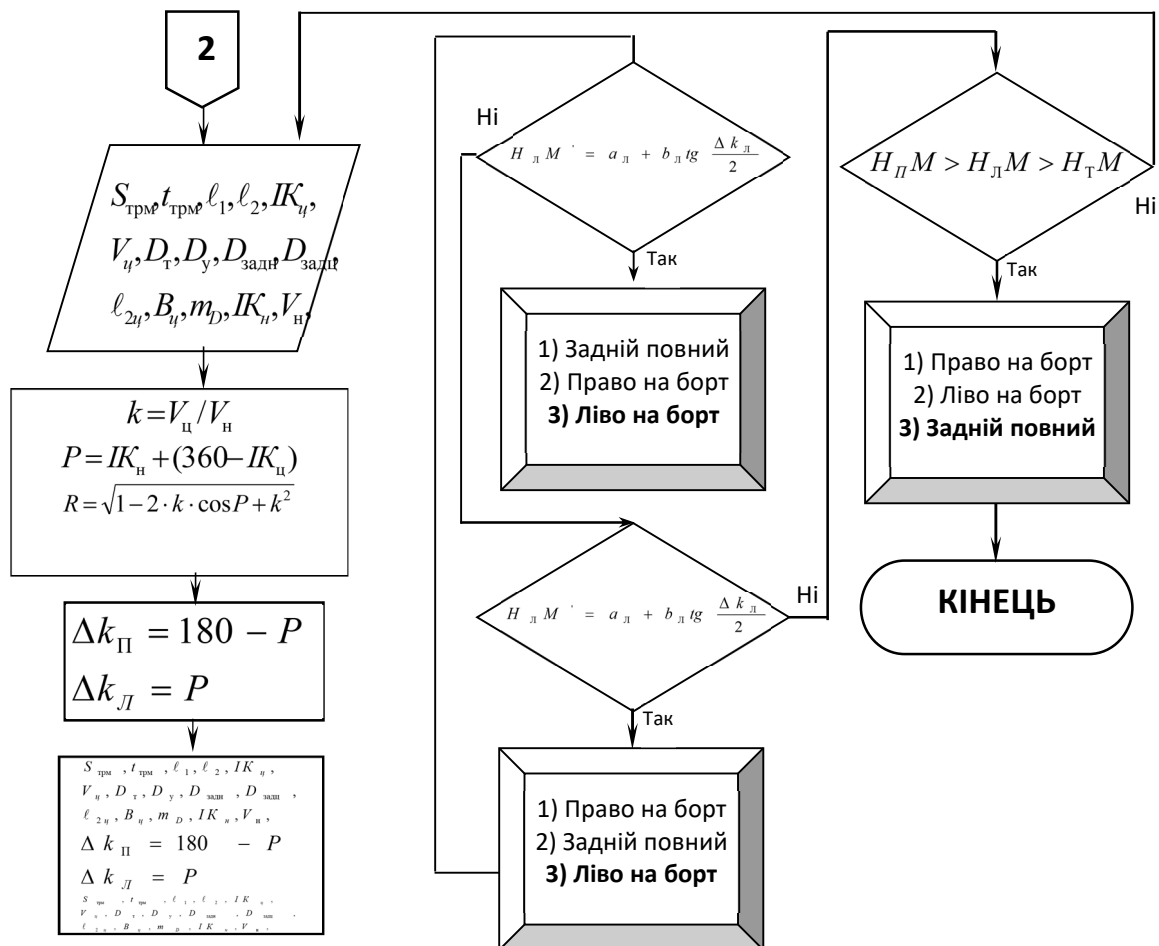


Рисунок 4.13 – Блок-схема аналізатора 5 [188,219]

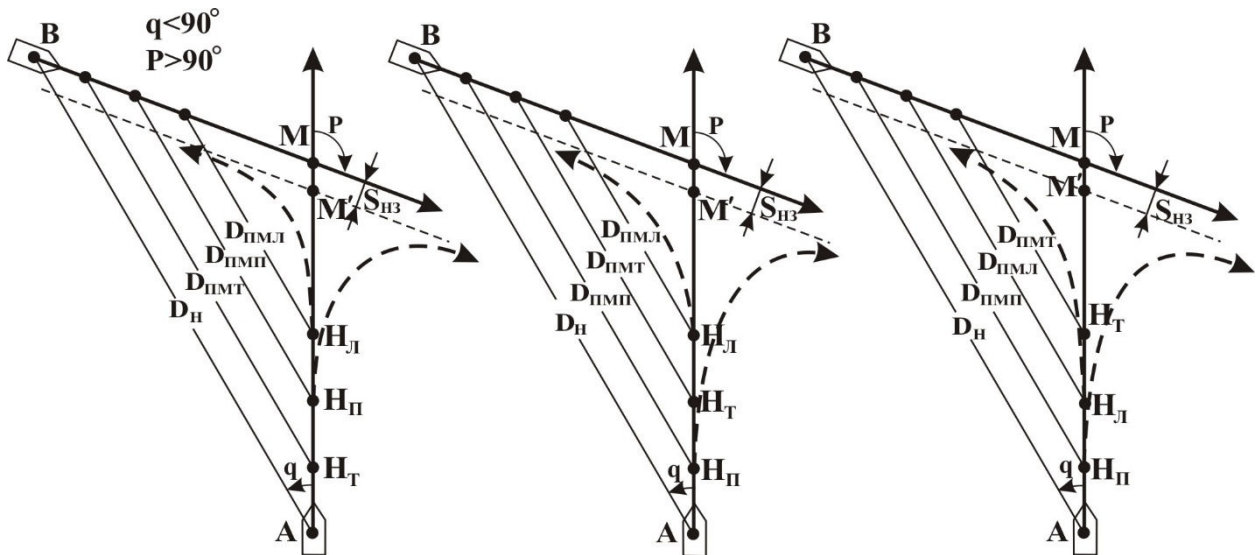


Рисунок 4.14 – Розрахункова схема аналізатора 6 для послідовності настання маневрів: а) ЗП – право на борт – ліво на борт; б) право на борт – ЗП – ліво на борт; в) право на борт – ліво на борт – ЗП [188,219]

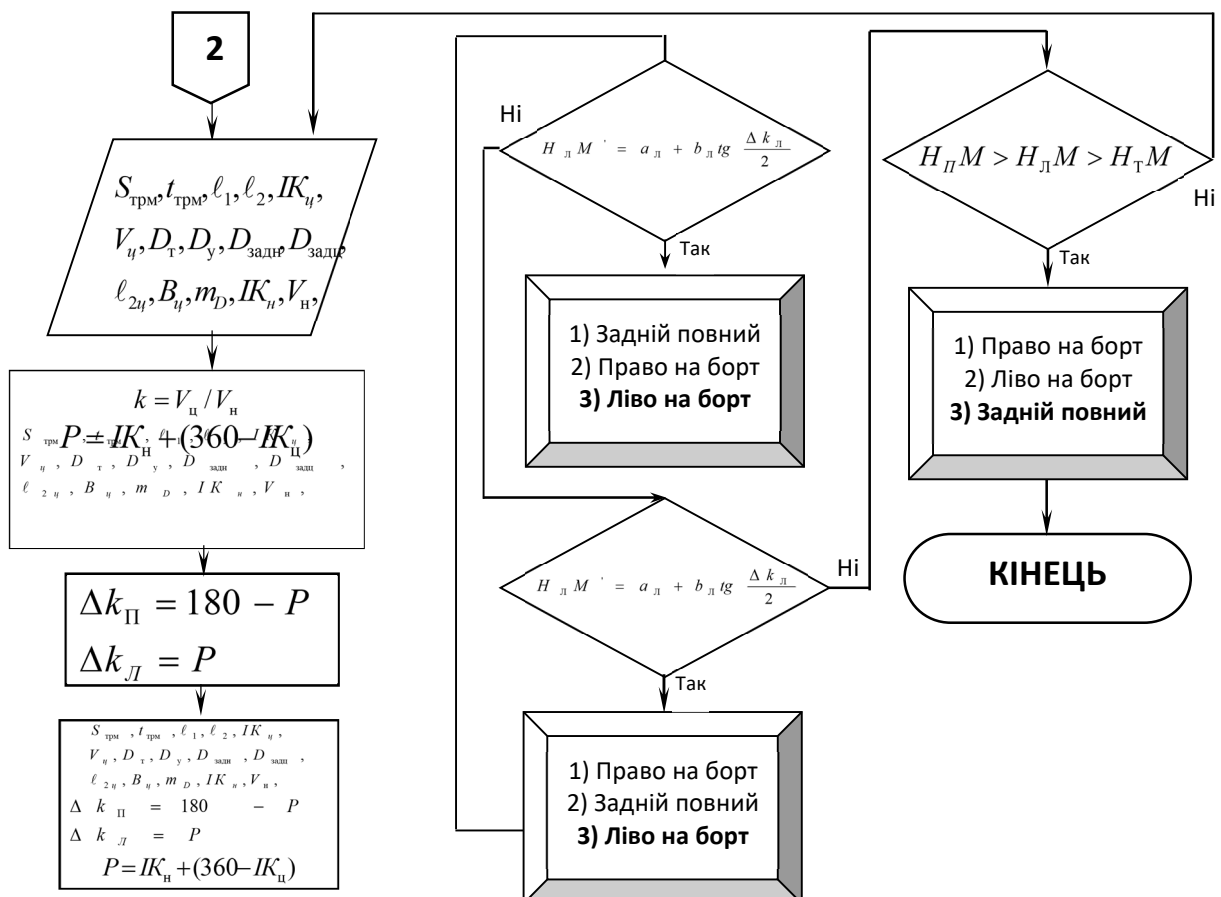


Рисунок 4.15 – Блок-схема аналізатора 6 [188,219]

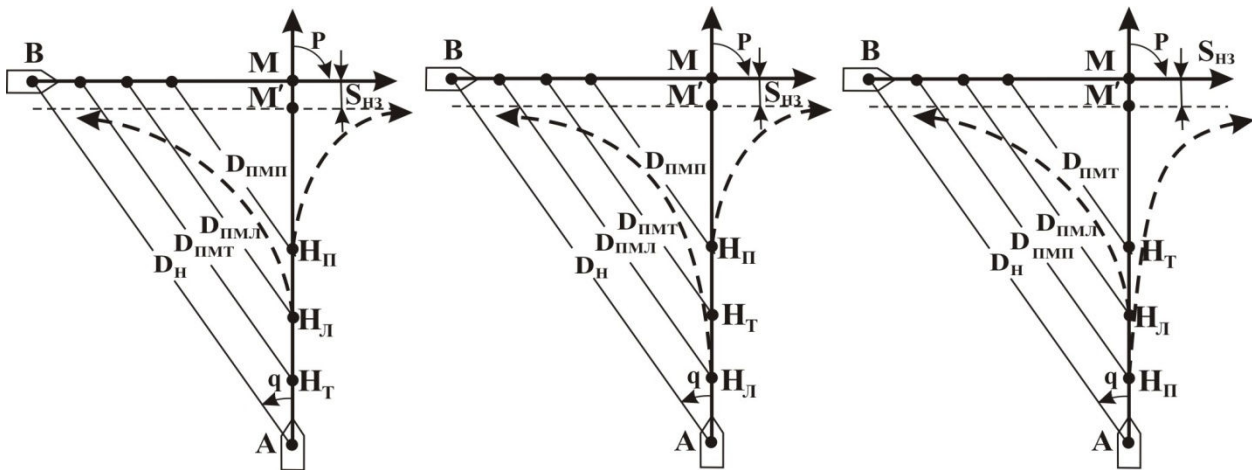


Рисунок 4.16 – Розрахункова схема аналізатора 7 для послідовності настання маневрів: а) ЗП – ліво на борт – право на борт; б) ліво на борт – ЗП – право на борт; в) право на борт – ліво на борт – ЗП [188,219]

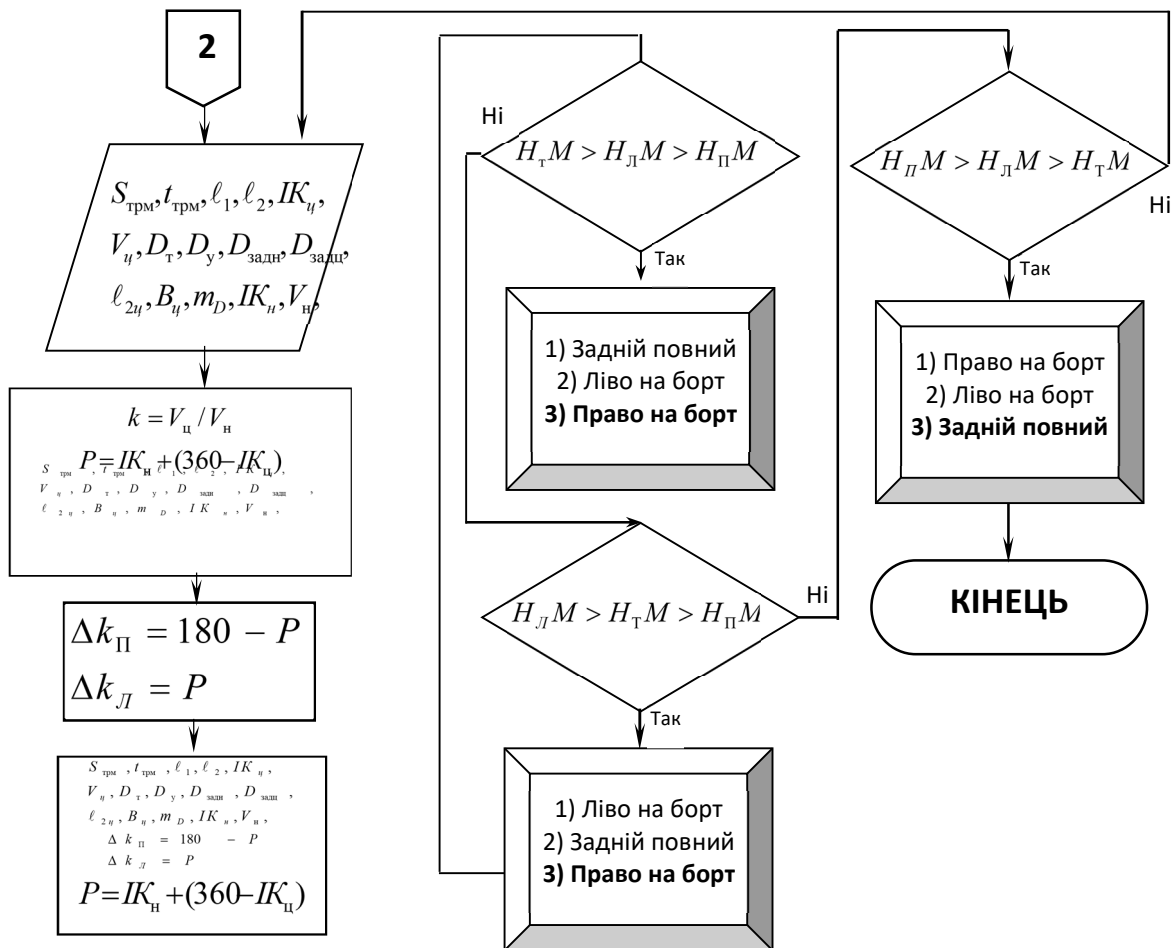


Рисунок 4.17. – Блок-схема аналізатора 7, [188,219]

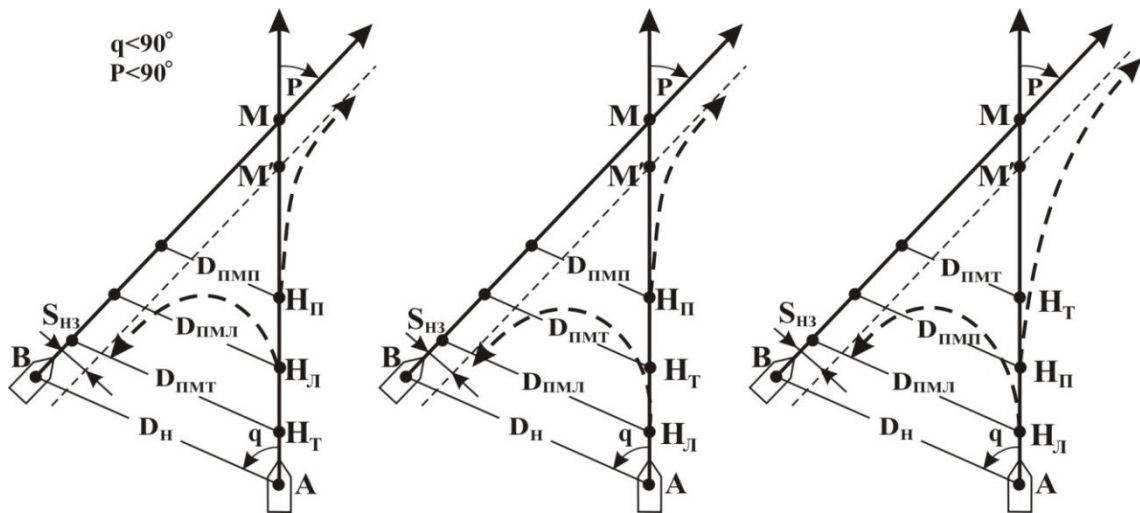


Рисунок 4.18 – Розрахункова схема аналізатора 8, для послідовності настання маневрів: а) 3П – ліво на борт – право на борт; б) ліво на борт – 3П – право на борт; в) ліво на борт – право на борт – 3П [188,219]

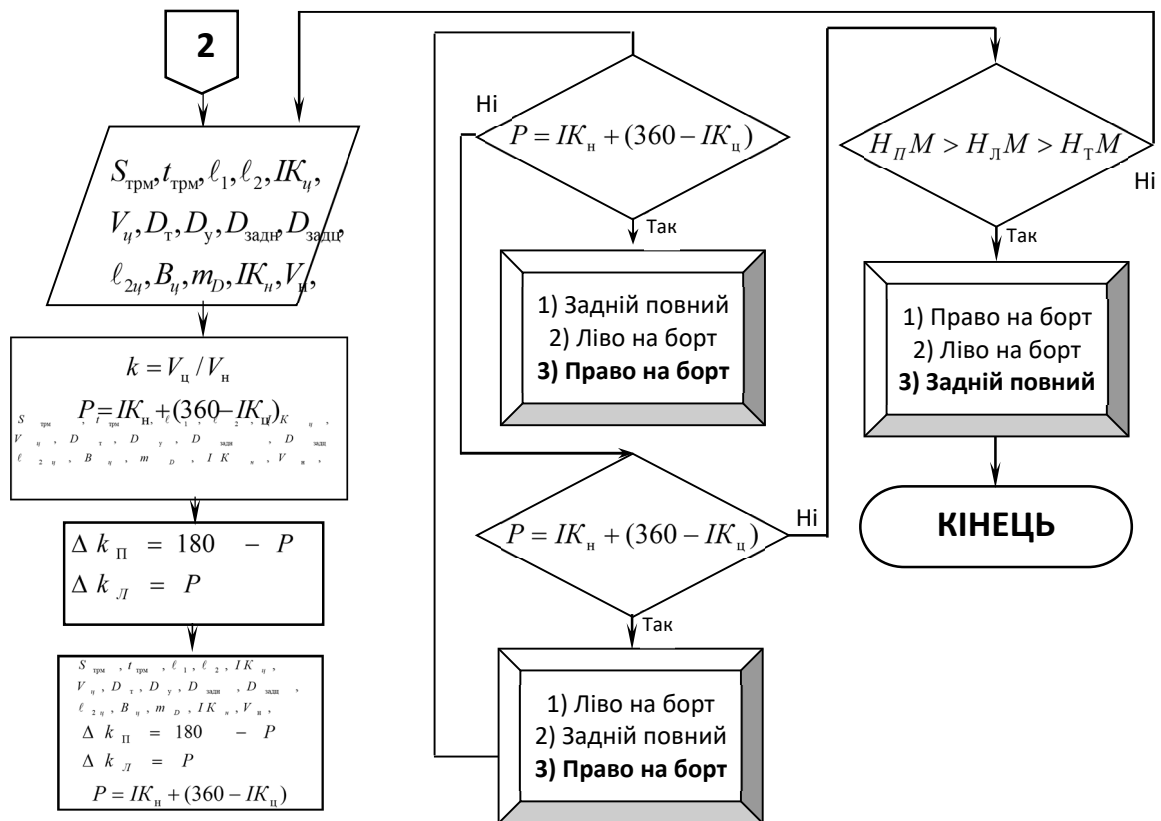


Рисунок 4.19 – Блок-схема аналізатора 8 [188, 219]

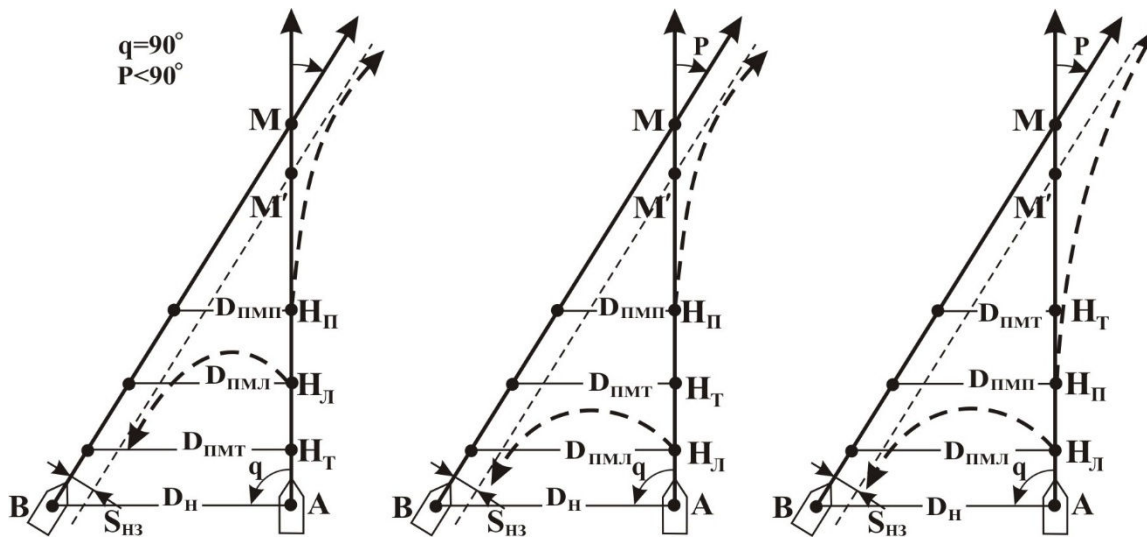


Рисунок 4.20 – Розрахункова схема аналізатора 9 для послідовності настання маневрів: а) 3П – ліво на борт – право на борт; б) ліво на борт – 3П – право на борт; в) ліво на борт – право на борт – 3П [188,219]

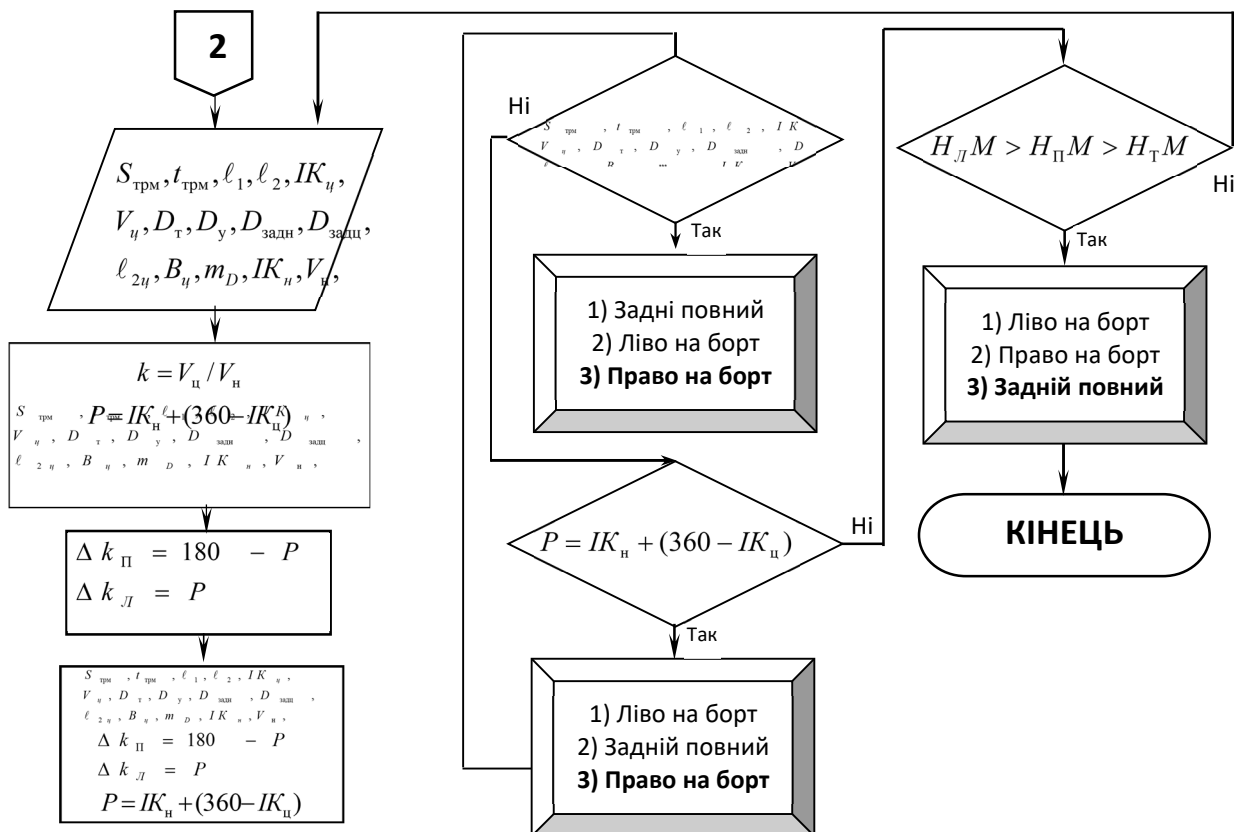


Рисунок 4.21 – Блок-схема аналізатора 9 [188, 219]

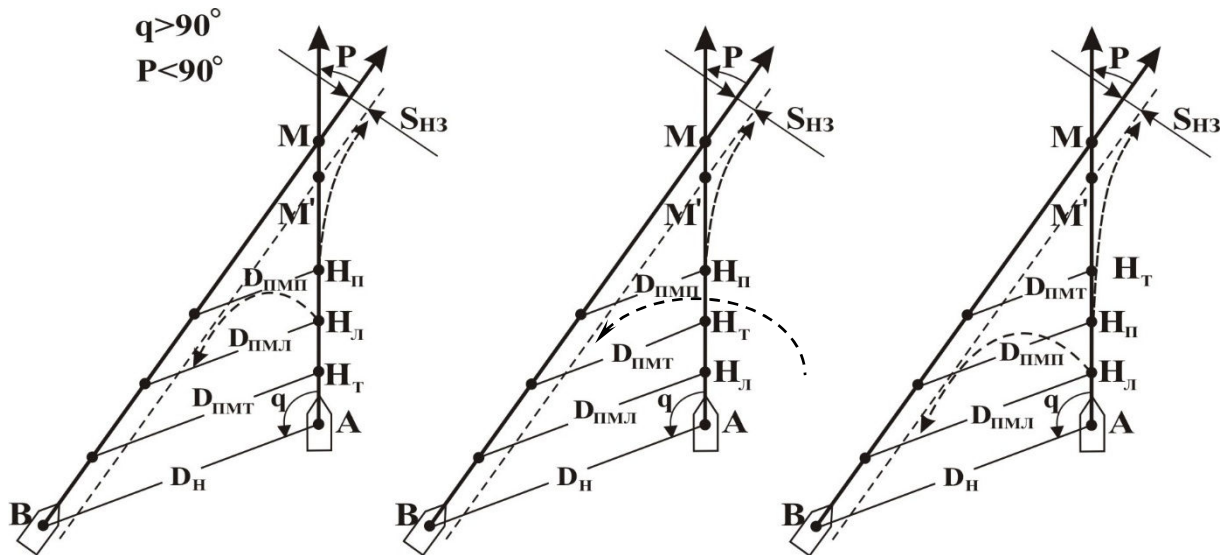


Рисунок 4.22 – Розрахункова схема аналізатора 10 для послідовності настання маневрів: а) ЗП – ліво на борт – право на борт; б) ліво на борт – ЗП – право на борт; в) ліво на борт – право на борт – ЗП, [188,219]

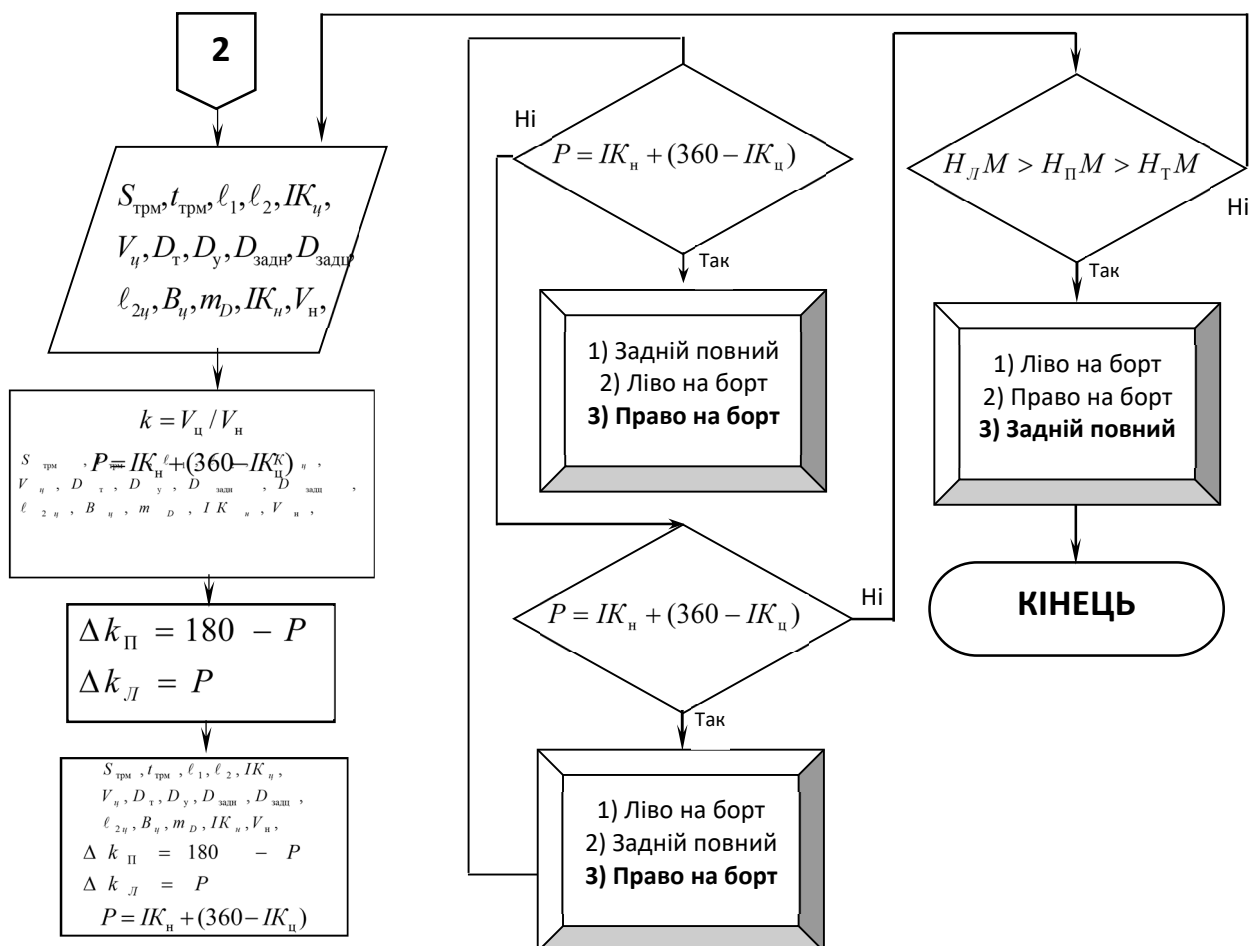


Рисунок 4.23 – Блок-схема аналізатора 10, [188,219]

Обчислення за кожною розрахунковою схемою для заданої ситуації зближення закінчуються візуалізацією часу і дистанції до небезпечного судна в момент надмірного, небезпечного і аварійного зближення. При цьому інформація про аварійне зближення є передісторією аварійної ситуації.

Аналізатор визначає розрахункову схему зближення, формує її візуалізацію і виконує розрахунок відстані до небезпечного судна і часу віддачі відповідної команди з управління власним судном для запобігання аварійного зближення.

При цьому завжди першою настає ситуація надмірного зближення, коли у розпорядженні судноводія є ще дві альтернативи запобігти зіткненню. Наступною настає ситуація небезпечного зближення, коли у розпорядженні судноводія є ще один маневр. При настанні третьої – останньої можливості запобігти зіткненню, настає ситуація аварійного зближення, в модулі візуалізації СППР судноводія видається рекомендація про вид маневру і спрацьовує звукова сигналізація. Якщо судноводій пропустив зазначений момент, то необхідно виконувати маневр останнього моменту і дати машині команду працювати заднім повним ходом, для зменшення пошкоджень при зіткненні.

Запропонована методологія прийняття рішень з управління рухом судна відрізняється від існуючих [82,185] тим, що містить спосіб визначення меж надмірним, небезпечним або аварійним зближенням суден в СППР судноводія та забезпечує вибір режимів розходження суден залежно від навігаційної ситуації, що склалася [188].

4.3. Підтримка прийняття рішень при маневруванні суден

4.3.1. Характерні точки судна і їх вплив на процес маневрування

При русі судна в умовах обмеженого простору для визначення місця використовуються берегові і плавучі засоби навігаційного обладнання та візуальні методи навігації. Технічні засоби майже не застосовуються, що знижує

точність визначення положення судна. Особливого значення при маневруванні набуває врахування характерних точок судна, які впливають на здатність судноводія здійснювати управління його рухом [188,220,230], (рис. 4.24).

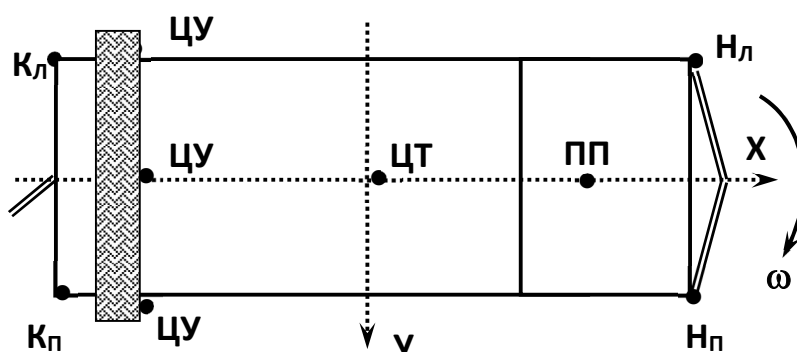


Рисунок 4.24 – Характерні точки судна та їх вплив на процес маневрування

Серед характерних точок судна, положення яких слід враховувати під час здійснення маневрування, слід зазначити наступні [188].

1. Центр управління (ЦУ) – точка на містку судна, де знаходиться судноводій, який оцінює стан судна щодо поточної навігаційної ситуації. Особливість вказаної точки полягає в тому, що при повороті судноводієві здається, що обертання відбувається навколо нього, у той час, коли воно відбувається навколо полюса повороту. Це відчуття призводить до невірної оцінки місця щодо наявної навігаційної обстановки, що створює передумови для виникнення аварійної ситуації [168].

2. Полюс повороту (ПП) – точка на лінії діаметральної площині в межах судна або за його межами, навколо якої відбувається обертання корпусу. Вона має визначальне значення для оцінки ширини смуги, що займає судно. Її положення визначається точкою докладання бічної сили, що викликає обертання. При перекладанні керма, згідно з правилом Мунка, ПП зміщується в ніс від центра тяжкості на відстань, рівну 0,4 довжини корпусу між перпендикулярами [226]. Існує два види руху тіл: поступальний, при якому всі точки тіла рухаються по паралельних траєкторіях та мають однакову швидкість, і обертальний, коли точки тіла мають різну швидкість і існує така

точка, швидкість якої дорівнює нулю. Стосовно до судна, що бере участь у криволінійному русі, таку точку називають ПП [4,15,87].

Знання того, де знаходиться ПП, надзвичайно важливо для судноводія при маневруванні в обмежених умовах, через те, що його положення істотно впливає на точність окомірної оцінки стану судна щодо знаків навігаційного оточення. Знання точного розташування ПП також вкрай важливе при маневруванні в обмежених умовах [4]. У більшості випадків при такому маневруванні судна судноводії вдаються до окомірної оцінки навігаційної ситуації і формують керуючі дії інтуїтивно, що вимагає наявності великого досвіду управління судном і доброї морської практики [186]. Використовуючи інформацію СППР про поточне розташування ПП судна, судноводій зможе керувати процесом руху судна більш точно і безаварійно [219].

3. Центр тяжіння (ЦТ, або G) це точка на лінії діаметральної площини в якій прикладена рівнодіюча сил тяжіння. При розгляді питань управління звичайним судном його умовно приймають розташованим на мідель шпангоуті. При визначенні маневрених характеристик судна їх значення зазвичай розраховують до центру тяжіння [226]. Тому при автоматичному визначенні місця судна приймальною антеною супутникової системи або радіолокатора, отримані координати також необхідно приводити до центру тяжіння ЦТ, рис. 4.24.

4. Крайні характерні точки – носові лівого борту $H_{\text{л}}$, носові правого борту $H_{\text{п}}$, кормові лівого борту $K_{\text{л}}$ і кормові правого борту $K_{\text{п}}$ визначають ширину маневреного зміщення судна при нишпоренні і повороті. Із запасом у безпечну сторону судно можна представляти у вигляді прямокутника ватерлінії, зі сторонами рівними його довжині між перпендикулярами і ширині.

5. Довжина судна між перпендикулярами $L_{\perp\perp}$ – є відстань між крайніми носовими і кормовими точками ватерлінії. При зміні посадки значення цього параметра змінюється, досягаючи максимального значення при повному завантаженні. Вона визначає ширину смуги руху і має вирішальне значення при русі по каналах і фарватерах [188].

6. Максимальна довжина судна L_{max} – являє собою найбільшу відстань між крайніми носовими і кормовими точками корпусу і є постійною величиною. Має визначальне значення при стоянці в порту, на якорі, оскільки визначає допустиму відстань між іншими судами і причальними спорудами.

Вищенаведені параметри та характерні точки судна визначають інформаційне забезпечення СППР судноводія при управлінні маневруванням і впливають на його безпеку.

У даний час питання про маневрені якості морського судна в умовах обмеженого простору і на мілководді, де мають місце ефект гідродинамічної взаємодії між судами і навігаційними перешкодами, залишається недослідженим до кінця, як і питання про розробку критеріїв і стандартів ІМО для забезпечення безпечної експлуатації суден в таких умовах.

Проведений аналіз вітчизняних і зарубіжних публікацій [4,89] дозволяє зробити висновок, що існуючі нормативні документи ІМО, що стосуються маневрових якостей суден, недостатньо ефективні як засіб забезпечення належної керованості, особливо для обмежених умов плавання, мілководдя і каналів. Визначення полюса зв'язку зі збільшенням розмірів суден ширина судноплавних каналів стає визначальним фактором у забезпеченні безпеки плавання в обмежених умовах [177,210]. Це пов'язано з тим, що відношення довжини до ширини у нових суден неухильно знижується через те, що їх ширина збільшується з метою підвищення вантажомісткості без збільшення їх осідання. Зміна відношення довжини до ширини судна змінює характеристики керованості, що ускладнює плавання в обмежених акваторіях. Ситуація ускладнюється труднощами, пов'язаними з проходженням суден більшої ширини по каналах, габарити яких за останні роки майже не змінювалися. Особливої актуальності це питання набуває для СППР які керують процесом маневрування судном [188].

4.3.2. Модель розрахунку полюса повороту судна

Проведений аналіз наукових досліджень вітчизняних та зарубіжних дослідників стосовно визначення ПП дозволяє зробити наступні висновки. В роботі [226] наведені формули розрахунку положення ПП при маневруванні в вузьких проходах при різній ширині займаної смуги руху, однак алгоритми розрахунку абсциси ПП не розроблені. В роботі [186] вдосконалено алгоритми розрахунку положення ПП при декількох поперечних силах і отримана формалізована модель розрахунку його положення з індикацією судноводій на контурі ватерлінії. На підставі проведених досліджень було створено модуль розрахунку абсциси ПП судна для СППР судноводія, що враховує вплив усіх діючих на судно внутрішніх і зовнішніх сил [202,203,205]. Він складається з наступних блоків [188]:

- вибору режиму маневрування;
- оцінки напрямку і швидкості вітру;
- врахування сили і моменту від вітру при маневруванні;
- врахування сили від керма;
- розрахунку абсциси ПП від внутрішніх сил,
- розрахунку сили, плеча і моменту від буксирів,
- розрахунку ширини смуги руху, маневреного зміщення і ймовірної ширини смуги;
- візуалізації абсциси ПП \bar{X}_{Π} и U_{mv} .

Модуль розрахунку полюса повороту працює наступним чином. Перед початком руху вибирають режим маневрування. На підставі цієї інформації проводиться розрахунок поперечної сили від керма, значення якої надходить у блок 5, сюди ж надходить інформація про режим маневрування від блоку 1.

З виходу блоку 5 значення абсциси ПП надходить в модуль візуалізації інформації, а судові сили і моменти обраного режиму маневрування надходять у блок 6 для розрахунку абсциси ПП з урахуванням зовнішніх сил [188,219] .

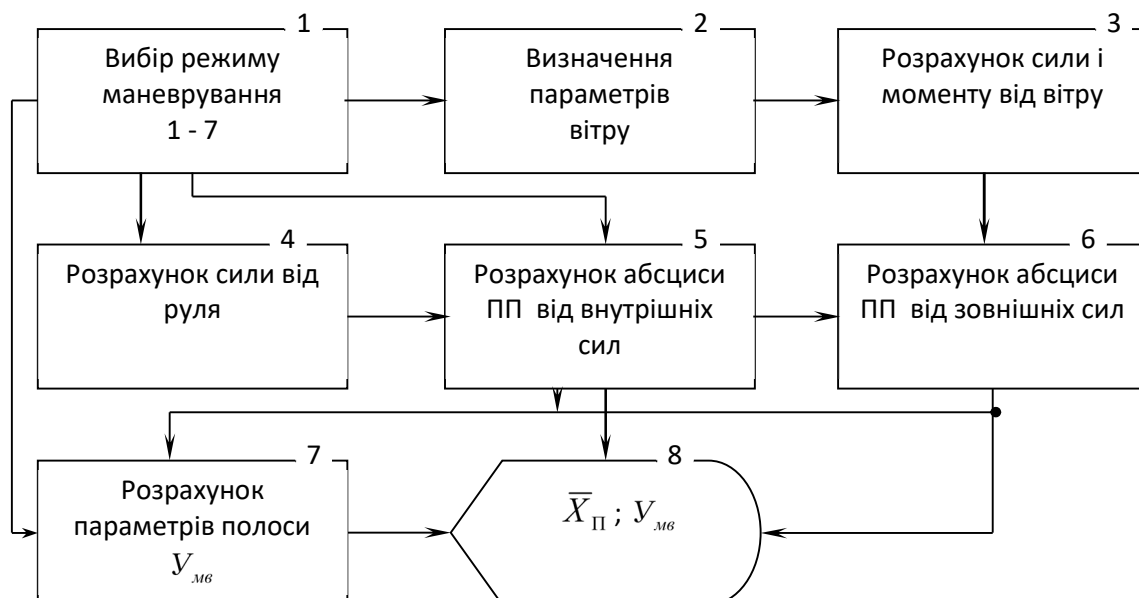


Рисунок 4.25 – Розрахунок полюса повороту в СППР судноводія [188]

Сюди ж надходять з блоку 3 сили і моменти від вітру. значення абсциси \bar{X}_{Π} з виходу блоку 6 надходить на для виведення до блоку 8. Якщо зовнішніх сил немає, то в блок 8 надходить значення абсциси \bar{X}_{Π} від блоку 5.

Таким чином, модуль розрахунку абсциси ПП судна дозволяє оцінити ширину смуги руху судна, включаючи криволінійні траєкторії.

Особливість пропонованого визначення смуги полягає в тому, що при русі постійним курсом, абсциса положення ПП дорівнює нулю. З цієї причини розрахунок ширини маневреного зміщення проводиться по двох каналах. Поточна ймовірна ширина смуги $y_{\text{мвт}}$ прямолінійного руху $y_{\text{мп}}$ визначається шляхом додавання СКП визначення місця ЦТ судна [188,219]:

$$y_{\text{мвт}} = y_{\text{мп}} + 2M_0 \quad (4.10)$$

Під шириною смуги, яку займає судно при маневруванні, маємо на увазі (рис. 4.24) величину проекції крайніх точок характерного лінійного розміру $L_x = \sqrt{L^2 + B^2}$ на лінію, яка перпендикулярна вектору переміщення судна:

Ймовірну ширину смуги маневреного зміщення визначаємо шляхом лінійного складання Y_M і середньоквадратичної похибки визначення місця судна M_0 [188,219]:

$$Y_{MB} = Y_M + 2M_0 \quad (4.13)$$

Необхідною і достатньою умовою безпечного проходження одиночного судна через небезпечний район обмежених вод є виконання вимоги, щоб допустима ширина безпечної смуги руху Y_{MD} була більше ймовірної ширини смуги Y_{MB} , тобто $Y_{MD} > Y_{MB}$. Із цієї нерівності можна визначити вимоги до точності визначення місця для забезпечення безпечного проходу небезпечного району обмежених вод, з урахуванням максимального значення кута зносу $C = 90^\circ - \arctg(B/L)$, коли ширина смуги, займаної судном, максимальна і дорівнює L_X : $M_0 < 0,5 Y_{MB} - Y_0 - 0,5 L_X$.

При проходженні в вузькостях для зменшення ширини смуги в розпорядженні судноводія є три способи: зменшення нищпорення за рахунок використання буксирів; підвищення точності визначення місця судна; поліпшення керованості судна за рахунок використання швидкості і підрулює пристрою.

Умовою безпечного проходження судном каналу за шириною маневреного зміщення є виконання умови $B_{\Pi} + 2 \cdot Y_0 + 2 \cdot M_0 > B_K$.

При криволінійному русі зазначену похибку додають до ширини маневреного зміщення Y_{MBK} визначеного за формулою [188,219]:

$$Y_{MBK} = \sqrt{\left(X_{III} + \frac{L_{\perp}}{2}\right)^2 + \left(\sqrt{R_G^2 - X_{III}^2} + \frac{B}{2}\right)^2} - \sqrt{R_G^2 - X_{III}^2} + \frac{B}{2} \quad (4.14)$$

$$Y_{MB} = Y_{MBK} + 2M_0 \quad (4.15)$$

Відображається Y_{MBT} , із зазначенням каналу, за яким вона розраховується.

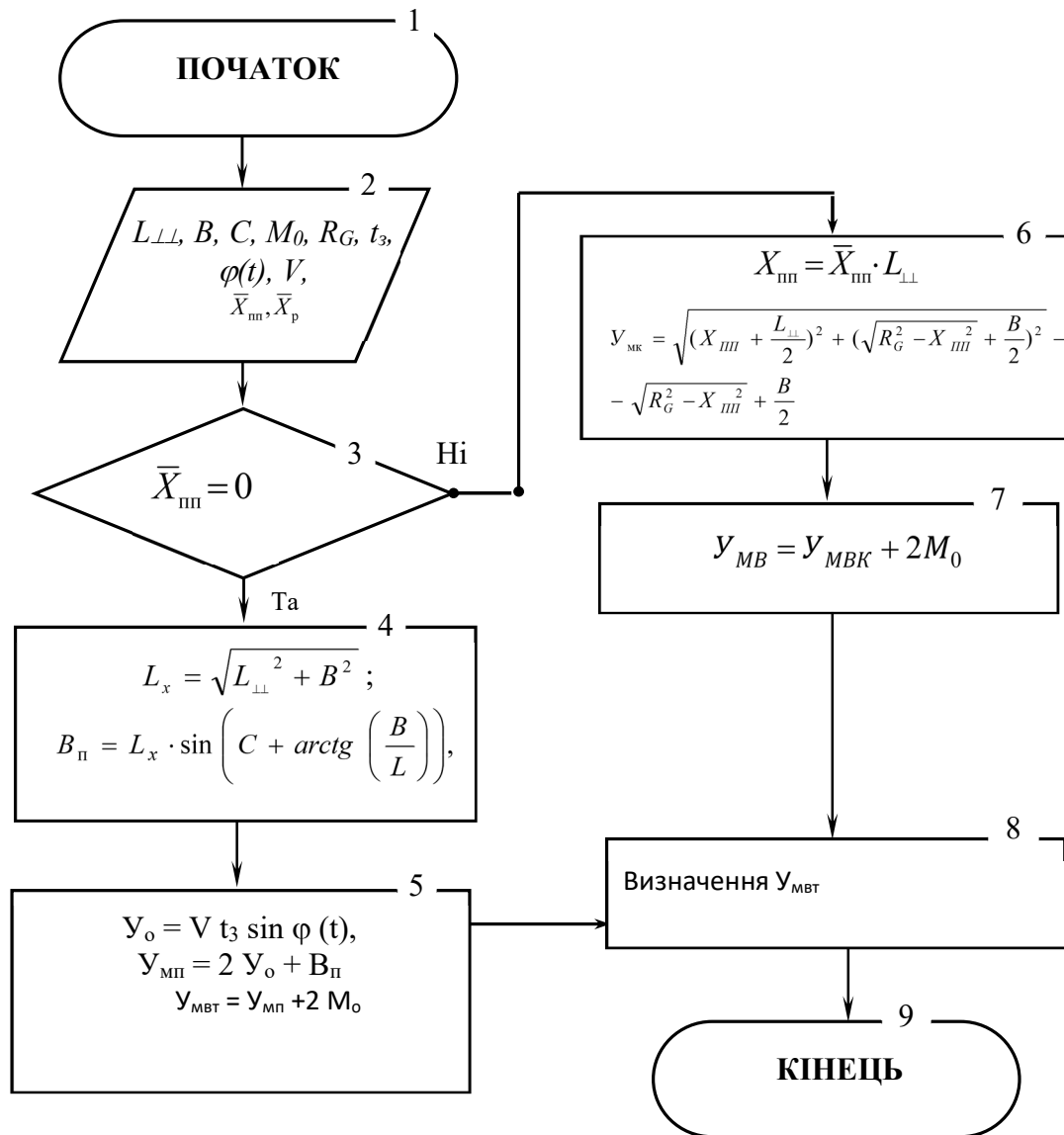


Рисунок 4.27 – Блок-схема алгоритму розрахунку ширини ймовірного маневреного зміщення судна при його русі на прямолінійних і криволінійних ділянках [188,219]

Перевагами запропонованого методу є простота розрахункових формул при мінімальному числі параметрів руху судна, що використовуються в розрахунках і можливість застосування в СППР судноводія для розрахунку траєкторії руху суден у вузькостях.

4.4. Підтримка прийняття рішень при динамічному позиціонуванні судна

4.4.1. СППР в управлінні динамічним позиціонуванням судна

На поточний момент часу відстежується тенденція до постійного зростання чисельності суден, що оснащуються системами ДП, що обумовлено постійно зростаючими вимогами морської індустрії до точності керування судном [28,98]. Значний вплив на точність утримання судна в заданій точці здійснює навколишнє середовище, а саме дії вітру, хвиль та течії (рис. 4.28).

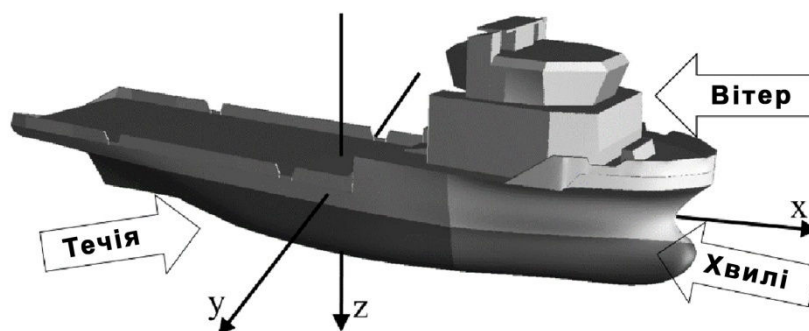


Рисунок 4.28 – Основні чинники зовнішнього впливу на судно, що керується системою ДП [28].

Вітер, хвилі і течії обумовлюють нелінійні зовнішні збурення, які намагаються перемістити судно за межі заданої області утримання. Зазначені збурення обумовлюють виникнення потенційних ризиків для безпеки сучасного судноплавства. Під час ДП судно рухається за шістьма ступенями свободи. Система ДП судна забезпечує стабільність положення судна в заданій точці за допомогою підрулюючих пристроїв, які компенсують вплив зовнішніх збурень, та залишають позицію судна незмінною [175].

Нелінійні сили зовнішніх збурень (R_d) від вітру, течії і хвиль здійснюють зовнішній вплив на судно та зміщують його з поточної позиції. Система ДП компенсує ці впливи за допомогою елементів управління, які виробляють

необхідні керуючі сили R_c . Сили контрольованих реакцій судна повинні бути рівними або більшими, ніж сили впливу [28,219].

$$\left\{ \begin{array}{l} R_c \geq R_d, \\ M_c \geq M_d. \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sum_{p=1}^n R_{Xcp} \geq \sum_{j=1}^3 R_{Xdj}, \\ \sum_{p=1}^n R_{Ycp} \geq \sum_{j=1}^3 R_{Ydj}, \\ \sum_{p=1}^n M_{XOYcp} \geq \sum_{j=1}^3 M_{XOYdj}, \end{array} \right. \quad (4.16)$$

де R_c - сила контрольованої реакції судна;

M_c - момент контрольованої реакції судна;

R_d - нелінійна сила зовнішніх збурень ЕФ (сили вітру, течії, і хвиль);

M_d – нелінійний момент зовнішніх збурень ЕФ;

$R_{Xc}, R_{Yc}, R_{Xd}, R_{Yd}$ - проєкції сил на відповідні осі системи координат судна;

p - кількість підрулюючих пристроїв судна;

j – кількість зовнішніх збурень ЕФ.

Таким чином, система ДП судна становить собою складну ергатичну систему «оператор ДП – технічні засоби управління судном – підрулюючі пристрої», яка функціонує в режимі реального часу і потребує постійного контролю з боку оператора ДП. Функціональний склад системи ДП наведено на рис. 4.29. Як можна бачити зі структурної схеми ДП, більшість операцій ДП позиціонування повністю автоматизовано, а оператор ДП є її ключовою керуючою ланкою, що забезпечує керування ДП судна.

Таким чином, якість та надійність функціонування систем ДП суден та рухомих об'єктів водного транспорту (РОВТ), до яких входять також бурові платформи, в істотній мірі залежить від якості процесів інформаційної взаємодії таких систем з оператором та його кваліфікації і професійних навичок керування СДП.

При виконанні ДП операцій вкрай важливим є дотримання завданого місця розташування ДП об'єкта, особливої значущості вищевказане набуває для бурових платформ [98]. У процесі виконання дослідження для вирішення вказаної задачі було розроблено індикатор відхилення вісі буру [209].

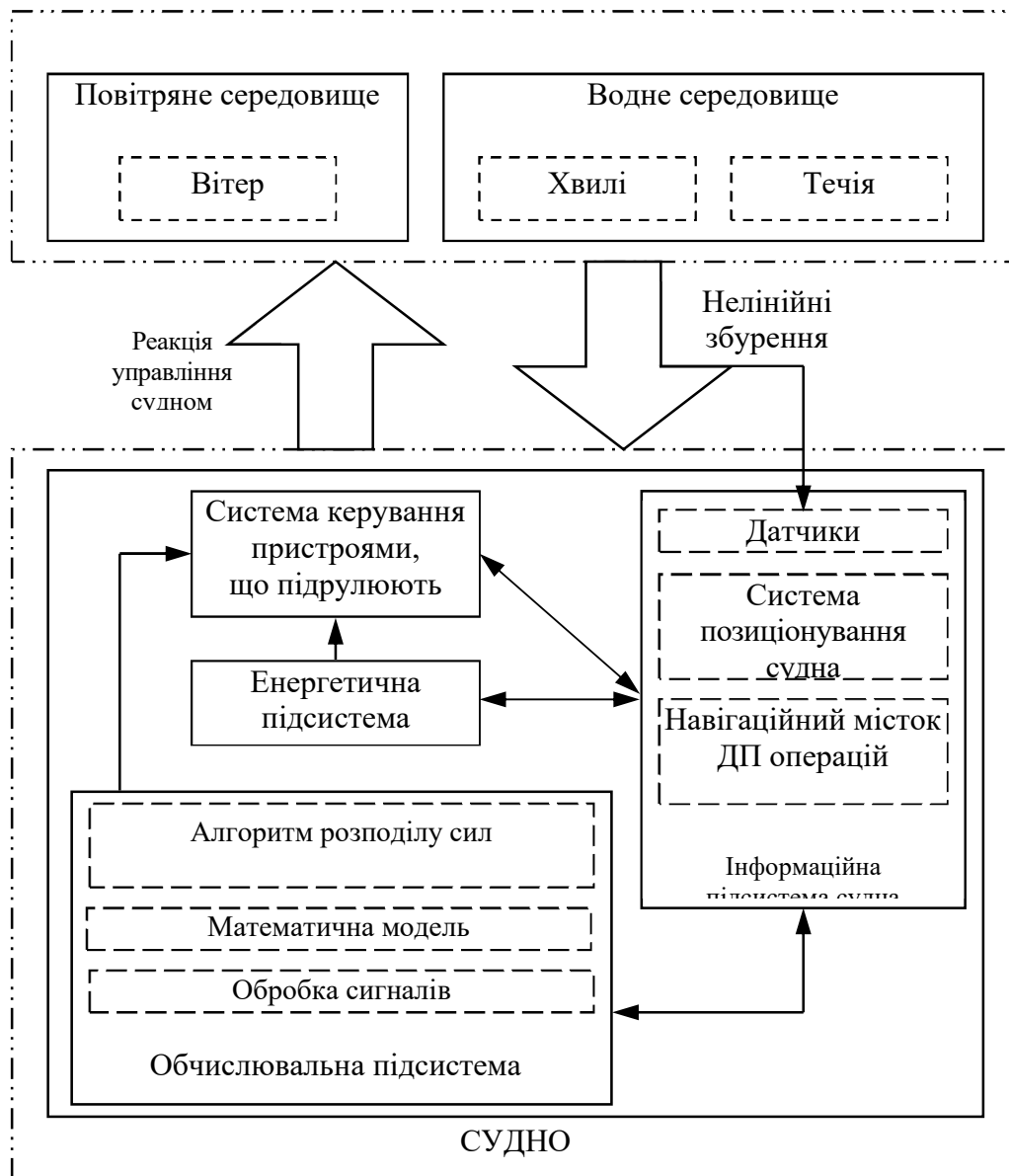


Рисунок 4.29 – Система ДП судна [219]

Таким чином, функціональною особливістю СППР судноводія для виконання ДП операції є те, що вона не формує управлінські рішення, а постійно контролює його роботу з метою недопущення вжиття ним неправильних дій з управління ДП системою.

4.4.2. Підвищення надійності управління динамічним позиціонуванням судна

Розглядаючи процес прийняття рішень з управління ДП судна, можна визначити функцію СППР судноводія як зв'язуючої ланки між оператором та системами керування ДП. СДП руху судна у зазначених є об'єктом управління полієргатичної системи та виконує функції гарантування безпечної реалізації процесу високоточної навігації.

Слід зазначити, що людський чинник у процесі розгляду питань безпеки мореплавання для процесів ДП має ключове значення. З позицій безпеки мореплавання під людським чинником розуміється сукупність можливості і здатності людини-оператора по прийому, обробці інформації і прийняттю рішень стосовно безпеки в різних умовах, що включає увесь спектр людської діяльності з позицій управління судном та судновими технічними системами і комплексами.

З помилок, що допускаються в процесі здійснення ДП, найбільш частими є помилки судноводія (оператора системи динамічного позиціонування, або ОСДП), що виникають в процесі обробки великої кількості інформації, помилки оцінки поточного стану об'єкта керування та прийняття рішення, особливо за умов наявності обмежень часу та у критичних ситуаціях.

Помилки судноводія, пов'язані з обробкою інформації, що надходить при здійсненні процесів високоточної навігації і виконанні технологічних робіт, виникають внаслідок наступних обставин [218]:

- отримання помилкових даних від різних джерел;
- вибір некоректних або неприйнятних до поточних умов способів і критеріїв обробки інформації та прийняття рішень;
- невиконання вимог системи управління безпекою, нормативних документів, інструкцій при здійсненні ДП;
- механічні помилки судноводія при управлінні;

- відволікання ОСДП від управління.

Вищезазначені чинники, у свою чергу, викликають ситуацію, при якій помилки, що виникли на одних етапах сприйняття і переробки інформації, породжують в подальшому додаткові помилки, які позначаються на оцінці ситуації в цілому, у процесі ухвалення рішення та його реалізації. Вказане призводить до виникнення так званого «ланцюжка помилок». Однак, слід враховувати, що виникнення помилки ще не означає виникнення аварійної ситуації. Якщо судноводій зміг вчасно знайти і виправити помилку, то аварійна ситуація не відбудеться.

Таким чином, ключовими чинниками забезпечення безаварійності процесів ДП РОВТ є дві складові: належний рівень кваліфікації оператора(-ів) ДП та якість процесу їх інформаційної взаємодії з СДП. Необхідний рівень першого чинника досягається дотриманням кваліфікаційних вимог до персоналу, що приймає безпосередню участь при здійсненні ДП, які викладено повною мірою у [17]. Підвищення ж якості процесів взаємодії ОСДП та СДП може бути досягнуто шляхом запровадження відповідних СППР судноводія, які забезпечують формування, відповідно до поточної навігаційної ситуації, попереджувальних (проактивних) інформаційних повідомлень, спрямованих на запобігання вжиття оператором помилкових або небезпечних дій з керування СДП.

Також важливою є і технічна складова питання, оскільки без вжиття комплексних заходів для гарантування комплексної безпеки ДП з одночасним вирішенням завдання підвищення надійності технічної складової СДП як полієргатичної системи, неможливе виконання технологічної роботи в умовах наявності факторів ризику та у критичних ситуаціях.

Таким чином, гарантування безпеки судна просторово-часовому проміжку виконання рейсового завдання можливо лише при одночасному виконанні низки наступних факторів: високої професійної підготовки ОСДП, належного рівня якості процесів інформаційного обміну між оператором(-и) та СДП, гарантуванням надійності технічної складової полієргатичної

системи, обладнання РОВТ відповідними технічними засобами для безпечної реалізації процесів високоточної навігації і виконання технологічної роботи [175].

Розглядаючи процеси прийняття рішень ОСДП з позицій застосування СППР, слід враховувати можливість виникнення, під час виконання ДП операцій, чотирьох основних видів відмов.

Раптові відмови - виникають у результаті несприятливого поєднання випадкових зовнішніх факторів, що перевищують можливості до адаптації оператора. З такими відмовами надзвичайно важко боротися, оскільки їх важко передбачити. Для боротьби з наслідками таких відмов відбувається відповідне резервування апаратури для СДП першого, другого і третього класів. У зазначеному випадку, характерною ознакою навігаційного обладнання, яке використовується для визначення вектора стану та координат РОВТ, є можливість роботи каналу вимірювань із застосуванням різних фізичних принципів.

Поступові відмови - виникають у результаті протікання процесів деградації, старіння, зносу, що погіршують початкові параметри системи. Такі відмови повністю можуть бути виключені шляхом належного догляду та контролю відповідно до вимог виробника.

Складні відмови - у разі яких час виникнення відмови є випадковою величиною, яка не залежить від стану виробу. Ймовірність таких відмов є функцією від часу і може бути порахована [218,222].

Непередбачувані відмови – відмови, обумовлені впливом непередбачуваних помилкових дій оператора, що виникають у процесі його інформаційної взаємодії з СДП і зазвичай виникають під впливом факторів втоми, обмежень часу на прийняття рішень з управління, та у критичних ситуаціях.

Застосування СППР у процесах керування операціями ДП спрямоване безпосередньо на зниження частки відмов останнього типу.

У процесі експлуатації СДП технічна відмова може наступити не тільки в результаті раптових відмов. Найбільш поширені поступові відмови і складні

відмови. Характерною ознакою таких відмов є відхилення параметрів роботи компонентів СДП від номінальних (необхідних) значень під впливом змін навколишніх умов.

Узагальнена структура поліергатичної системи керування процесом ДП наведена на рис. 4.30. [218].

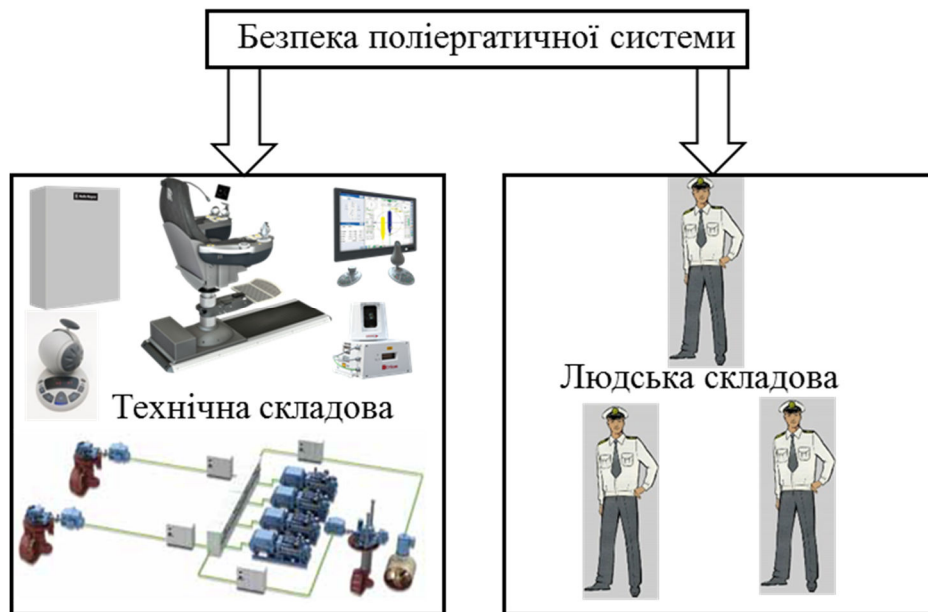


Рисунок 4.30 – Декомпозиція безпеки поліергатичної системи керування процесом ДП [218].

Надійність функціонування компонента СДП характеризується потраплянням поточного значення характерного параметра U у робочу область, тобто виконується умова - $U_i \in [U_{\min}, U_{\max}]$ [175].

При здійсненні ДП надійна робота технічної системи буде полягати в тому, що значення характерних параметрів на всьому часовому відрізку здійснення ДП залишатимуться в робочій області, [175,218]:

$$U_{1\min} \leq U_1 \leq U_{1\max}; U_{2\min} \leq U_2 \leq U_{2\max}; \dots U_{n\min} \leq U_n \leq U_{n\max} \quad (4.17)$$

Запропоновані вирази можуть бути включені до алгоритмів, що складають програмне забезпечення і використовуватися інформаційною

системою СДП для самоперевірки. Проте контроль таких параметрів як геометричний фактор СНС або сила сигналу гідроакустичної, лазерної або радіо систем визначення місця РОВТ повністю лягає на плечі ОСДП. При погіршенні цих сигналів не передбачено ніякої додаткової звукової сигналізації (як, наприклад при відмові системи повністю) [222].

Алгоритм реалізації процесу безпечного ДП при управлінні судном як поліергатичною системою наведено на рис. 4.31. У фокусі запропонованого замкнутого алгоритму знаходиться безпечна реалізація процесу ДП РОВТ у процесі виконання технологічної роботи (РОВТ у безпеці).

При відхиленні характерних параметрів за межі норми важливим чинником є інформованість судноводія про конкретне відхилення і його величину. Таким чином, ще до настання відмови технічної системи, відповідно до інформаційних повідомлень, можливо провести дії або заходи щодо недопущення ескалації потенційно небезпечної ситуації.

Своєчасне виявлення тенденції погіршення одного з характерних параметрів дозволяють мати резерв часу, необхідний для оцінки і аналізу ситуації, прийняття рішення, реалізації прийнятого рішення та контролю виконання прийнятого рішення для гарантування безпеки ДП.

Увага ОСДП про відхилення характерних параметрів може бути привернута інформаційною підсистемою СДП або СППР, ОСДП може помітити відхилення самостійно, або члени екіпажу РОВТ можуть помітити відхилення характерних параметрів від норми при здійсненні регулярних перевірок. Для реалізації останніх пунктів необхідно гарантувати належне професійне спостереження.

Якщо спостереження не гарантовано – РОВТ знаходиться в небезпеці, оскільки для вказаної ситуації можливо не помітити погіршення керованості СДП, а при виникненні відмов – не буде належного резерву часу для прийняття вірного рішення [175].

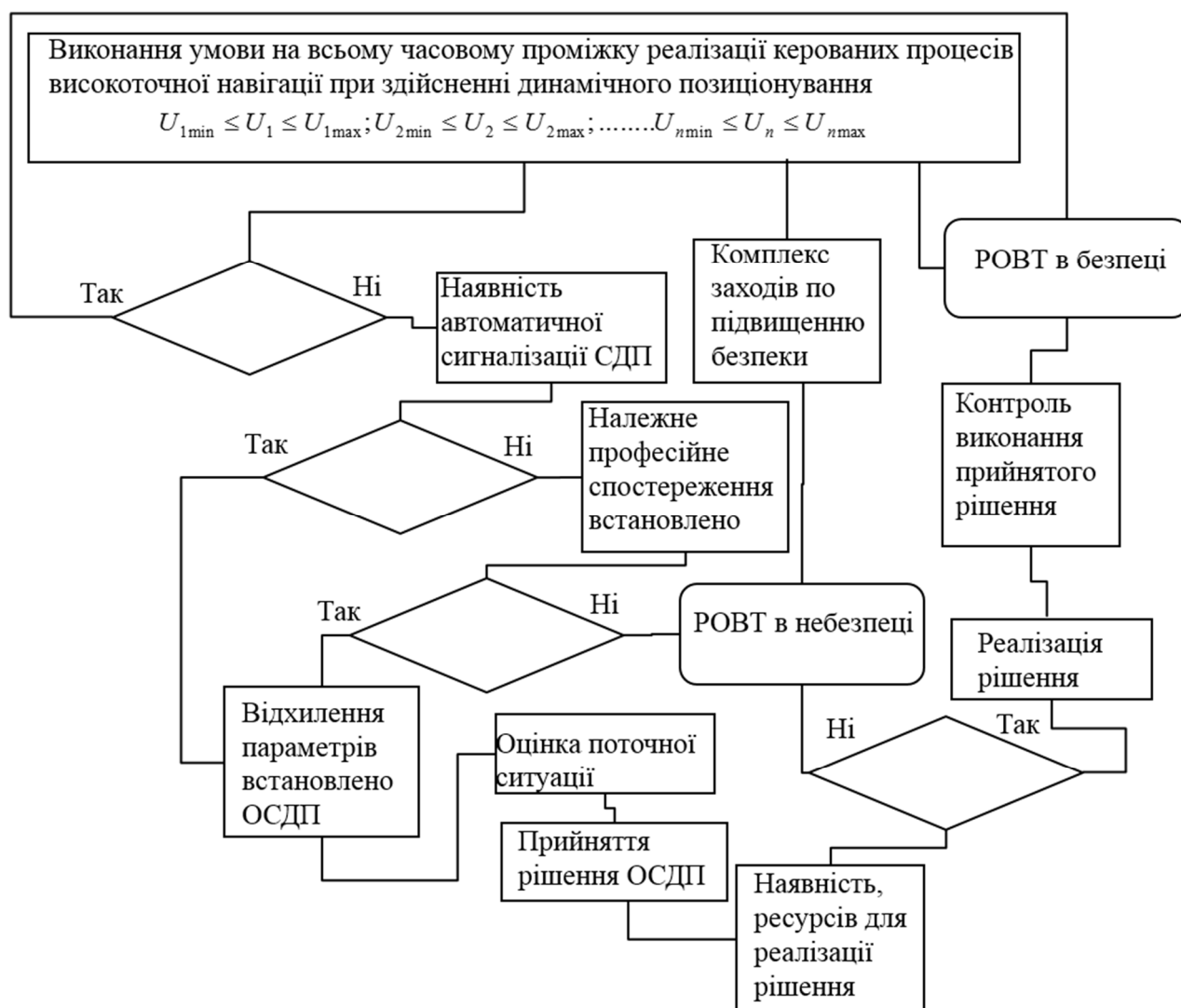


Рисунок 4.31 – Алгоритм реалізації процесу безпечного ДП [218]

Практичний досвід показує, що рішення, які приймаються в критичних ситуаціях, коли ОСДП перебуває в стресовому стані, мають меншу ймовірність бути правильними [222].

Також безпека ДП не буде гарантована, якщо немає ресурсів для виконання прийнятого рішення. Можна також додати, що судноводій може і не мати можливості прийняти необхідне рішення. Для цього на вахті є старший оператор системи динамічного позиціонування. Проте і він може потребувати консультування з капітаном РОБТ. Саме тому резерв часу є вирішальним в процесі гарантування безпеки ДП РОБТ, а застосування запропонованого алгоритму у СППР відповідає практичним вимогам прийняття рішень у процесах управління ДП у критичних ситуаціях.

Також необхідно оцінювати вплив можливих відмов технічних систем на безпеку процесу ДП. У процесі експлуатації всі компоненти СДП піддаються впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів, які при тривалому впливі призводять до виходу робочих характеристик за допустимі межі та навіть до виходу з ладу самих компонентів СДП.

Вищезазначене потребує врахування можливостей резервування конкретного компонента СДП з прив'язкою до класу РОВТ. Вирішення вказаної задачі потребує складання відповідних схем надійності технічних систем, що є складовими СДП.

Мінімальне резервування здійснюється відповідно до вимог до класу конкретної СДП, а також може здійснюватися виходячи з особливостей виконання технологічної роботи і акваторії ДП. Резервування є технічним заходом щодо забезпечення безпеки функціонування СДП [175].

Таким чином, виходячи з вимог до резервування складових СДП або виходячи з аналізу конкретного РОВТ можна скласти загальні схеми надійності систем і обчислити конкретні чисельні показники безпечного функціонування систем РОВТ.

Практичне застосування СППР у процесах управління СДП повинне бути спрямоване на зниження негативного впливу найбільш вагомого чинника аварійності ДП - непередбачуваних помилкових дій оператора, які виникають у процесі його інформаційної взаємодії з СДП, зазвичай під впливом факторів втоми, обмежень часу на прийняття рішень з управління, та у критичних ситуаціях.

4.5. Висновки до четвертого розділу

1. Запропоновано метод ситуаційного аналізу процесу розходження суден, якій відрізняється від існуючих тим, що застосовуються комплексні критерії оцінки рівня небезпеки суден у поєднанні з принципами ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій, що, у свою чергу, дозволяє зменшити обсяги

навігаційної інформації, яка підлягає обробці у СППР, та скоротити час, необхідний для формування рішень з управління рухом судна.

2. Розроблено розрахункові схеми, процедури й алгоритми, які містять вперше запропоновані способи і методики функціонування системи управління судном і контролю над процесом переміщення та зближення, включаючи оцінку надмірного і небезпечного зближення, а також вибір маневру для запобігання аварійної ситуації на підставі даних АІС.

3. Удосконалено методику розрахунку полюса повороту судна при здійсненні маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях, яку адаптовано до вимог подальшого практичного застосування у СППР судноводія, що дозволяє підвищити точність дотримання суднами планованої траєкторії руху на потенційно небезпечних ділянках.

4. Запропоновано методику підвищення безпечності та надійності управління процесом ДП судна, яка відрізняється врахуванням особливостей інформаційної взаємодії ОСДП та СДП під час виконання операцій ДП.

Матеріали четвертого розділу висвітлені у наступних роботах автора: [187,188,202,203,205,209,218,222,230].

РОЗДІЛ 5

ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР У ПРОЦЕСАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ СУДНОВОДІННЯ ТА ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЙОГО ВПЛИВУ

5.1. Вплив людського фактора на процеси управління судном

З розвитком і ускладненням технічного оснащення морського транспорту зростає значення оцінки впливу людського фактора на процеси управління. На морському транспорті людський фактор виступає основною причиною катастроф, так, за різними оцінками, збиток від допущених судноводієм помилок в морській індустрії оцінюється в 1,5 млн. доларів США в день, 60-80% всіх інцидентів пов'язано з людським фактором [5]. Одним зі способів запобігання негативного прояву людського фактора є стратегія е-Навігації [8]. За допомогою грантів ЄС реалізуються науково-дослідні проекти в області е-Навігації: SafeSeaNet, Monalisa, Efficient Sea й ін. В Австралії, Швеції, Норвегії, Канаді, Японії, Південної Кореї національні програми з розвитку цифрової навігації виконуються в рамках структури державних органів. На високому рівні ведуться розробки інформаційних систем і в США.

Однак для практичної реалізації е-Навігації необхідно раціонально застосовувати вказані технології саме для морської навігації, морського транспорту. Окрім того, можливості наведених інформаційних систем зв'язку і навігаційних систем не дозволяють безпосередньо ідентифікувати негативні прояви людського фактора. Також слід зазначити, що збільшення кількості розроблених інформаційних систем додатково створює ефект інформаційного перевантаження судноводіїв, що негативно впливає на адекватне сприйняття ситуації у процесах навігації та управління рухом судна.

Таким чином, необхідність вивчення людського фактора та врахування його впливу на організацію управління судном та експлуатацію судового устаткування набуває все більшої актуальності, оскільки від успішності

вирішення вищезазначеного завдання залежить безпека, ефективність і надійність експлуатації морських суден.

Сучасне морське судно – один із прикладів складної соціотехнічної системи «людина – технічні засоби управління» – ергатичної системи, в якій людина (або група людей) взаємодіє з технічними пристроями в процесі сприйняття інформації, її обробки, та прийняття рішень з управління судновими пристроями [219]. Поняття людського фактора й аналіз його впливу на управління складними системами становить основу досліджень в галузі ергатичних систем управління. Узгодження параметрів взаємодії людини і технічних засобів та ефективний розподіл функцій між ними перетворилися на найважливіші завдання безпечного управління судновими системами, що, в свою чергу, може бути досягнуто шляхом запровадження новітніх інформаційних технологій та систем керування, перш за все навігаційних інформаційних систем (НІС) та СППР судноводія. Слід зазначити, що саме у площині взаємодії людини і технічних засобів вельми часто виникають проблеми, які призводять до помилок у роботі суднового персоналу і, як наслідок, до аварій суден із серйозними техногенними наслідками.

Саме тому, аналіз аварій та інцидентів в судноводінні змусив міжнародне морське співтовариство звернути увагу на підхід, що враховує роль людини-оператора у безпеці керування процесом навігації. Вплив так званого людського фактора на ефективність і безпеку судноплавства зараз стає однією з основних тем для обговорення фахівцями в галузі безпеки морського транспорту [5,23,72].

Оцінка впливу людського фактора на результати роботи ергатичної системи в цілому являє собою доволі складну науково-практичну задачу. Поняття «людський фактор» отримало офіційний статус порівняно недавно, крім того, сила впливу цього фактора або недооцінюється, або взагалі замовчується [5,192]. Тому, на цей момент часу в повному обсязі не виявлені його компоненти і складові, не розроблені єдині підходи та методи для зменшення його негативного впливу.

На поточний момент часу питанням ролі людського фактора в аваріях та

подіях на морі велику увагу приділяє Комітет з безпеки на морі (КБМ) - ІМО. Зазначену проблему розглядає і комітет із захисту навколишнього середовища. У 1996 р. була створена спільна із ІМО спеціальна робоча група експертів із вивчення питань впливу людського фактора. Вказана група розробила проєкт Керівництва з розслідування людських чинників в аваріях та інцидентах на морі. КБМ у 1997 р. доручив Підкомітету з виконання вимог ІМО розглянути і доопрацювати зазначене Керівництво.

У 1999 р. Керівництвом було схвалено на сесіях КБМ і КЗМС і прийняте в остаточному вигляді на 21-й сесії Асамблеї ІМО (резолюція А. 884/21) поправки до Кодексу проведення розслідування аварій та інцидентів на морі.

Зміст і вимог вищевказаного керівництва зобов'язують Адміністрацію країни прапора судна і власників судноплавних компаній при організації служби на судах і при розслідуванні аварій та інцидентів на морі враховувати вплив «людського фактора» на причини, що зумовили цю аварію.

Також важливо зазначити, що з тексту виданих Міжнародною морською організацією нормативних документів центральне місце надається відповідальності за забезпечення безпеки мореплавання, яка зміщена від судового екіпажу до керівництва судноплавної компанії.

Введення в дію нормативних документів ІМО з обліку впливу «людського фактора» змушує по-іншому поглянути на існуючу систему обліку та розслідування причин морських аварій.

Ретельним опрацюванням проблеми людського фактора вже багато років також займається LR (Регістр Ллойда). LR виробила алгоритм дій, названий Human Element Gap Analysis, який допомагає компанії розпізнати її слабкі сторони у вирішенні проблем за участі людського фактора і визначити області, де можливі й потрібні поліпшення.

Державна політика у сфері забезпечення безпеки судноплавства до 07.03.2022 р. здійснювалась відповідно до вимог постанови Кабінету Міністрів України № 1137 від 07 жовтня 2009 року, яка передбачала скоординовані дії суб'єктів, відповідальних за безаварійне плавання суден. Наразі нормативно

правове регулювання питань безпеки судноплавства здійснюється згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 212 від 07 березня 2022 року «Деякі питання оптимізації функціонування центральних органів виконавчої влади у сферах морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства».

Дослідженню проблем, що виникають у процесі взаємодії людини з технічними засобами, а також вивченню негативного впливу людського фактора на ефективність, надійність і безпеку судноплавства в цілому присвячено ряд праць [5,12,23,47,70-80,85,100,195-198,228]. У них простежується пряма залежність безпеки мореплавства, у першу чергу, від компетентності судового персоналу, його підготовленості до роботи у важких, екстремальних умовах, від його здатності оперативно приймати правильні й ефективні рішення з управління морським судном.

Слід зазначити, що зниження впливу людського фактора досягається дуже затратними засобами підготовки, сертифікації і контролю дії екіпажу, що неминуче викликає збільшення витрат. Одним з можливих дієвих шляхів вирішення вказаної проблеми є збільшення загального рівня автоматизації сучасних суден, поступове зростання частки безекіпажних та автономних суден, тощо.

На поточний момент часу, у світі активно розробляються та запроваджуються проекти без екіпажних та автономних суден, наприклад, MUNIN в Європі, англійська Rolls-Royce Autonomous Ship Research Project. Численні проекти без екіпажних суден, в основному військово-морської спрямованості, існують в США, а також стрімко розвиваються у нашій державі, починаючи з 2022 року.

Проект MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks): заявлені витрати 3,8 млн євро, початок проекту 2012 р., Учасники: Fraunhofer CML, MARINTEK, Chalmers, Hochschule Wismar, Aptomar AS, Marine Soft, Marorka ehf, University College Cork та ін. Мета проекту - створити і перевірити концепцію автономного судна, яке визначається як судно, кероване

головним чином автоматичною бортовою системою, але контрольоване оператором з берегової станції [222].

Проект Rolls-Royce Autonomous Ship Research Project: заявлені витрати 6,6 млн євро, початок реалізації 2013. Учасники: Rolls-Royce, Tampere University of Technology, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, Abo Akademi University, Aalto University, University of Turku, NAPA, Deltamarin, DNV, Inmarsat і ін. Мета проєкту - об'єднати зусилля університетів, суднобудівників, виробників обладнання та класифікаційних товариств для вивчення економічних, соціальних, юридичних, нормативних та технологічних факторів, які необхідні для втілення проєкту автономного судна в реальності.

Але, разом з тим, слід зазначити, що на поточний момент часу неможливо повністю виключити судноводія як ОПР в процесах навігації й управління судном, оскільки існує низка істотних практичних проблем для навігації в складних навігаційних умовах, обмежених акваторіях руху, вузькостях, зонах розподілу руху та інтенсивного трафіку суден, де його присутність є і буде надалі обов'язковою.

З огляду на вищезазначене, можна дійти до висновку, що проблема негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом суден потребує комплексного вирішення. З одного боку, необхідно максимально намагатись знизити першопричини виникнення людського фактору як такого, а з іншого – відповідно, покращувати інтерфейси судових НІС, СППР, автоматизованих систем управління, з метою поліпшення якості процесів взаємодії людини з вищевказаними системами, тощо.

5.2. Інформаційні інтерфейси навігаційних систем та людський фактор

У процесі управління судном команда судноводіїв приймає управлінські рішення залежно від вхідної інформації, що відображається засобами інформаційних інтерфейсів судових систем. У найбільш складних ситуаціях (маневрах) інформаційний потік, що впливає на оперативне прийняття рішень,

перевищує поріг сприйняття судноводія і істотно знижує рівень безпеки на морському транспорті. Існуючі НІС, ЗАРП та ЕКНІС є безпосередніми джерелами інформаційного потоку [198].

На поточний момент часу, для забезпечення безпеки мореплавства використовуються різні суднові і берегові інформаційні системи навігації та зв'язку: АІС, ЕКНІС, інтегровані навігаційні системи, РЛС, глобальні навігаційні супутникові системи і їх функціональні доповнення (GNSS, GPS), глобальна морська система зв'язку для забезпечення безпеки (GMDSS), системи дальньої ідентифікації та контролю розташування суден (LRIT), системи управління рухом суден (VTS), засоби навігаційного обладнання (AtoN).

Вказані комплекси мають різні по конфігурації інформаційні інтерфейси сертифіковані за стандартами ІЕС62288 й ІНО S-52, S-63. Також змінюється і розташування інформаційних інтерфейсів, що забезпечують робочі місця членів вахтової служби. У ряді випадків конфігурація, розташування, інтенсивність і інформативність інформаційних потоків, вимагають підбору найбільш раціональних комбінацій/ Набір інформаційних інтерфейсів, на прикладі навігаційного тренажера NTPRO 5000 представлено на рис. 5.1 [196].

Успішне подолання проблеми негативного впливу людського фактора та підвищення ефективності функціонування суднових НІС, СППР, та автоматизованих систем керування, потребує перш за все, ідентифікації людського фактора як такого.

Стрімкий розвиток сучасних експертних систем ідентифікації інтелектуальної діяльності людини головним чином направлено на створення відповідних програмно-апаратних засобів, як попередження, так і наступного контролю негативних реакцій.

Особлива складність виникає при ідентифікації таких реакцій в період послідовних цілеспрямованих дій судноводія, спрямованих на виконання поставленого завдання при управлінні судном.

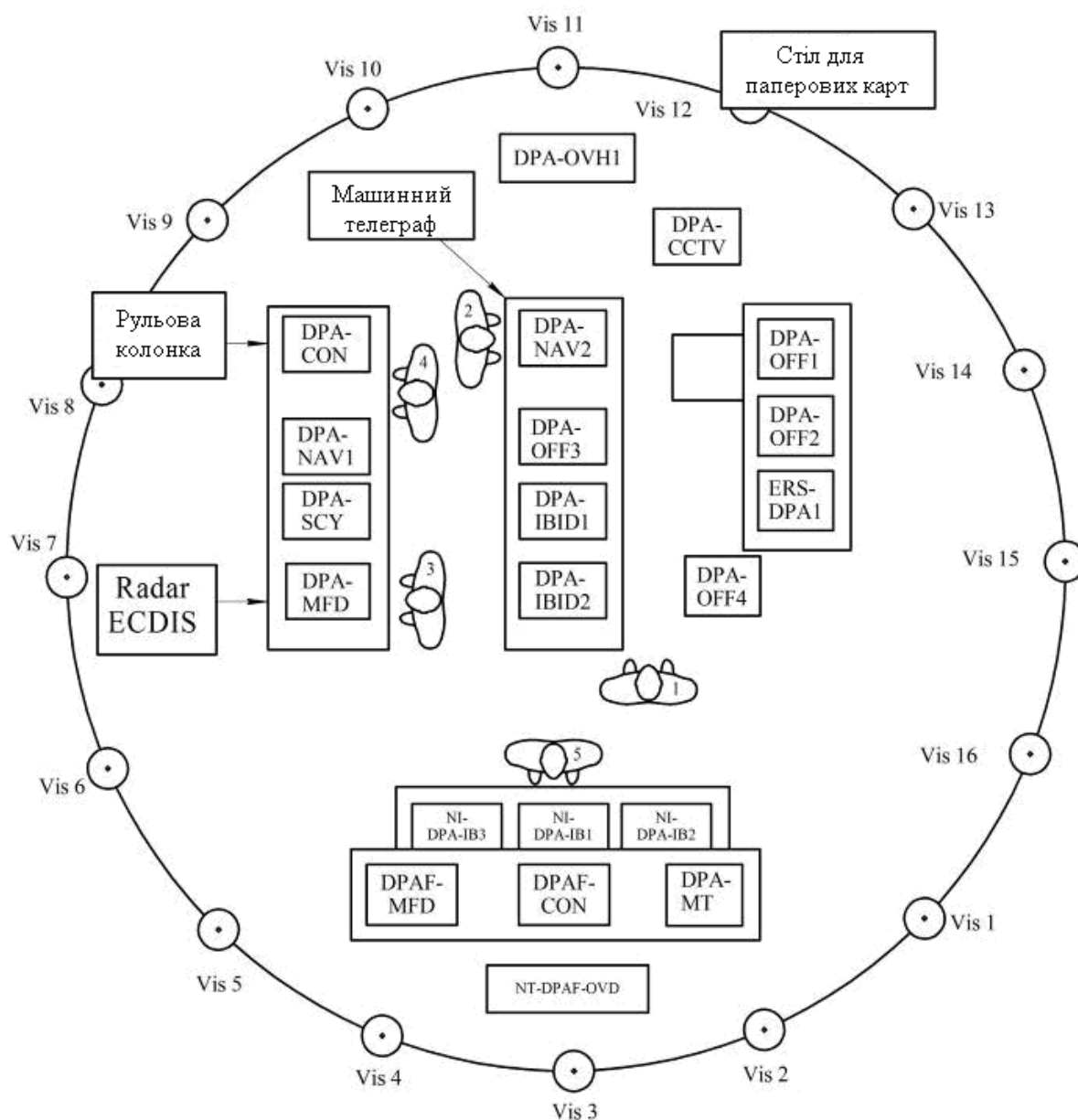


Рисунок 5.1 – Розташування і набір інформаційних інтерфейсів навігаційного тренажера NTPRO 5000 (1 – капітан, 2-4 – 1-3й помічник, 5 – боцман), [196].

Оцінка росту рівня професійної підготовки судноводія пов'язана з необхідністю враховувати не тільки кінцеві результати, а й причинно-наслідкові зв'язки етапів виконання завдання. Ці зв'язки відіграють важливу роль на мікрорівні і вони ж об'єднують етапи виконання завдань на макрорівні. Отже, наявність таких зв'язків дозволяє розглядати інтелектуальну діяльність судноводія як траєкторію реакцій.

Не дивлячись на необхідність ідентифікації стимулів і реакцій що

призводять до прояву людського фактора, судноводії в ході управління судном, часто вибирають власні пріоритети: одні спираються більшою мірою на знання, інші на досвідчені зв'язку і відповідно до цього формують свою модель поведінки. Даний факт підтверджує те, що судноводії адаптуються до існуючої предметної області. Ситуація, що склалася свідчить про проблему незалежності знань щодо практичних умінь в момент прийняття управлінських рішень [74-75].

Пропонується підхід ідентифікації моделі судноводія на основі фактора - часу прийняття рішень і міри невизначеності прогнозу по Ягеру [234].

Побудова моделі судноводія враховує наступні фактори [222]:

- рівень стимулу B_{ij} ;
- рівень реакції B_{ij}^* ;
- час, витрачений на етап виконання завдання, a_{max} , a_{max}^* .

Області побудови траєкторії поведінки поділяється на наступні ділянки:

- ділянку допустимих впливів, Q_{pr} ;
- ділянку мети з боку судноводія Q_p , де $Q_p \in Q_{pr}$;
- ділянку неприпустимих впливів, Q_{npr} , де $Q_{npr} = \Omega - Q_{pr}$.

Дана траєкторія формується самим судноводієм і передбачає виконання певного ряду дій на її вузлах із застосуванням теоретичних знань і практичних умінь, засвоєних під час підготовки. Дії можуть бути сформульовані у вигляді поодиноких завдань з вибором правильних дій. При цьому виникає проблема в комплексній, адекватній оцінці інтелектуальної діяльності судноводія.

Розглянемо процес інтелектуальної діяльності судноводія більш детально. Судноводій, як конструктор власної траєкторії виконання, виконує попередню прокладку і в наступному виконання переходу судна. Дані етапи виконання завдань - B_i , з огляду на те, що рішення передбачає виконання судноводієм ряду дій, надалі будуть розглядатися як складні об'єкти [72].

Ідентифікація людського фактора судноводія визначається відповідно до ступеня вірності його дій та дотримання ним вимог міжнародних нормативних документів, що регламентують процеси управління рухом судна у конкретних

навігаційних ситуаціях.

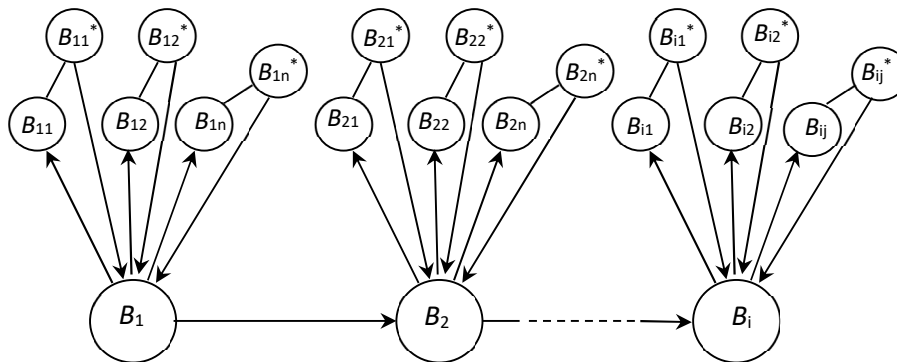


Рисунок 5.2 – Траєкторія дій судноводія: B_i – етапи виконання завдань, які вибрані судноводієм; B_{ij}, B_{ij}^* – стимули і реакції [222]

При плануванні шляху руху судна, судноводій підбирає послідовність етапів виконання навігаційних завдань. Визначена таким чином послідовність $\{B_1, \dots, B_i\}$, $i \in$ індивідуальна траєкторія дій, яка надалі може бути застосована у НІС або СППР для ідентифікації конкретного судноводія та побудови його моделі.

В міру проходження судна за маршрутом, СППР аналізує кількісні результати проявів людського фактора шляхом аналізу наступних характеристик: швидкість прийняття рішень, приналежність до певного класу моделей поведінки, а також рівень успішності виконання окремих завдань. При цьому формується модель поведінки судноводія, визначаються найбільш «сильні», стійкі зв'язки між стимулами і реакціями. Траєкторія дій судноводія зберігається в СППР з метою поліпшення процесів подальшої взаємодії.

Створення адекватних моделей судноводіїв дозволяє визначати індивідуальні стратегії їх поведінки, що, в свою чергу, надає можливість ідентифікувати можливий негативний вплив людського фактора на процеси управління судном та упередити його наслідки.

5.3. Кількісна оцінка впливу людського фактору в системі «Судноводій – НІС»

Дослідження, присвячені питанням визначення причин негативного прояву людського фактора при управлінні судном, проведені в низці робіт різних авторів, дозволяють дійти висновку, що основним чинником його виникнення є некеровані одночасні потоки вхідної інформації, які впливають на підвищення суб'єктивної ентропії ОПР [44,198].

Підвищення суб'єктивної ентропії перешкоджає адекватному сприйняттю судноводієм ситуації, що в багатьох випадках призводить до катастрофічних наслідків. Відстеження рівня суб'єктивної ентропії в період її стрімкого зростання, становить проблему через відсутність механізмів ідентифікації та інструментів впливу на неї, що вимагає розробки систем моделювання інтелектуальної діяльності судноводія [70].

Слід зазначити, що збільшення потоків вхідних даних до кількості більш ніж 7-9 одночасно, обумовлює виникнення складнощів в оцінці навігаційної ситуації та необхідності прийняття вірного і швидкого рішення навіть для досвідченого судноводія.

Вищевказане пов'язано з тим, що у зв'язку із психологічними особливостями сприйняття інформації судноводієм, виникає процес «гальмування» центральної нервової системи, що призводить до вкрай негативних наслідків, особливо в умовах наявності стресу, обмежень часу на прийняття рішень у критичних ситуаціях.

Як правило, кожен інформаційний потік, отриманий від інформаційного інтерфейсу навігаційної системи, вносить альтернативу до прийняття рішення судноводія щодо поточного стану $\sigma_0 \in S_a|_{\sigma_0}$. Таким чином, формується суб'єктивно-імовірнісна модель, що характеризується функцією переваги $\pi(\sigma_i)$ і імовірнісним розподілом альтернатив прийняття рішень $S_a|_{\sigma_0}$ розмірності N . У такому випадку для оцінки інформаційного потоку найбільш близькою є ентропія Больцмана [21], яка має вигляд [198]:

$$H_{\pi} = -\sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i); \quad \sigma_i \in S_a \big|_{\sigma_0} \quad (5.1)$$

Формальний опис ентропії Шенона [44], у такому випадку не може бути використано через відсутність обробки інформації об'ємом в більш ніж одне повідомлення (потік).

Розгляд ентропійного підходу в практичному аспекті, де передбачається прийняття рішень судноводієм як рішення задачі (проблемної ситуації) певного класу k , може бути представлений наступним чином:

$$H_{\pi}^N = -\sum_{s=1}^k L_s \pi_{L_s} \ln \pi_{L_s} \left(k \in \overline{1, N} \right) \quad (5.2)$$

Піднімаючись вгору на один рівень ієрархії проблемної ситуації, приймемо, що $\pi_s = L_s \pi_{L_s}$ - ідентифікація ситуації судноводієм і перевага класу розв'язуваної задачі, тоді:

$$H_{\pi}^k = -\sum_{s=1}^k \pi_s \ln \pi_s - \sum_{s=1}^k \pi_s \ln L_s; \quad \sigma_i \in S_a \big|_{\sigma_0} \quad (5.3)$$

де L_s - кількість альтернатив класу s .

З формули (5.3) видно, що суб'єктивна ентропія судноводія, при заданому $k < N$ досягає максимуму якщо всі π_s рівнозначні між собою і дорівнюють $\frac{1}{k}$.

$$H_{\pi}^k = -\sum_{s=1}^k \pi_s \ln \pi_s - \sum_{s=1}^k \pi_s \ln L_s; \quad \sigma_i \in S_a \big|_{\sigma_0} \quad (5.4)$$

Як наслідок, $H_{\pi}^k = \frac{1}{k} (k \ln - \ln(L_1, L_2, \dots, L_k)) = \ln k - \ln \sqrt[k]{L_1, L_2, \dots, L_k}$.

Таким чином, наявність еквівалентних класів проблемних ситуацій, в яких хоча б одне $L_s > 1$, призводить до зменшення суб'єктивної ентропії судноводія. Із зазначеного формального опису ситуації слідує, що визначення судноводієм пріоритету з класів розв'язуваних проблемних ситуацій або завдань в класі істотно знижує ймовірність прийняття необґрунтованих і неадекватних рішень [198].

Вищезазначене дозволяє зробити висновок, що необхідність ідентифікації

моментів підвищення суб'єктивної ентропії і механізмів її зменшення є актуальним завданням у вирішенні проблеми зниження негативного впливу людського фактора на процеси управління судном.

Таким чином, з метою мінімізації негативного впливу людського фактора на процеси управління судном, виникає необхідність у створенні технічних засобів у вигляді інтелектуальних інтерфейсів, що дозволять як ідентифікувати проблемну ситуацію, так і вплинути на визначення судноводієм пріоритету класу задач або безпосередньо завдання в класі. Також необхідним є створення відповідних математичних моделей взаємодії судноводія та інтелектуального інтерфейсу у момент підвищеної суб'єктивної ентропії з метою запобігання негативним проявам людського чинника.

Математична модель процесу взаємодії ОПР з НІС може бути побудована наступним чином. Нехай існує позаштатна ситуація з альтернативами прийняття рішень d . Кожна альтернатива характеризується відношенням до найбільш вірних дій O_d судноводія, v_d часткою переваг у виборі альтернативи pc_d і значенням інформативності.

Нехай ε - частка факторів, що впливають на підвищення і зниження суб'єктивної ентропії, ε_{d+} та ε_{d-} , які адитивно впливають на прийняття рішення судноводієм. У такому випадку підсумкове значення інформативності переваг судноводія становитиме $v_d = v_d + \varepsilon_{d+} - \varepsilon_{d-}$ [198].

Передбачається, що рівень підвищення суб'єктивної ентропії судноводія ε^l , залежить від підсумкових значень інформативності альтернатив наступним чином [198]:

$$\varepsilon^l = \frac{f(v_d)}{\sum_{k=0}^N f(v_{dk})} \quad (5.5)$$

Функція перетворення $f(\cdot)$ невід'ємна і монотонно зростає на множині допустимих показників інформативності переваг судноводія.

При здійсненні контролю за потоками інформації і методами їх подання судноводієві з боку інтелектуального інтерфейсу, частка альтернатив вірних дій залежить від інформативності наступним чином [198]:

$$O(v) = \sum_{d=0}^N \left(O_d \left(\frac{\mathcal{E}f(v_d)}{\sum_{k=0}^N f(v_k) + (1-\varepsilon)pc_d} \right) \right) / \sum_{d=1}^N \left(\frac{\mathcal{E}f(v_d)}{\sum_{k=0}^N f(v_k) + (1-\varepsilon)pc_d} \right) \quad (5.6)$$

Позначимо ресурси інтелектуального інтерфейсу, залучені на активацію уваги судноводія щодо альтернатив прийняття рішень d , як W_+^a, W_-^a , та припустимо, що частка факторів, які впливають на зменшення і підвищення суб'єктивної ентропії судноводія рівнопропорційні, тобто $\varepsilon_{d+}^a \geq 0, \varepsilon_{d-}^a \geq 0$. У такому випадку стратегія функціонування інтелектуального інтерфейсу буде визначається вектором $\varepsilon^a = (\varepsilon_{d+}^a, \varepsilon_{d-}^a, d = 1, \dots, N, W_+^a, W_-^a)$, що задовольняє наступним обмеженням [198]:

$$\sum_{d=1}^N \varepsilon_{d+}^a = W_+^a, \sum_{d=1}^N \varepsilon_{d-}^a = W_-^a, W_+^a + \lambda W_-^a \leq W^a \quad (5.7)$$

де λ - показує відносний вплив суб'єктивної ентропії, W^a - загальний ресурс інтелектуального інтерфейсу, що витрачаються на вирішення проблемної ситуації.

Аналогічно, вплив суб'єктивної ентропії судноводія на ситуацію ψ визначається вектором $\varepsilon^\psi = (\varepsilon_{d+}^\psi, \varepsilon_{d-}^\psi, d = 1, \dots, W_+^\psi, W_-^\psi)$, який задовольняє обмеженням [198]:

$$\sum_{d=1}^N \varepsilon_{d+}^\psi = W_+^\psi, \sum_{d=1}^N \varepsilon_{d-}^\psi = W_-^\psi, W_+^\psi + \lambda W_-^\psi \leq W^\psi \quad (5.8)$$

Стратегії ε^a та ε^ψ визначають вектор ступені інформативності переваг $v(\varepsilon^a, \varepsilon^\psi) = v + \varepsilon_+^a - \varepsilon_-^a + \varepsilon_+^\psi - \varepsilon_-^\psi$ і значення $O(\varepsilon^a, \varepsilon^\psi)$.

За вищезазначених умов, стратегія оптимального функціонування інтелектуального, або адаптивного інтерфейсу навігаційної системи виглядатиме

наступним чином [198,222]:

1. При очікуваних проявах суб'єктивної ентропії для судноводія і фіксованих початкових W_+^a, W_-^a визначається оптимальна стратегія інтелектуального інтерфейсу, яка максимізує частку результативних альтернатив прийняття рішень судноводієм:

$$\varepsilon^{a*}(\varepsilon^\psi) \rightarrow \max_{\varepsilon^a} O(\varepsilon^a, \varepsilon^\psi) \quad (5.9)$$

Аналогічним чином знаходимо:

$$\varepsilon^{\psi*}(\varepsilon^a) \rightarrow \min_{\varepsilon^\psi} O(\varepsilon^a, \varepsilon^\psi) \quad (5.10)$$

2. При фіксованих ресурсах $W_+^a, W_-^a, W_+^\psi, W_-^\psi$ необхідно знайти оптимальну максимінну і мінімаксну стратегії для інтелектуального інтерфейсу і проявів суб'єктивної ентропії судноводія:

$$\bar{\varepsilon}^a \rightarrow \max_{\varepsilon^a} \min_{\varepsilon^o} O(\varepsilon^a, \varepsilon^\psi) = \varphi^o(B^a, B^\psi) \quad (5.11)$$

$$\bar{\varepsilon}^\psi \rightarrow \max_{\varepsilon^\psi} \min_{\varepsilon^a} O(\varepsilon^a, \varepsilon^\psi) = \varphi^u(B^a, B^\psi) \quad (5.12)$$

Якщо сідлових точок φ^u не існує, то слід дослідити ситуацію в змішаних стратегіях.

В умовах навчання морських фахівців з використанням комп'ютеризованих тренажерів, можливе застосування адаптивних інтелектуальних інтерфейсів, здатних мінімізувати негативні прояви людського чинника O^* на морському транспорті:

$$W^{au} = \min \{ W^a \mid \varphi^u(W^a, W^\psi) \geq O^* \} \quad (5.13)$$

Формально, запропонована модель може бути представлена у наступному вигляді. Позначимо як $P = (1 - \varepsilon) \sum_{d=1}^N p c_d$ - частку можливих альтернатив

прийняття рішень у проблемній ситуації, $O^c = \frac{\sum_{d=1}^N O_d p c_d}{\sum_{d=1}^N p c_d}$ - середню стійкість

альтернатив до дій інтелектуального інтерфейсу,

$m_0 = \frac{O l^c}{\varepsilon + p}$, $p_0 = \frac{p}{p + \varepsilon}$, $m_d = \frac{(\varepsilon O_d + p O^c)}{\varepsilon + p}$ - модифіковану стратегію зниження

негативних проявів людського фактора, $\mathcal{G} = \sum_{d=1}^N f(v_d) + f(v_0) \cdot s_0$. Тоді функцію

позитивного впливу інтелектуального інтерфейсу можна представити у вигляді [198]:

$$O(v) = \frac{\left(\sum_{d=1}^N f(v_d) m_d + f(v_0) \cdot m_0 \right)}{\mathcal{G}} \quad (5.14)$$

Запропонована модель дозволяє впливати на процеси прийняття рішень судноводієм в умовах спонтанного підвищення рівня функціональної ентропії шляхом акцентування уваги судноводія на кращих альтернативах засобами інтелектуального інтерфейсу навігаційної системи.

Розглянуті формальні підходи в моделюванні інтелектуальної діяльності судноводія в умовах критичного підвищення рівня суб'єктивної ентропії дозволяють визначити пріоритети дій судноводія у процесах управління судном. Розроблений підхід передбачає наявність програмно апаратних засобів ідентифікації рівня підвищення суб'єктивної ентропії судноводія і механізмів підтримки та повернення на траєкторію результативних дій в умовах наявності позаштатних ситуацій [222].

5.4. Модель судноводія та метод її формування в СППР

Врахування та часткове нівелювання негативного впливу людського фактора у СППР судноводія може бути досягнуте шляхом застосування вбудованої моделі судноводія.

Відомо, що стан готовності судноводія приймати управлінські рішення описується двома взаємозалежними областями - деякий допустимий розподіл факторів, що впливають, і попереджуючі сигнали СППР. Також слід враховувати рівень корисності дій судноводія в умовах прийняття рішень у певних навігаційних ситуаціях. З метою зниження негативного впливу людського фактору попереджувальні сигнали СППР повинні бути сформовані таким чином, щоб нівелювати загрози, що виходять від судноводіїв, які найбільш схильні до прийняття помилкових рішень.

Розглянемо більш детально процеси переходу з усвідомленого стану судноводія в інтуїтивний, неконтрольований стан, індивідуальні чинники, що впливають на даний процес, а також аналіз інтуїтивного стану судноводія на предмет корисності його дій.

Відомо, що момент переходу в інтуїтивний стан залежить від інтенсивності надходження інформаційних факторів і їх природи, виникає «інформаційний поріг» (ІП) . Перевищення вказаного ІП призводить до того, що судноводій переходить до інтуїтивних, неусвідомлених дій [73].

Адаптація інформаційних повідомлень СППР у такому випадку полягає у тому, щоб не порушувати баланс розподілу інформаційного навантаження між членами вахтової служби, засобами, які відстежують сигнали, що надходять, а також прогнозують можливі позаштатні ситуації (Рис. 5.3).

Зовнішнє середовище максимізує корисність членів вахтової служби. Якщо в певному стані судноводій або члени вахтової служби відчують ІП, корисності дій можуть бути збільшені ІС за рахунок певного перерозподілу інформаційних потоків між ними [73,222] .

Аналіз балансу інформаційних впливів на судноводія (рис. 5.3) дозволить уточнити індивідуальні причинно-наслідкові зв'язки, що приводять судноводіїв у зону ризику.

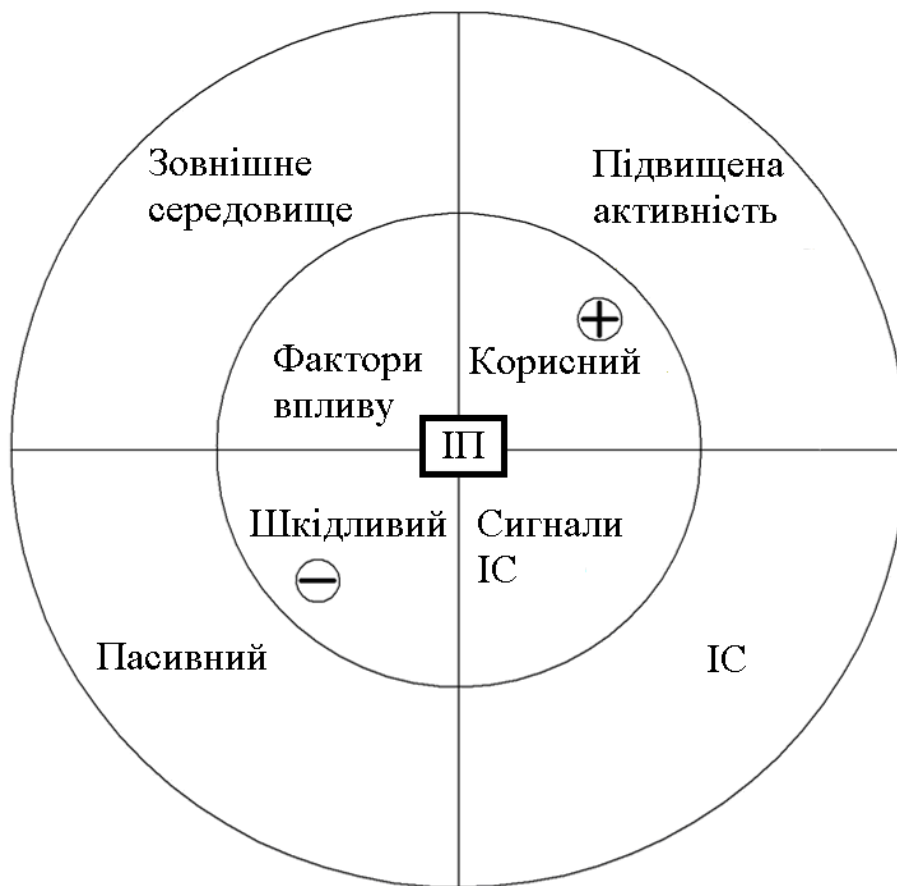


Рисунок 5.3 – Баланс інформаційних впливів на судноводія [73,222]

Для визначення алгоритму знаходження найбільш результативних реакцій доцільно застосувати модернізований метод формування моделі користувача в процесі діалогової взаємодії у вигляді циклу, що повторюється (рис. 5.4).

Особливість запропонованого методу формування моделі судноводія полягає у тому, що спочатку формуються відомості про судноводіїв у формально-логічному вигляді. Дані відомості дозволять сформувати знання про сукупність, природу та інтенсивність факторів відповідно до окремо взятого судноводія. Крім того, важливо відстежити в кожному з окремих випадків полярність інтуїтивної поведінки з метою прогнозування і запобігання можливим катастрофам з вини людського фактору.

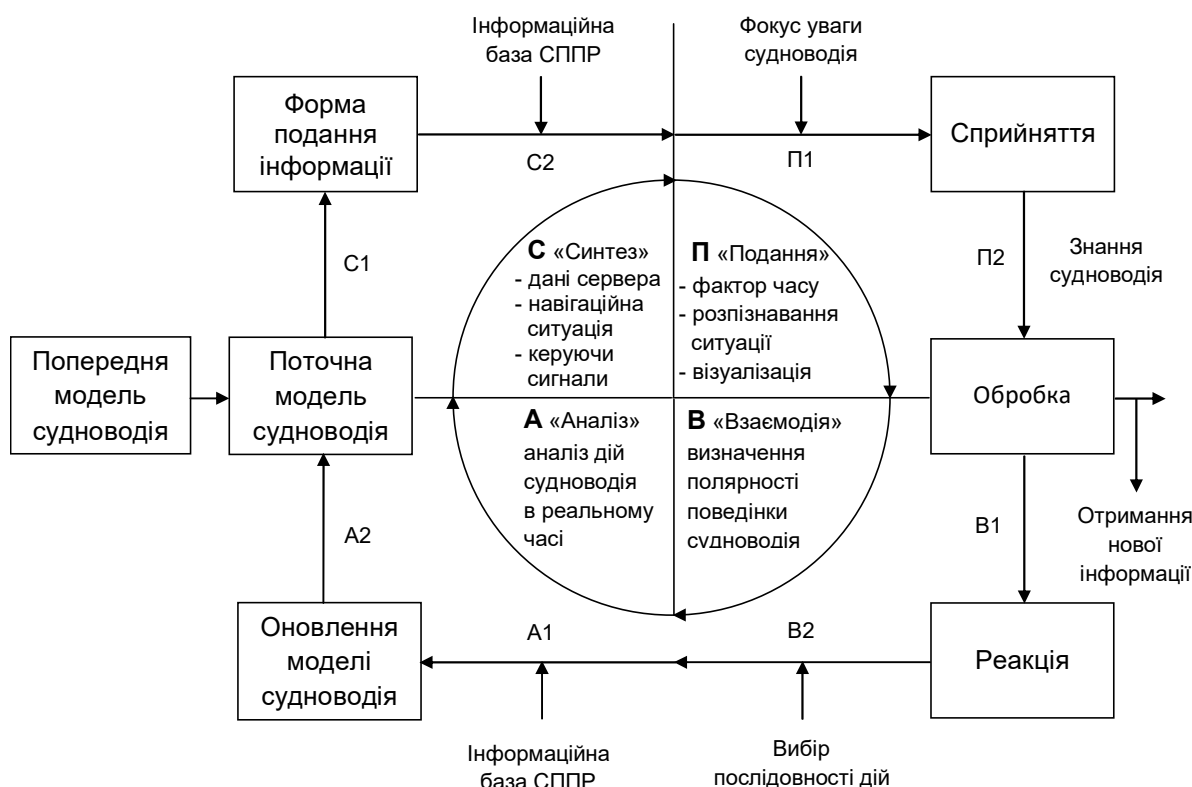


Рисунок 5.4 – Процес формування моделі судноводія у дискретному часі [73,222]

Представимо вищевказану ситуацію у формальному вигляді. Нехай X_i - деякі множини альтернатив взаємодії СППР з судноводієм, i - індивідуальний індекс судноводія, що входить до складу вахтової служби $I = \{1, 2, \dots, n\}$, що складається з n членів. На кожній множині X_i , СППР визначено бінарні відносини Θ_i , що інтерпретуються, як сильні і слабкі сторони i -го судноводія, згідно з якими СППР порівнює різні альтернативи з X_i . Якщо $X_i \subset R_+^l$, де R_+^l - позитивний ортант евклідового простору розмірності l , якщо l - число факторів, то $x_i \in X_i$ - вектор складається з набору $x_i = (x^1, \dots, x^l)$ інформаційних потоків, який отримує i -й судноводій [73,222].

Набір векторів $x = (x_i) \in X$, де $X = \prod_{i \in I} X_i$ - добуток множин X_i назовемо розподілом в групі I . При цьому, множину допустимих розподілів будемо описувати за допомогою деякої множини $B \subset X$. Тоді, нехай,

$B = \left\{ x \in X \mid \sum_{i=1}^I x_i \leq \Omega \right\}$ - множина всіх перерозподілів, сумарний запас яких становить менше деякого фіксованого набору факторів $\Omega \in R_+^I$.

Припустимо, що при виявленні дисбалансу $x \in B$, i -й судноводій відчуває певний ІП, який можна виразити дійсним числом $t_i(x)$. Можна припустити, що кожен i -й судноводій має перевагу на множині допустимих станів B , яке дозволяє СППР порівнювати різні стани x' , $x \in B$ з точки зору його індивідуальних особливостей сприйняття інформації, а $t_i(x)$ - біполярна функція корисності, яка представляє Q_i . Таким чином, для переваги Θ_i визначеній на X_i існує певна функція корисності $u_i(x_i)$ [73,222].

Розглянемо ситуацію, коли на основі аналізу моделі окремого судноводія $i \in I$, ІС вимірює диференціацію по корисності деякого розподілу $x = (x_i) \in B$ за допомогою індивідуальної міри ІП, такої, що:

$$t_i(x) = \sum_{j \in I} \max[u_i(x_j) - u_i(x_i), 0] \quad (5.15)$$

Завданням СППР є визначення для кожного судноводія $i \in I$ певного порогу $\gamma_i, 0 \leq \gamma_i \leq 1$. Набір порогів ІП, $\{\gamma_i\} = \gamma$, інтерпретується як множина пріоритетів, що призначаються СППР [73,222].

Таким чином, послідовність дій СППР, пов'язаних з процесом формування моделі судноводія замикається в цикл, якій повторюється, і з кожною ітерацією якого відбувається оновлення моделі судноводія, та, як наслідок, зміна його ІП (Рис. 5.5.).

З вищезначеного зрозуміло, що інтелектуальний аналіз інформації, що надходить судноводію, який приймає управлінські рішення в момент несення вахти, можливий, якщо в реальному часі відстежувати дані з усіх бортових приладів і датчиків.

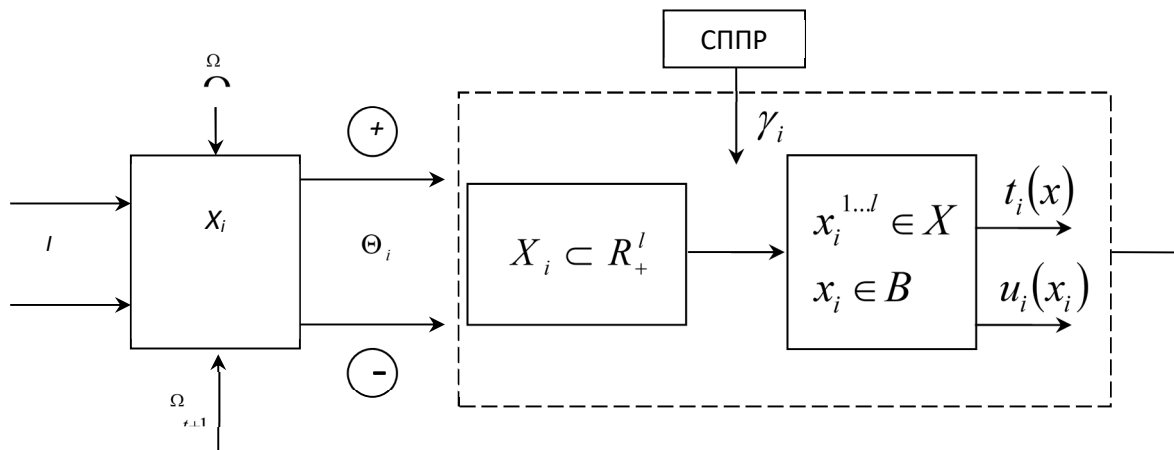


Рисунок 5.5 – Цикл оновлення моделі судноводія з урахуванням ІП [73,222]

В умовах тренажерної практики з'являється можливість обробки таких даних по ряду критеріїв, які формуються на сервері тренажера NTPRO 5000 (рис. 5.6), [73,222].

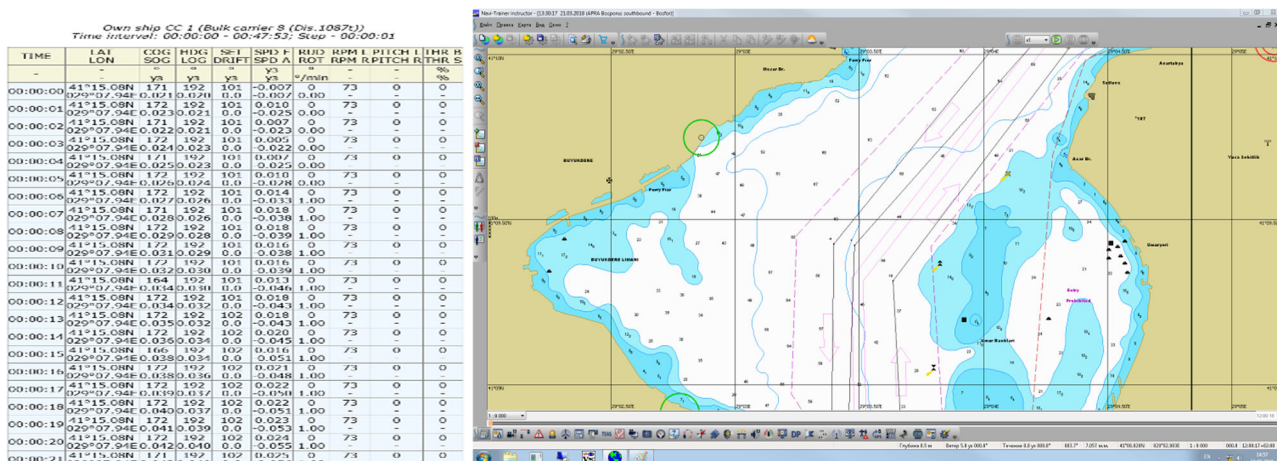


Рисунок 5.6 – Дані з сервера NTPRO 5000 з точністю дискретизації 1 сек.

Завданням СППР є знаходження ІП як періоду інтелектуальної поведінки судноводія і виявлення небезпечних дій або бездіяльності, що призводять до негативних наслідків. З метою конвертації даних сервера в вільну, реляційну систему управління базами даних MySQL та формат Microsoft Excel розроблено програмне забезпечення, яке працює за наступним алгоритмом (рис. 5.7). Вказане програмне забезпечення дозволяє також проводити аналіз на предмет виявлення зіткнень судна в процесі тренажерної підготовки.



Рисунок 5.7 – Алгоритм конвертації і аналізу даних сервера NTPRO 5000
[73,222]

Більш детально результати практичної обробки даних за запропонованим алгоритмом наведені у цьому розділі дисертаційного дослідження.

5.5. Моделювання проявів людського фактора команди на навігаційному містку судна

Одним з важливих етапів організації роботи на судні є формування злагодженої та ефективно діючої суднової команди, яке повинно відбуватися з урахуванням поведінкових особливостей кожного з її членів при прийнятті управлінських рішень. Такий підхід обумовлений заходами безпеки відповідно до міжнародних стандартів і положень.

Під час керування судном, як в реальних умовах, так і під час проходження тренажерної практики виникає ряд складнощів пов'язаних з негативним проявом людського фактора. Вказані прояви безпосередньо позначаються на результаті проходження локацій та інших маневрів в момент управління судном командою

на капітанському містку. Ситуація ускладнюється тим, що крім факторів що безпосередньо впливають на кожного фахівця, існують фактори впливу від членів команди [71,75]. Чим складніше завдання й особливості локації, тим з більшим числом інформаційних сигналів стикається судноводій.

У момент прийняття рішень число таких інформаційних сигналів може перевищувати поріг сприйняття, що призводить до втрати концентрації уваги і як наслідок підвищує суб'єктивну ентропію судноводія.

Отже, важливим етапом є проведення аналізу переміщень членів вахтової команди що призводять до зниження рівня безпеки в процесі управління судном. Вирішення вищезазначеної проблеми лежить у площині визначення взаємодій судноводіїв, що призводять до зниження рівня безпеки при несенні вахтової служби.

В умовах несення вахти, особливо при відпрацюванні маневрів у складних локаціях на прийняття рішення з управління судном впливають кілька членів вахтової служби. У випадку зміни навігаційної ситуації капітан дає команду до негайного посилення вахти на містку. Як правило, на таке рішення впливає: видимість, стан погоди і моря, інтенсивність судноплавства та інші особливості навігаційної обстановки. При цьому кількість членів вахтової служби збільшується, що також є чинником додаткового негативного впливу на рішення судноводія.

З метою побудови формальної моделі взаємодії членів вахти розглядалась наступна схема [222]. У ході маневрів вахтовий помічник звертається до вахтового персоналу для уточнення показань навігаційних приладів та інших параметрів, необхідних для управління судном. Таким чином, виникають локальні короткочасні взаємодії між членами вахти і вахтовим помічником (капітаном).

Прийmemo, що у взаємодії беруть участь два суб'єкти: W - перший помічник або капітан і M - член вахтового персоналу. У даному прикладі інструктаж здійснює капітан до початку проходження локації, а безпосередньо в момент проходження командування бере на себе перший помічник (рис. 5.8).

Таким чином, учасник під номером 1 (капітан) не бере участь у взаємодії команди, але може допомагати першому помічникові. Кожна вахтова взаємодія вирішує локальне завдання управління судном на поточний момент часу.

У процесі переходу команда виконує n завдань різного виду, які, в свою чергу, складаються з кінцевої послідовності операцій залежно від їх складності $u_i, i = 1, \dots, n$.

Члени вахтової служби W і M розподіляються на взаємодіючі групи, такі що: $W_1, \dots, W_{\bar{Q}}$ і $M_1, \dots, M_{\bar{S}}$ в залежності від рівня кваліфікації та досвіду (рис. 5.8).

Для представленої ситуації відбувається формування груп W_R, M_S з метою виконання завдань n , які призводять до результату C_i^R, \bar{C}_i^S [222].

Для опису моделі задамо: множину I різних груп взаємодії учасників вахтової служби $N^Q, Q \in I$; множину $H = \{\psi\}$ можливих типів взаємодій, де $\psi = \langle Q(1, \psi), \dots, Q(m(\psi), \psi) \rangle$, $m(\psi)$ - число учасників взаємодій ψ , $Q(i, \psi) \in I$ - група, до якої належить учасник з номером i ; функцією $\vartheta(\psi)$, що вказує для $\psi \in H$ значення результативності локальні завдання, які об'єдналися у взаємодію ψ .

Позначимо через $\langle Q \rangle$ тип взаємодії, якій відповідає окремому, ні з ким не поєднаному учаснику вахти Q (рис. 5.9) [222]. Вказаний учасник вахти може бути як вахтовим помічником з великим досвідом роботи і який ігнорує членів вахтового персоналу або ж незатребуваним членом вахтового персоналу з огляду на низьку кваліфікацію, тоді $\forall Q \in I \langle Q \rangle \in H, \vartheta(\langle Q \rangle) = 0$. У зазначеній ситуації буде справедливою умова: $H = \{\langle Q \rangle, Q \in I\} \cup \{\langle W_R, M_S \rangle, R = 1, \dots, \bar{Q}, S = 1, \dots, \bar{S}\}$ при $I = \{W_1, \dots, W_{\bar{Q}}, M_1, \dots, M_{\bar{S}}\}$.

Виходячи з прагнення учасників вахти до максимізації керованості судном, природно вважати, що при об'єднанні учасників з груп W_R, M_S , вони будуть давати результат: $i \rightarrow \max_{j=1, \dots, n} (u_j - C_j^R - \bar{C}_j^S)$, тобто $\vartheta(\langle W_R, M_S \rangle)$ [222].

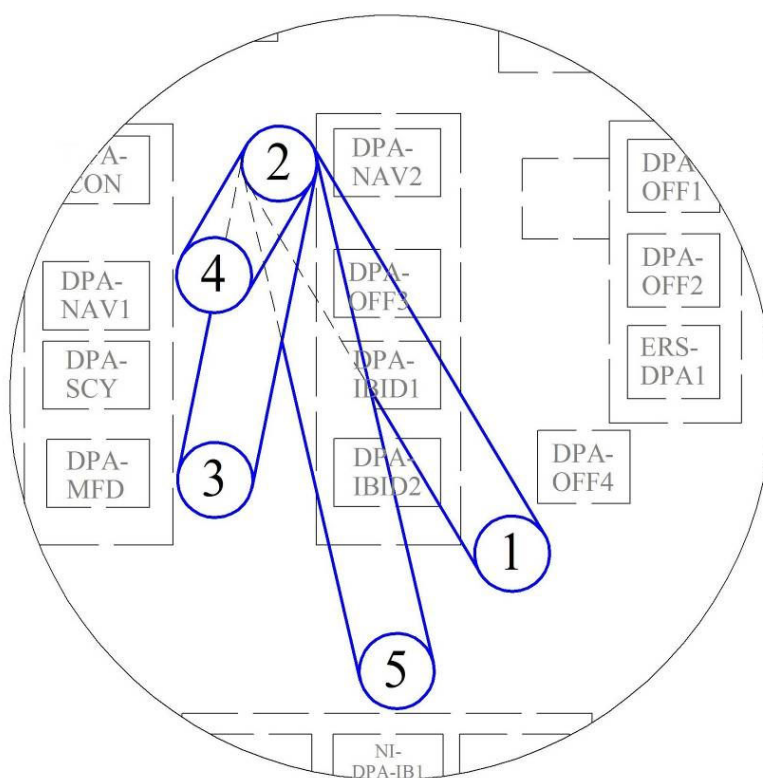


Рисунок 5.8 – Планована взаємодія судноводіїв [222]

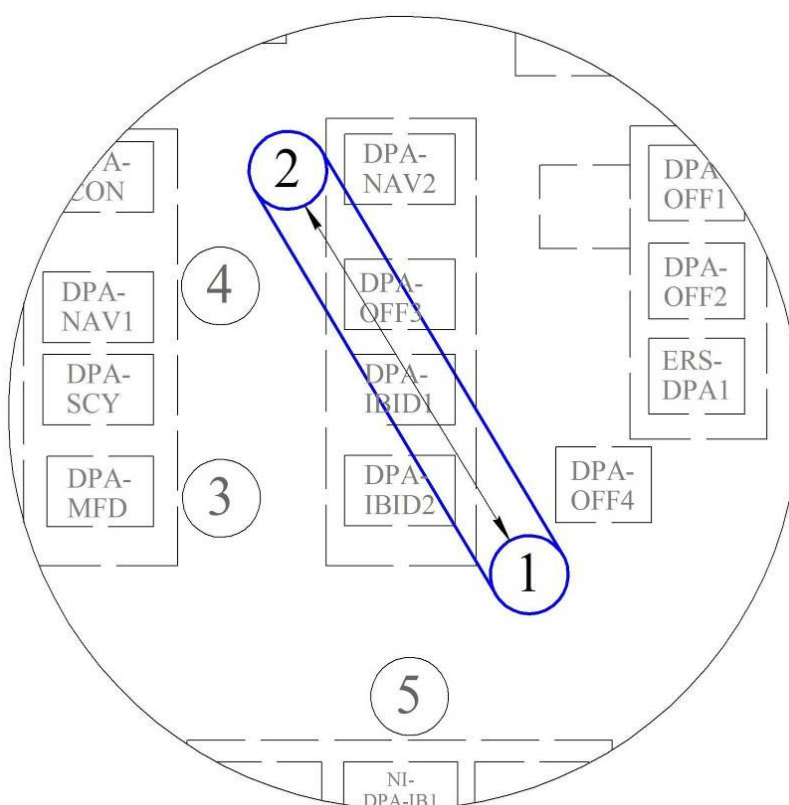


Рисунок 5.9 – Взаємодія капітана і першого помічника [222]

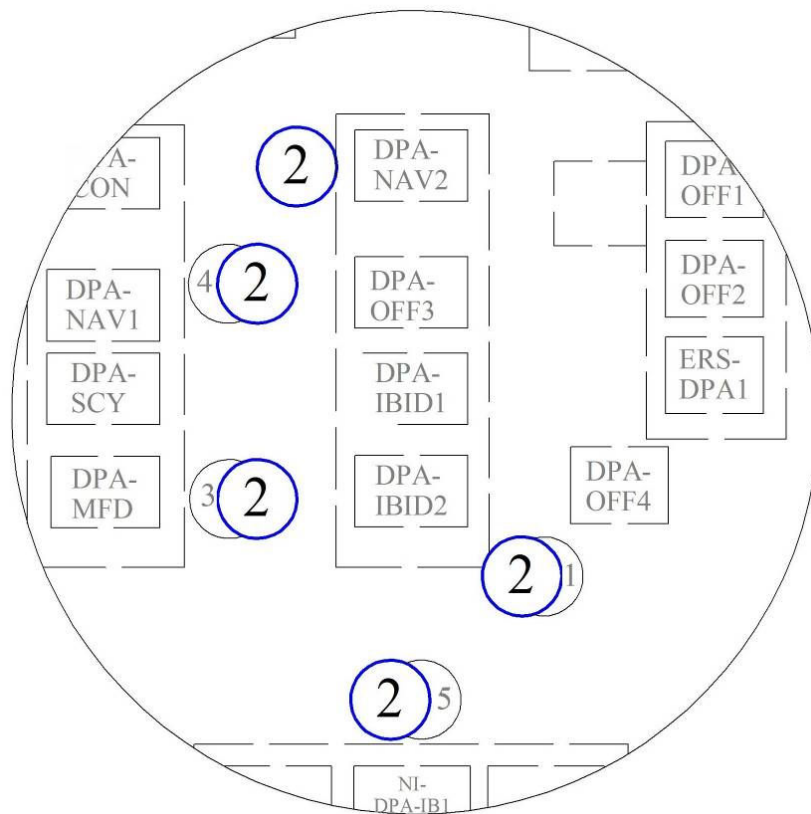


Рисунок 5.10 – Дублювання членів вахтової служби [222]

Ситуація, коли $\langle Q \rangle$ є вахтовим помічником капітана, цілком обґрунтована в умовах переходів з мінімальним ризиком, проте, в умовах складного маневрування це може привести до серйозних негативних наслідків. У разі, коли $\langle Q \rangle$ член вахтового персоналу, кваліфікації якого не довіряє вахтовий помічник, малоймовірна.

Згідно з рис. 5.10, зниження рівня безпеки може передувати дублювання функцій вахтового персоналу вахтовим помічником. Навіть у ситуаціях, коли маневр був виконаний успішно, втрата досвіду вахтовим персоналом зважаючи на бездіяльність спричинить надалі негативні наслідки.

Вищевказане виправдано у випадках, коли вахтовому помічнику необхідна підтримка більш досвідченого судноводія, а діючий член вахтової служби не справляється з поставленим завданням у відведений час. У таких випадках виникають можливі неузгоджені дії і як наслідок, зниження рівня безпеки [222].

У процесі виконання НДР [222], було проведено наступний експеримент. На повнофункціональному навігаційному містку тренажера NTPRO 5000 сформована вахтова команда з п'яти осіб (капітан, 1й-3й помічник капітана і боцман). Перед початком прокладки курсу, капітан провів інструктаж щодо особливостей місцевості та завантаженості трафіку руху суден у визначеній локації (рис. 5.11).

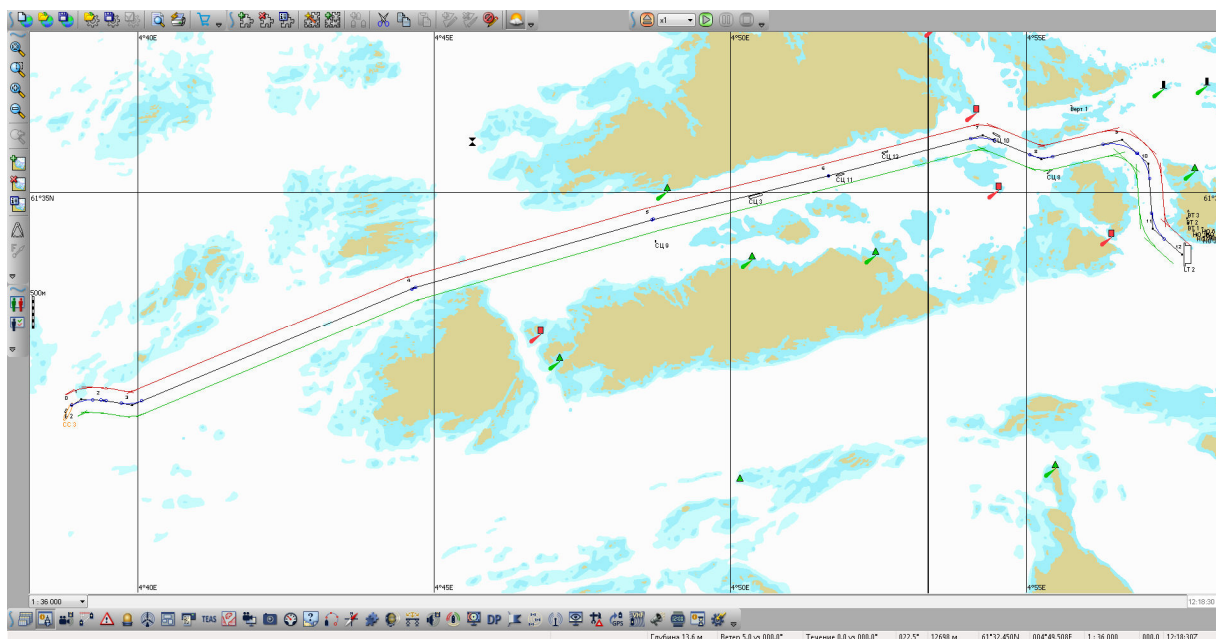


Рисунок 5.11 – Траєкторія переходу судна в локації

Опишемо взаємодію членів команди формально. Тоді, N_Q при $Q = 1, \dots, \bar{Q}$ і \tilde{N}_S при $S = 1, \dots, \bar{S}$ - приймемо як чисельність груп взаємодій вахтового персоналу різної кваліфікації у порядку її зниження.

Аналіз відеоматеріалів з виконання завдань членами вахтової служби показав, що функція результативності окремого завдання $\mathcal{Q}(\langle W_Q, M_S \rangle)$ монотонно убиває по Q і S , тобто спостерігається підвищення результативності дій за рахунок участі більш кваліфікованого члена вахти.

З метою ідентифікації положення членів вахтової служби також була розроблена комп'ютерна програма, яка фіксувала їх локальні переміщення і здійснювала синхронізацію з моментами прийняття рішень з управління рухом судна [222].

Для визначення місця розташування членів команди було використано трикомпонентну систему, що складалась з маячків, натільних датчиків і сервера. Маячки M_i , ($i \in (1..m)$), являють собою BLE-передавачі (Bluetooth Low Energy), виконані з використанням технології Arduino у зв'язці з модулем AT-09 BLE.

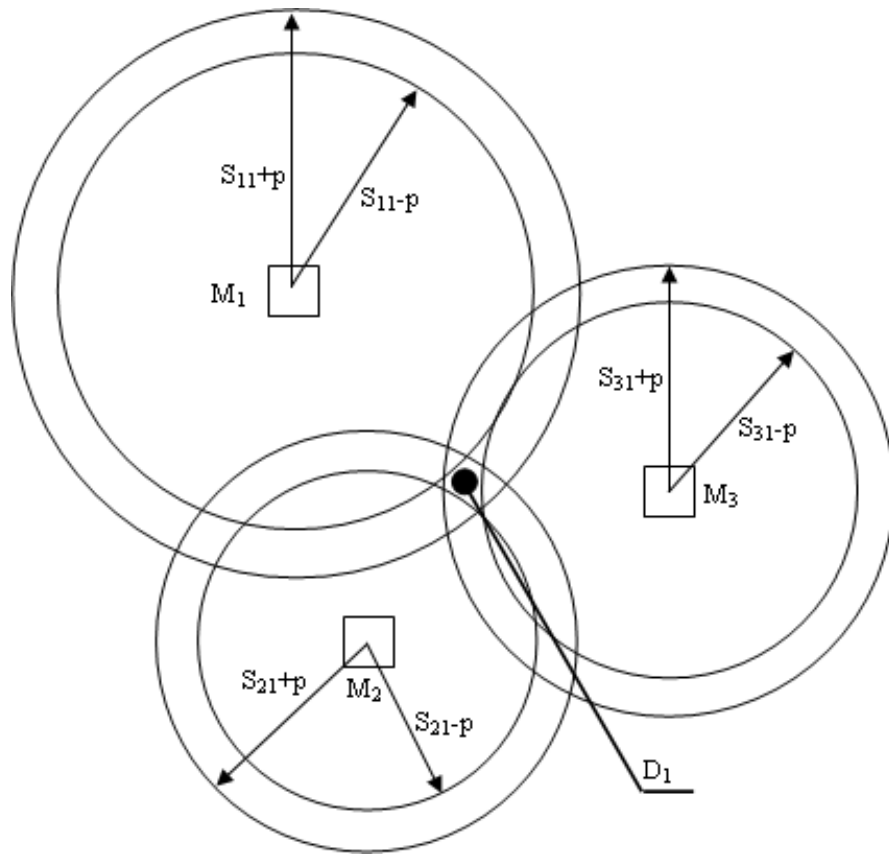


Рисунок 5.12 – Схема визначення положення об'єкта по відстанях [222]

Натільні датчики D_k ($k \in (1..d)$) виконані з використанням плати Arduino Mega 2560, датчика пульсу, датчика температури і Wi-Fi модуля ESP8266. Всі маячки і датчики мають свої акумулятори, що робить їх автономними. Датчики D_k підключаються до всіх маячків M_i по черзі і приймають від них час передачі пакета $T_{\text{пак}}$. На основі $T_{\text{пак}}$ визначається відстань S_{ik} між маячком M_i і датчиком D_k з деякою погрішністю p . Для однозначного визначення координат місця розташування об'єкта з датчиком, необхідно отримати інформацію мінімум від трьох маячків [222].

Збільшення кількості маячків призводить до збільшення точності визначення показань. Сервер отримує мережею Wi-Fi дані відстаней, а також датчиків температури і пульсу. Також на ньому прописані координати всіх встановлених BLE-маячків, що дозволяє накопичувати у своїй базі даних (БД) координати знаходження об'єкта у реальному часі (рис 5.13).

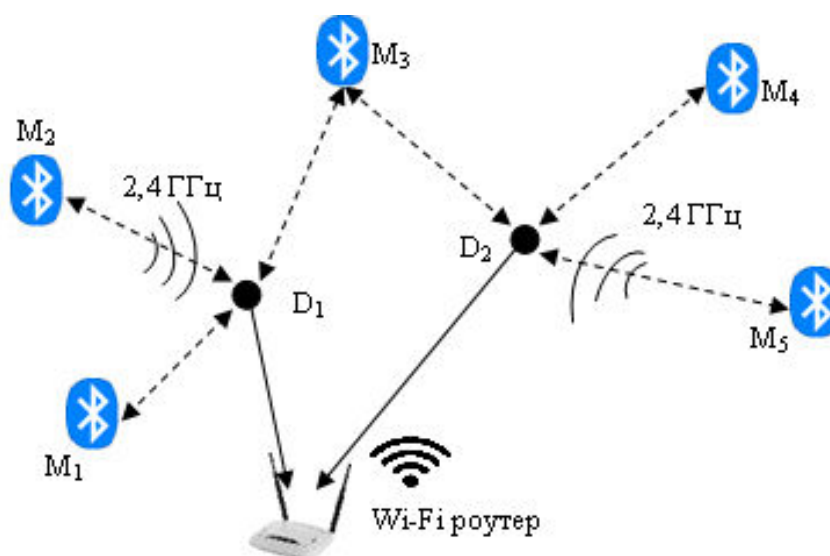


Рисунок 5.13 – Загальна схема роботи системи [222]

Маячки M_i можуть бути розташовані на різних висотах, як і натільні датчики D_k . З огляду на цей факт, відбуватиметься перетин трьох сфер. Загальна частина перетину і буде визначати місцезнаходження об'єкта з певним датчиком. Збільшення кількості маячків дозволить уникнути сліпих зон і підвищити точність показань.

На сервері встановлена спеціальна програма, що реєструє переміщення всіх членів команди з датчиками що під'єднано. Всі їх параметри (координати, пульс і температура) кожні кілька секунд зберігаються у БД. Існує можливість переглянути всі переміщення членів команди з метою проведення поведінкового аналізу. Загальна схема роботи системи представлена на рис. 5.13.

Програмно-апаратний комплекс дозволяє ідентифікувати не тільки місце розташування членів вахтової служби, а й фізіологічні характеристики, такі як

пульс і температуру тіла. Дані характеристики можуть свідчити про рівні стресу і психічний стан кожного з судноводіїв (рис. 5.14) [78,222].

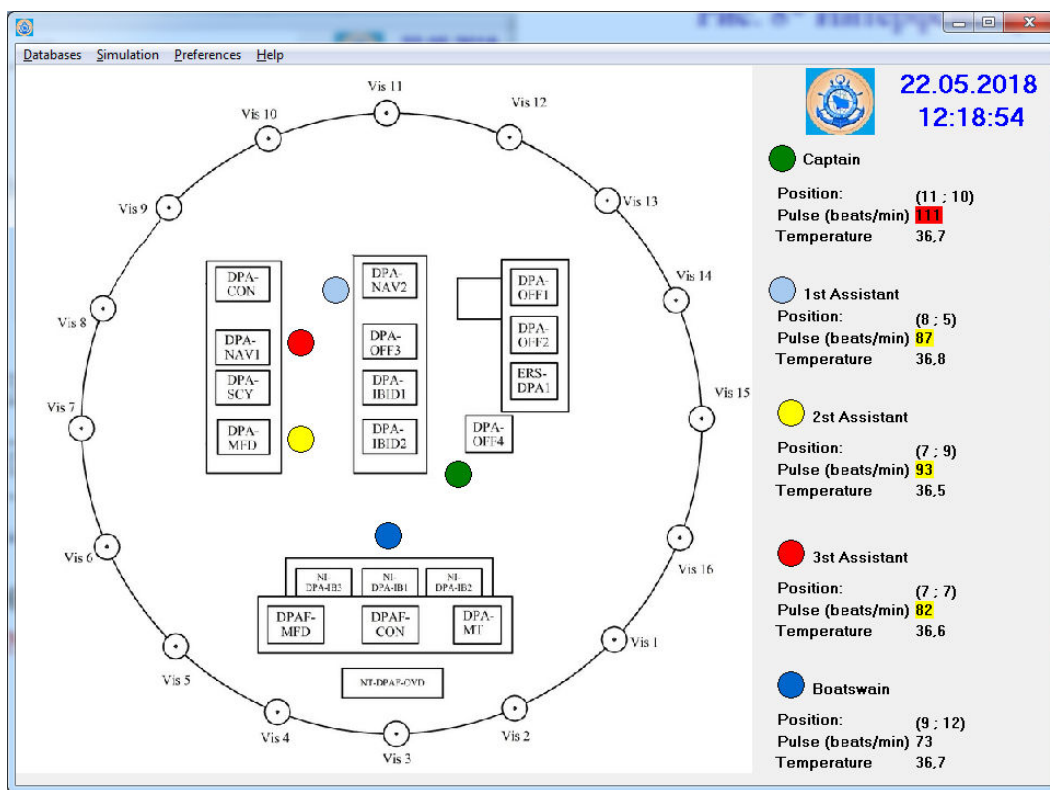


Рисунок 5.14 – Інтерфейс інформаційної системи ідентифікації людського фактора [78]

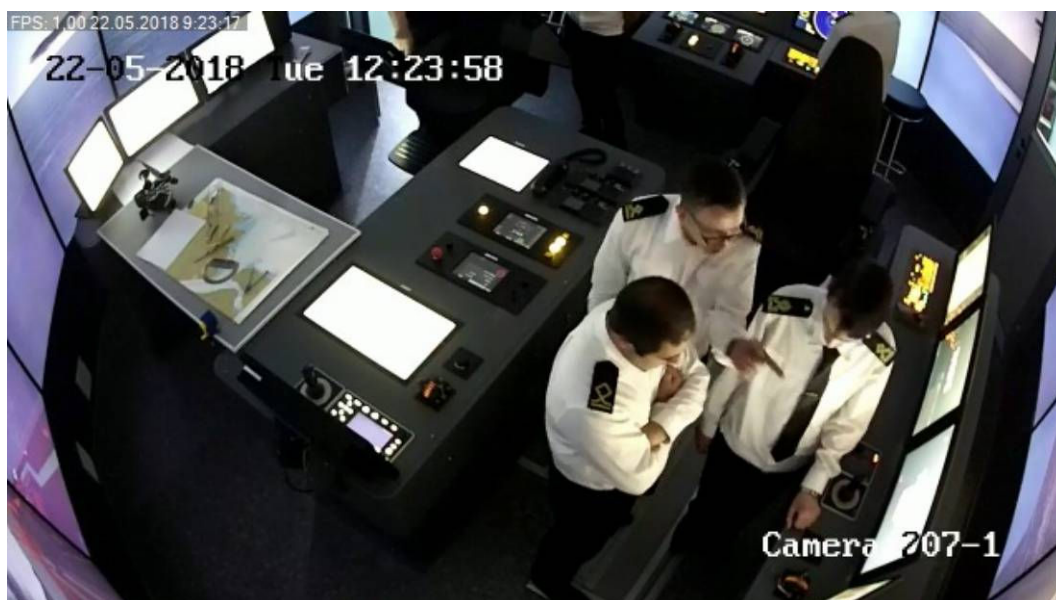


Рисунок 5.15 – Ситуація дублювання судноводія [222]

Також, на фотографії 5.15, яка була зроблена у ході проведення експерименту, видно, що недостатній досвід 3-го помічника капітана і невпевненість в діях привертає увагу 1-го помічника, який згодом приймає рішення, самотійно замінюючи 3-го помічника.

Таким чином, спостерігається ситуація: $\forall L \mathcal{Q}(W_{Q-1}, M_S) - \mathcal{Q}(W_Q, M_S) \uparrow S$, тобто маневреність за рахунок залучення більш кваліфікованого члена вахти швидше росте. За принципом ідентифікуються судноводії $W_{\bar{Q}+1}$ і $M_{\bar{S}+1}$ самого низького досвіду і кваліфікації [222].

$$\sum_{Q=1}^{\bar{Q}+1} N_Q = \sum_{S=1}^{\bar{S}+1} \tilde{N}_S : \mathcal{Q}(W_Q, M_{\bar{S}+1}) = \mathcal{Q}(W_{\bar{Q}+1}, M_S) < 0 \forall Q, S \quad (5.16)$$

У ході експерименту визначаються комбінації взаємодій членів вахтової служби $Q(S)$ і $S(Q)$ за умов:

$$\sum_{Q=1}^{Q(S)-1} N_Q < \sum_{z=1}^S \tilde{N}_z < \sum_{Q=1}^{Q(S)} N_Q, \quad \sum_{S=1}^{S(Q)-1} \tilde{N}_S < \sum_{z=1}^Q N_z < \sum_{S=1}^{S(Q)} N_S \quad (5.17)$$

При цьому: $Q = 1, \dots, \bar{Q}$, $S = 1, \dots, \bar{S}$.

Найбільш бажаними взаємодіями в момент несення вахти є найбільш досвідчені члени вахтової служби в порядку зменшення кваліфікації, що підтверджує проблему. За вказаних умов можливі два проблемних варіанти розвитку подій [222].

1. Для $\tilde{S} \mathcal{Q}(W_{Q(\tilde{S})}, M_{\tilde{S}}) > 0 > \mathcal{Q}(W_{Q(\tilde{S})}, M_{\tilde{S}+1})$ у пари діалогової взаємодії об'єднуються вахтовий помічник 1, ..., \tilde{S} з членом вахтового персоналу 1, ..., $Q(\tilde{S}) - 1$, тобто досвідчений вахтовий помічник і недосвідчений член вахтової служби. Як показав експеримент, в певний момент часу, вахтовий помічник починає самотійно приймати рішення, $p_Q = \mathcal{Q}(W_Q, M_{S(Q)}) - p_{S(Q)}$ (рис. 5.15).

2. Для $Q(\tilde{S}), Q(S)$ - найменш досвідчений вахтовий помічник, з яким взаємодіє досвідчений член вахтової служби S , тобто об'єднуються члени

вахтової служби з групи $S + 1$ при $S < \tilde{S}$, аналогічно: $S(Q)$ при $Q < Q(\tilde{S})$ значення $p_Q, Q = 1, \dots, \bar{Q}, \tilde{p}_S, S = 1, \dots, \bar{S}$ визначаються з умов: $p_Q = \tilde{p}_S = 0$ при $Q \geq Q(\tilde{S}), S > \tilde{S}, \tilde{p}_S = \vartheta(W_{Q(S)}, M_S) - p_{Q(S)}$, при $S \leq \tilde{S}, Q < Q(\tilde{S})$. У ситуаціях зміни місцями Q і S справедливо [222]:

$$\tilde{Q} \leq \bar{Q} \quad \vartheta(W_{\tilde{Q}}, M_{s(\tilde{Q})}) > 0 > \vartheta(W_{\tilde{Q}+1}, M_{s(\tilde{Q})}), \quad (5.18)$$

З наведених формальних виразів випливає, що найбільш досвідчені судноводії прихильні до взаємодій з також більш кваліфікованими членами вахтової служби, зокрема уникаючи взаємодії з недосвідченим персоналом. У звичайних умовах це не несе великого ризику. Однак при виконанні складних маневрів, інтенсивність і зміст інформаційного потоку від вахтового персоналу значно зростає і як наслідок вимагає більшої участі без винятку всіх членів вахти. Неузгоджені дії і порушення інструкцій при взаємодії між членами вахтового персоналу значно перевантажує сприйняття судноводіїв, що знижує рівень безпеки при управлінні судном. Так в ході експерименту [70], (проблемний варіант №2) сталася позаштатна аварійна ситуація в такій хронології:

1. 13:11:19 - Стоп машина;
2. 13:12:57 - Екстрена віддача якоря для гальмування, повний назад.
3. 13:13:13 - Дотик з ґрунтом на швидкості 2.2 вузли (рис. 5.16).

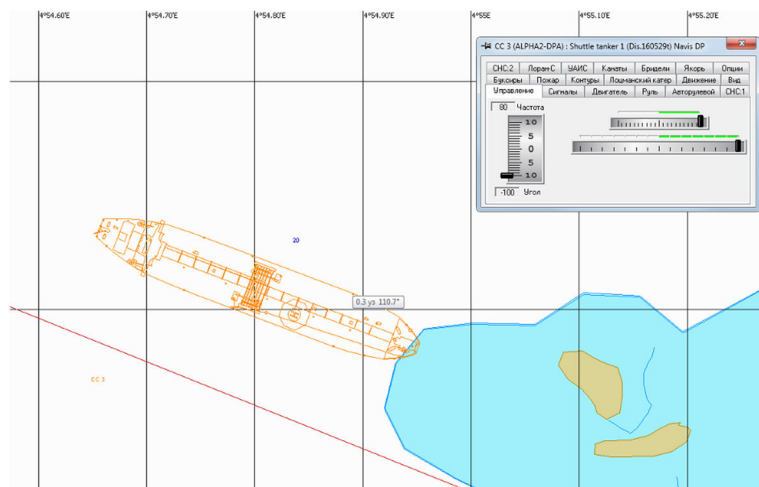


Рисунок 5.16 – Катастрофічна ситуація [70]

Слід врахувати, що зазначені ситуації і їх формальні моделі не ситуативні, а мають вектор розвитку і змінюють структуру з дискретним часом.

У створеній моделі $I = \{1, \dots, m\}$ задається множина взаємодій, множини J^Q стратегій поведінки для кожного взаємодії $Q \in I$. Таким чином, від завдання до завдання модель являє собою цикл (перехід) періодів $t = 0, 1, 2, \dots$, в кожному з яких відбувається взаємодія між членами вахтової служби. При цьому кожна вахта Q розбивається в даному переході t на підгрупи $(Q, j)(t)$, $j \in J^Q$, згідно зі стратегіями в даний період, отже, підгрупи представимо як $N_j^Q(t)$, а її чисельність в означений період - $N^Q(t)$. Поведінка членів вахти Q формує $\xi^Q(t) = \left(\xi_j^Q(t) = \frac{N_j^Q(t)}{N^Q(t)}, j \in J^Q \right)$ - розподіл по стратегіях, а сукупна поведінка членів вахти в даний період може бути охарактеризована $\xi(t) = (\xi^Q(t), Q \in I)$.

Підсумок взаємодії в період t характеризується вектором $f(t) = (f_j^Q(t)), Q \in I, j \in J^Q$, де f_j^Q задає підсумок рішення мікрозавдання для групи (Q, j) . Далі необхідно вказати залежності f_j^Q від умов у вигляді розподілу по стратегіях поведінки - $\xi(t)$; стан погоди, видимість, інтенсивність судноплавства, близькість навігаційних небезпек - $z(t)$, а також технічні параметри, сукупність яких позначимо $q(t)$. У цю сукупність можуть входити чисельності $N^L(t)$, час t і ін. Таким чином, поведінка вахтової служби в довгостроковій перспективі буде описуватися наступною залежністю [222]:

$$\xi(t+1) = G(\{\xi(\tau), f(\tau), z(\tau), q(\tau)\}_{\tau \leq t}) \quad (5.19)$$

У реальних умовах, склад вахтової служби $Q \in I$ є постійним, в свою чергу, члени вахтової служби змінюють свої стратегії залежно від завдань, адаптуючись до умов взаємодії з метою максимізації $f_j^Q(t)$. У ході служби всі члени вахти порівнюють стратегію i і стратегію j щодо партнера по взаємодії,

можливо несвідомо підбираючи більш результативну: $f_j^o(t) > f_i^o(t)$ незалежно від складу вахти.

Втрата результативності від спочатку обраної стратегії і, призводить до вибору стратегії j . Вказане являє собою істотну проблему тому окремі члени команди будуть формувати стійкі коаліційні зв'язки взаємодій, що порушує інструкцію несення вахти.

За умов, що набір на судно членів вахтового персоналу має випадковий характер, отримаємо [222]:

$$u(f_j^o(t) - f_i^o(t)), u(0) = 0 \quad (5.20)$$

$$N_i^o(t+1) = \sum_{r \in J} u(f_i^o(t) - f_r^o(t)) N_r^o(t) N_i^o(t) / N^o$$

Тоді прогноз стану несення вахти на переході в момент $t+1$ буде:

$$\xi_i^o(t+1) = \sum_r u(f_i^o(t) - f_r^o(t)) \xi_r^o(t), i \in J^o \quad (5.21)$$

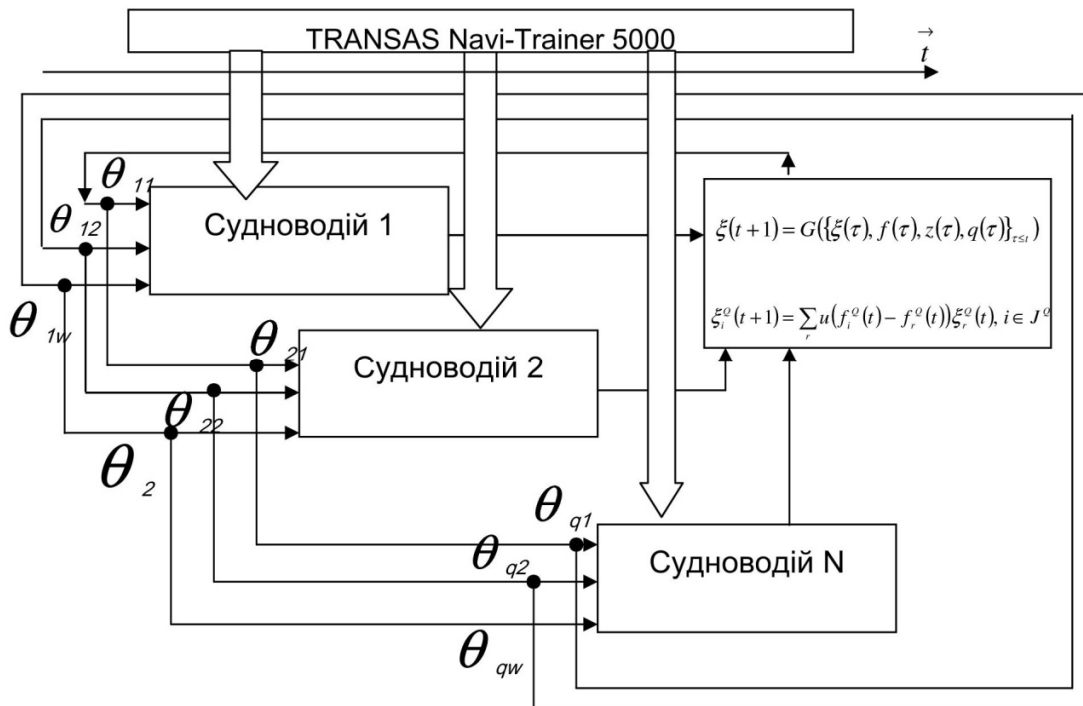


Рисунок 5.17 – Модель взаємодії вахтової команди на судні [222]

Таким чином, існує проблема неузгодженості і спонтанної заміни вахтового персоналу помічником капітана що порушує інструкції і знижує рівень

безпеки. При проходженні тренажерної практики виникає дисбаланс у відпрацюванні корисних навичок серед курсантів під час проходження тренажерної практики. Пасивні члени вахтової служби не засвоюють потрібні практичні навички, а активні в надлишку їх опановують. Модель взаємодії команди на судні представлена на рис. 5.17.

Ситуація ускладнюється тим, що для прокладки і проходження нового маршруту склад вахтової команди формується випадковим чином і існує ймовірність набору курсантів що не отримали необхідних навичок і призведе до невиконання завдання.

При виконанні маневрів в реальних умовах загроза безпеці значно зростає і може спричинити катастрофічні наслідки.

5.6. Автоматизація процесів управління рухом судна та людський фактор

Ефективним засобом подолання негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом судна є застосування автоматизованих систем керування (АСК) та перехід на використання таких систем у випадках наявності помилкових дій судноводія, їх відсутності, або у критичних ситуаціях та наявності обмежень часу на прийняття рішень.

У межах виконання НДР 0121U109680 «Розробка новітніх моделей та програмних засобів для автоматизованих систем керування рухом морських суден цивільного та спеціального призначення» [217] було визначено особливості процесів взаємодії судноводія з технічними засобами керування та розроблено схему ергатичної системи керування судном, рис. 5.18.

Відповідно до запропонованої схеми ергатичної системи визначено підходи вилучення даних за результатами аналізу процесів судноводіння в критичних ситуаціях.

Відмінною рисою запропонованого підходу у порівнянні з існуючими, є реалізація функцій переходу на автоматизоване керування судном у випадках

виявлення помилкових дій судноводія, їх відсутності, та/або у критичних ситуаціях [76].

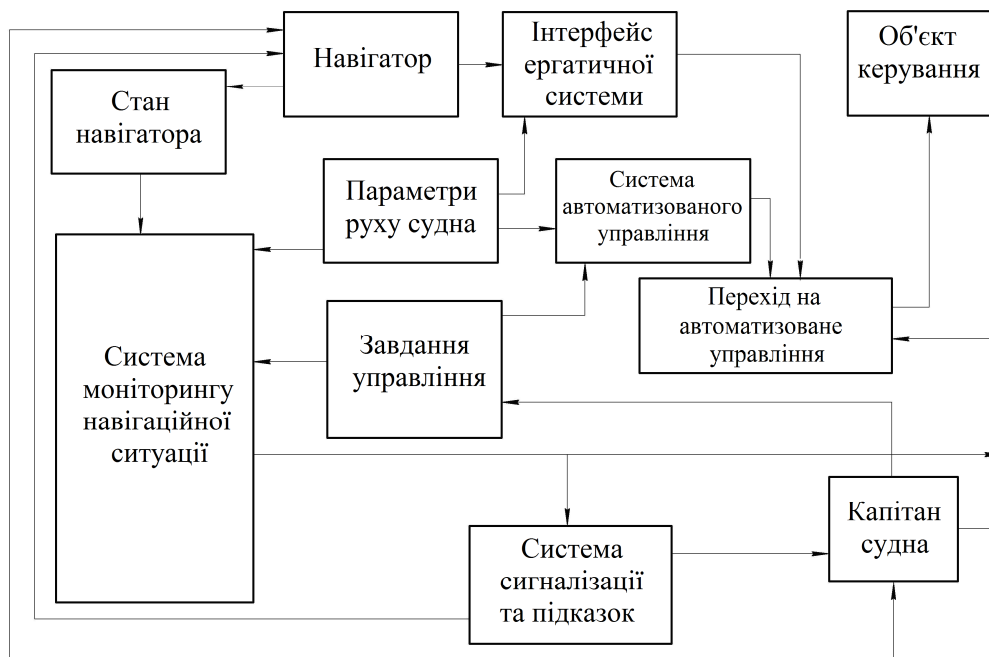


Рисунок 5.18 – Схема ергатичної системи керування судном [76,217]

Таким чином, з метою усунення негативного впливу людського фактора слід забезпечити підвищення рівня автоматизації процесів управління судном та судновими системами шляхом створення відповідних модулів автоматизованого керування.

Особливості побудови та методи створення модулів автоматизованого керування, що забезпечують вирішення задач підвищення безпечності та економічної ефективності експлуатації суден, розглянуті в наступному розділі дисертаційного дослідження.

5.7. Висновки до п'ятого розділу

1. Важливою складовою мінімізації негативного впливу людського фактора на процеси керування рухом судна, є оптимізація процесів взаємодії ОПР (судноводія) з СППР та технічними засобами управління, що може бути досягнуто, з одного боку, поліпшенням якості інтерфейсів НІС та СППР (що

можливо переважно на етапі проєктування), а з іншого - безпосередньо поліпшенням якості процесів взаємодії користувача з такими системами, що може бути досягнуто в процесі експлуатації вказаних систем шляхом застосування вбудованої моделі користувача. Також необхідним є створення відповідних математичних моделей взаємодії судноводія та інформаційних інтерфейсів НІС у момент підвищеної суб'єктивної ентропії з метою запобігання негативних проявів людського чинника.

2. Уперше запропоновано застосування моделі судноводія у СППР, що дозволяє поліпшити якість його інформаційної взаємодії з НІС та знизити негативний вплив людського фактора на процеси управління судном.

3. Визначено, що при управлінні процесом маневрування в звичайних умовах судноводій діє на рівні стійкої навички. У обмежених умовах збільшується число і склад елементарних операцій, а в екстремальних умовах потрібне використання розумових здібностей для ухвалення рішення, що призводить до ускладнення процесу управління. Швидкість процесу управління і короткий проміжок часу для виконання необхідних розрахунків для отримання коректної інформації про процес руху вимагає попередньої підготовки команди містка для управління засобами руху і маневрування судна.

Матеріали п'ятого розділу висвітлені у наступних роботах автора: [12,69,70,72-78, 85,117,137,146,195-198,208,217,222].

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА

6.1. Автоматизовані системи управління рухом судна

Виходячи з результатів, отриманих у п'ятому розділі дисертаційного дослідження, можна зробити об'єктивний висновок, що одним з найбільш важливих і ефективних шляхів подолання негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом суден є їх всебічна автоматизація, яка, у свою чергу, потребує створення та запровадження відповідних автоматизованих систем керування (АСК) [132-134,180]. Також слід зазначити що у сучасному судноплавстві, внаслідок інтенсивного розвитку новітніх інформаційних технологій та засобів зв'язку, стрімко зростає частка автономних та безекіпажних суден, а також постійно розширюються галузі їх практичного застосування. Вищевказані причини обумовлюють важливість та практичну необхідність розширення функціональних можливостей СППР шляхом додавання модулів автоматизованого та автоматичного керування, та відповідно, переходу на вказані режими керування, у разі виникнення такої необхідності та у критичних ситуаціях [151] .

Згідно з [180], основним призначенням автоматизованої системи керування рухом судна (АСКРС) є збір, комплексна переробка та відображення навігаційної інформації, формування попереджувальної сигналізації, отримання від судноводія через пристрої керування судном сигналів керування, переробка та передача вищевказаних сигналів на автоматику виконуючих пристроїв, що забезпечують рух та маневрування судна.

До складу АСКРС входять: вимірювачі лінійних (ЛАГ) та кутових швидкостей судна, абсолютного (Супутникова навігаційна система – СНС) та відносного положення судна (CyScan або аналоги), кутів відхилення у каналах крену та диференту, пеленгу та дистанції до цілей (Радіолокаційна станція –

РЛС), курсу (гірокомпас, магнітний компас, СНС), глибин (ехолоти); навігаційні модулі: електронних картографічних навігаційних систем – ЕКНІС, засобів автоматизованої радіолокаційної прокладки – ЗАРП; модулі автоматичного керування: автопілот, система динамічного позиціонування (СДП); виконавчі пристрої: FPP, CPP, стерно, підрулюючі пристрої, гвинто-рульові колонки, азіподи тощо.

Як видно із приведеного огляду, на більшості сучасних суден використовуються модульні (модулі вимірювання руху: РЛС, ЛАГ, гірокомпас, СНС, ехолот); навігаційні модулі: ЕКНІС, ЗАРП; автоматичні модулі: автопілот, ДП), розподілені (наявність практично у кожному модулі свого мікроконтролера), автоматизовані (участь оператора у процесах керування) системи керування. У таких автоматизованих системах прояв людського фактора дуже значний. У критичних ситуаціях судноводій приймає, як правило, помилкові рішення, що призводить лише до погіршення ситуації [180].

Одним із найбільш перспективних напрямків зменшення впливу людського фактора, підвищення ефективності процесів керування суднами цивільного та спеціального призначення є застосування спеціалізованих АСК. У таких автоматизованих системах судноводій лише приймає рішення про застосування потрібного модуля автоматичного керування (як, наприклад, автопілоту) та спостерігає за процесами автоматичного керування. Використання розширюваного набору автоматичних модулів керування має наступні переваги [180]: не існує затримки у часі на прийняття рішень, максимально мінімізована кількість помилок, відсутність впливу людського фактора, надійність функціонування, стійкість до зовнішніх впливів. Розширюваність автоматичних модулів керування надає можливості нарощувати набір автоматичних функцій у автоматизованій системі. Створення автоматизованих та автоматичних систем керування рухом суден, в свою чергу, вимагає розробки нових та ефективних методів формування рішень, які враховують особливості предметної галузі [111].

6.2. Автономні судна та автоматизовані системи керування

У сучасних умовах глобальної трансформації морської галузі, пов'язаної з цифровізацією, автоматизацією та підвищенням вимог до безпеки судноплавства, ефективності та екологічності морських перевезень, дедалі більшого значення набуває застосування безекіпажних автономних суден (БАС, автономне судно). Зазначені судна здатні функціонувати без постійної участі людини, що відкриває нові можливості для виконання завдань у віддалених або небезпечних зонах, зменшує вплив людського фактора на процеси навігації та знижує експлуатаційні витрати. У поєднанні із розвитком ІІІ, системами дистанційного моніторингу стану та технологіями супутникової навігації, застосування БАС дозволяє істотно підвищити ефективність морських перевезень, а також рівень безпеки на водних шляхах [105,112].

Важливість індустрії автономних та безекіпажних суден вже визнана і на міжнародному рівні. Так, починаючи з 2017 року, Міжнародна морська організація (ІМО) активно досліджує правовий статус та експлуатаційні аспекти БАС у межах нормативного аналізу (Regulatory Scoping Exercise) щодо застосування існуючих конвенцій до автономного судноплавства. У 2021 році ІМО визначила чотири рівні автономності (від дистанційного управління до повністю автономного режиму) та заклала основу для майбутнього правового регулювання практичного застосування БАС [33]. Також ІМО анонсувало розробку нових правил керування ризиками та безпекою для автономних суден, які вступлять в дію з 01.01.2028 р.

Крім того, ІМО визнає, що існуючі міжнародні нормативно-правові документи, зокрема Міжнародні правила запобігання зіткненням суден у морі COLREG 72, а також конвенції SOLAS, MARPOL та STCW, потребують адаптації для врахування специфіки експлуатації БАС [3]. На сучасному етапі формуються рекомендації для інтеграції таких суден у наявну інфраструктуру, з дотриманням принципів безпеки, охорони навколишнього середовища та відповідальності судновласників. Особливої значущості на поточний момент

часу набуває використання БАС у сфері вантажних перевезень, океанографічних досліджень, екологічного моніторингу та реагування на надзвичайні ситуації [93].

Водночас, слід зазначити, що розвиток галузі БАС ставить перед науковцями і низку складних викликів, зокрема в частині забезпечення їх автономності, здатності до прийняття рішень у реальному часі та інтеграції в існуючу морську інфраструктуру.

Розглядаючи процеси управління рухом екіпажного та автономного судна (рис.6.1) [151], необхідно звернути увагу на певні відмінні риси, які надалі мають істотний вплив на вибір найбільш ефективних методів управління.

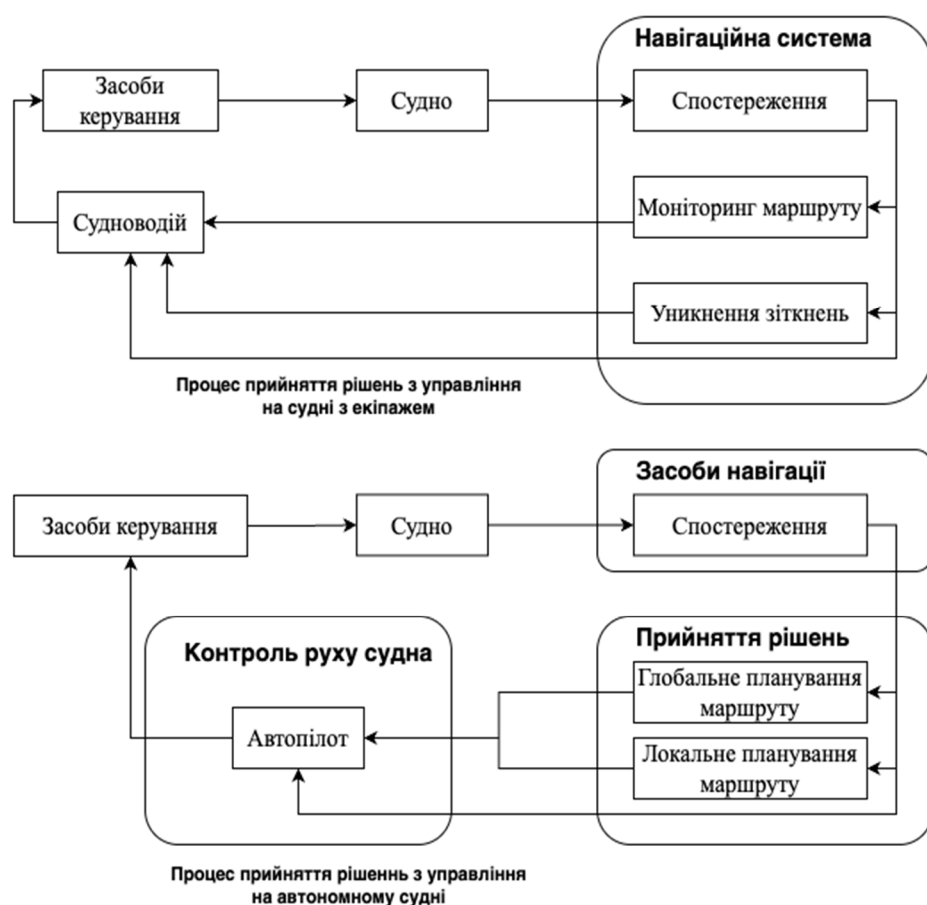


Рисунок 6.1– Процеси управління рухом екіпажного та автономного судна [151]

Приймаючи до уваги наведену на рис. 6.1 структуру процесу управління рухом автономного судна, можна визначити його ключові особливості, а саме [151]:

- необхідність забезпечення належного рівня швидкодії окремих модулів та виконавчих пристроїв системи керування для забезпечення постійного управління його рухом у режимі реального часу;
- наявність факторів неповноти та неточності вхідних навігаційних даних, які істотним чином залежать від кількості, поточного технічного стану та умов функціонування бортових навігаційних приладів та засобів зв'язку;
- високий рівень відповідальності стосовно вірності та своєчасності прийнятих рішень, у зв'язку із відсутністю людини-оператора (судноводія) як корегуючої ланки в процесі управління рухом судна;
- потреба забезпечення високого рівня надійності функціонування та збереження (хоча б і в обмеженому функціоналі) можливостей управління рухом автономного судна у випадках технічної відмови окремих навігаційних та виконавчих пристроїв або каналів зв'язку.

Розглянута структура та виявлені відмінні риси процесу управління рухом автономних суден у порівнянні із суднами, якими здійснює управління судноводій, дозволяють зробити висновок стосовно наявності у системах управління такими суднами кількох контурів керування, що, в свою чергу, обумовлює необхідність комбінованого застосування різних методів керування їх рухом та створення відповідних автоматизованих та автоматичних (автономних) систем.

6.3. Підвищення точності та надійності функціонування автоматизованих систем управління рухом суден

З огляду на інтенсивний розвиток галузі автономних та безкіпажних морських суден, а також суден обладнаних системами ДП, важливою прикладною задачею сьогодення постає розробка методу підвищення точності і надійності процесів управління такими суднами, а також розробка на основі створеного методу відповідного математичного забезпечення та програмних

засобів, що дозволить поліпшити якість і надійність процесів управління в умовах відмов навігаційних приладів, вимірників і виконавчих пристроїв.

З метою вирішення вказаної задачі, створено математичну модель руху судна у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь, з урахуванням дій вітру, течії і хвиль та математичну модель пристроїв, що керують, у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь з моделлю погрешностей і відмов [22,106]. Розроблена модель руху судна може бути представлена у вигляді:

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{U}) + \mathbf{W}, \quad (6.1)$$

$$\mathbf{X}_m = \mathbf{X} + \Delta\mathbf{X}_m + \delta\mathbf{X}_m + \nabla\mathbf{X}_m, \quad (6.2)$$

$$\mathbf{U} = (\mathbf{U}_l(\boldsymbol{\theta}) + \Delta\mathbf{U}_l, \mathbf{U}_a(\boldsymbol{\delta}) + \Delta\mathbf{U}_a). \quad (6.3)$$

де: $\mathbf{X} = (V_x, V_y, V_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z, \varphi, \theta, \psi, X_g, Y_g, Z_g)$ - вектор стану судна,

$\mathbf{V} = (V_x, V_y, V_z)$ - вектор лінійної швидкості судна в зв'язаній системі координат,

$\boldsymbol{\omega} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ - вектор кутової швидкості судна в зв'язаній системі координат,

φ, θ, ψ - кути крену, диферента і рискання, що визначають кутове положення пов'язаної системи координат щодо базової,

X_g, Y_g, Z_g - положення центру мас судна у базовій системі координат,

\mathbf{U} - вектор управління,

$\mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{U})$ - вектор-функція правих частин системи диференціальних рівнянь,

\mathbf{W} - вектор зовнішніх дій від вітру, течії, хвиль,

$\mathbf{X}_m = (V_{xm}, V_{ym}, V_{zm}, \omega_{xm}, \omega_{ym}, \omega_{zm}, \varphi_m, \theta_m, \psi_m, X_{gm}, Y_{gm}, Z_{gm})$ - вектор вимірів і його компоненти,

$\Delta\mathbf{X}_m = (\Delta V_{xm}, \Delta V_{ym}, \Delta V_{zm}, \Delta\omega_{xm}, \Delta\omega_{ym}, \Delta\omega_{zm}, \Delta\varphi_m, \Delta\theta_m, \Delta\psi_m, \Delta X_{gm}, \Delta Y_{gm}, \Delta Z_{gm})$ -

вектор систематичних помилок вимірів і його компоненти,

$\delta\mathbf{X}_m = (\delta V_{xm}, \delta V_{ym}, \delta V_{zm}, \delta\omega_{xm}, \delta\omega_{ym}, \delta\omega_{zm}, \delta\varphi_m, \delta\theta_m, \delta\psi_m, \delta X_{gm}, \delta Y_{gm}, \delta Z_{gm})$ -

вектор флуктуаційних помилок вимірів і його компоненти,

$$\nabla \mathbf{X}_m = (\nabla V_{xm}, \nabla V_{ym}, \nabla V_{zm}, \nabla \omega_{xm}, \nabla \omega_{ym}, \nabla \omega_{zm}, \nabla \varphi_m, \nabla \theta_m, \nabla \psi_m, \nabla X_{gm}, \nabla Y_{gm}, \nabla Z_{gm})$$

- вектор відхилень показників вимірників при маневруваннях і відмовах,

$\mathbf{U}_l(\boldsymbol{\theta})$ - вектор сил, що управляють в каналі лінійного руху,

$\Delta \mathbf{U}_l$ - вектор зміни сил, що управляють, при відмовах виконавчих пристроїв в каналах лінійного руху,

$\mathbf{U}_a(\boldsymbol{\delta})$ - вектор моментів, що керують, в каналі кутового руху,

$\Delta \mathbf{U}_a$ - вектор зміни моментів, що керують, при відмовах виконавчих пристроїв в каналах кутового руху,

$\boldsymbol{\theta}$ - вектор управління двигунами,

$\boldsymbol{\delta}$ - вектор управління рулями.

Необхідно сформулювати такі управління $\boldsymbol{\theta}$ і $\boldsymbol{\delta}$, які забезпечували б управління судном (6.1) в умовах перешкод і відмов вимірників (6.2) і виконавчих пристроїв (6.3).

Розроблена математична модель руху судна забезпечує:

- підвищення надійності систем управління судном за рахунок виявлення відмов вимірників в каналах лінійного і кутового руху об'єкта управління за результатами аналізу динаміки його руху;

- підвищення надійності за рахунок парирування відмов вимірників шляхом заміни їх інформації тією, що заміщає (отриманою від іншого датчика, якій працює у парі з тим, що відмовив в одному каналі виміру, наприклад, при відмові вимірника лінійної швидкості його інформація може бути заміщена інформацією вимірника положення і навпаки, а при відмові вимірника кутової швидкості його інформація може бути заміщена інформацією вимірника кутового положення і навпаки);

- підвищення надійності за рахунок виявлення відмов виконавчих пристроїв за результатами аналізу динаміки руху об'єкта управління;

- підвищення точності при маневруванні судна за рахунок виявлення неприпустимих відхилень вимірників і заміщення їх інформації до моменту закінчення маневру (наприклад, при розгоні, гальмуванні, розвороті судна має

місце інерційна девіація гірокомпаса. На час маневрування показники гірокомпаса можуть бути замінені показниками вимірника кутової швидкості в каналі рискання.

На рис. 6.2 наведено структуру автоматизованої системи управління рухом судна [106,217]. Рух судна розглядається в пов'язаній системі координат, яка переміщується відносно базової системи координат. Пов'язана система координат (ПСК) розташована в центрі мас судна. Вісь OX ПСК лежить в діаметральній площині судна і спрямована у бік носа. Вісь OY ПСК перпендикулярна до діаметральної площини судна і спрямована у бік правого борту. Вісь OZ ПСК доповнює систему до "правої".

Базова система координат розташована в центрі мас судна. Вісь OX_g базової системи координат спрямована уздовж меридіана у бік Півночі. Вісь OY_g базової системи координат спрямована уздовж паралелі у бік Сходу. Вісь OZ_g базової системи координат доповнює систему до "правої".

Судно рухається під дією зовнішніх обурень W і управлінь U_l, U_a відповідно в каналах лінійного і кутового рухів. Параметри вектора стану - складові вектору швидкості V_x, V_y, V_z і положення S_{xg}, S_{yg}, S_{zg} вимірюються вимірником 4.1 каналу лінійного руху з періодом обробки інформації у бортовому контролері.

Виміряні параметри $V_{xm}, V_{ym}, V_{zm}, X_{gm}, Y_{gm}, Z_{gm}, \omega_{xm}, \omega_{ym}, \omega_{zm}$ і $\varphi_m, \theta_m, \psi_m$, а також виміряні управління θ, δ поступають на вхід спостерігача 7. Спостерігач 7 є математичною моделлю судна і використовується для оцінки параметрів вектора його стану.

Через неточність математичної моделі і помилок обчислень, з часом оцінки параметрів вектору стану все більше відрізнятимуться від самого вектору стану.

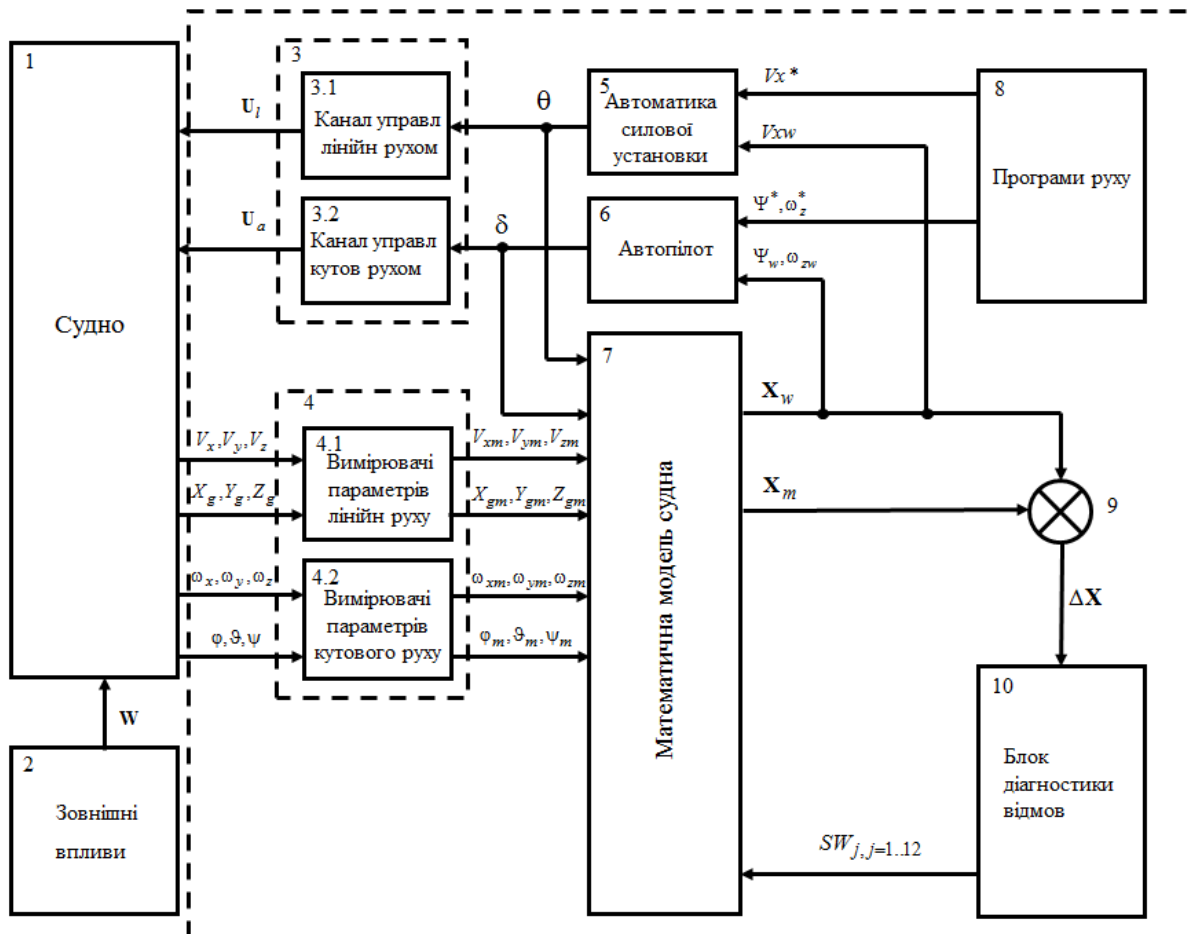


Рисунок 6.2 – Структура автоматизованої системи управління рухом судна
[106,217]

З метою уникнення вищевказаного, оцінки спостерігача коригуються з використанням нев'язок між виміряними параметрами і їх оцінками наступним чином:

$$\frac{d\mathbf{X}_w}{dt} = \mathbf{F}_w(\mathbf{X}_w, \mathbf{U}_w) + \mathbf{L}(\mathbf{X}_m - \mathbf{X}_w), \quad (6.4)$$

де: \mathbf{X}_w - вектор оцінок,

$\mathbf{F}_w(\mathbf{X}_w, \mathbf{U}_w)$ - вектор-функція правих частин спостерігача,

\mathbf{U}_w - вектор сил і моментів, що управляють, оцінених по значеннях управління θ_m, δ_m ,

θ_m, δ_m - виміряні управління в каналах лінійного і кутового руху,

\mathbf{L} - матриця коефіцієнтів.

У компараторі 9 виміряні параметри вектора стану X_m порівнюються на кожному кроці обчислень з відповідними параметрами вектору оцінок X_w для формування вектора нев'язки $\Delta X = X_m - X_w$, який подається у блок діагностики відмов 10. Блок діагностики відмов контролює перевищення параметрами вектора нев'язки ΔX відповідних порогових значень ΔX^* . Якщо один з параметрів ΔX_j перевищує порогове значення ΔX_j^* , блок діагностики відмов 10 подає на вхід спостерігача 7 сигнал $SW_j = 0$ для обнуління j -стовпця матриці L з метою недопущення спотворення оцінок вектора стану j -вимірником.

Подальша оцінка параметрів вектора стану X_w робиться за інформацією, що заміщає. Інформація, що заміщає, це інформація іншого вимірника, якій працює в тому ж каналі виміру, наприклад, вимірники швидкості і положення працюють в каналі лінійного руху і можуть заміщати один одного при виявленні недостовірної інформації одного з них, а вимірники кутової швидкості і кутового положення працюють в одному каналі кутового руху і можуть заміщати один одного при виявленні недостовірної інформації одного з них [106,217].

Блок діагностики відмов 10 спостерігає за показниками j -вимірника впродовж подальших n_b тактів виміру. Якщо за n_b тактів вимірів кількість недостовірних вимірів $n_f=0$, блок діагностики відмови повертає $SW_j=1$, інакше $SW_j=0$. Якщо одночасно або послідовно, через невеликий інтервал часу, блок діагностики відмов виявляє відмову й основного вимірника і вимірника, що заміщає, то вказане розцінюється як відмова виконавчого пристрою в тому каналі управління, в якому виявлена одночасна або послідовна відмова основного вимірника і вимірника, що заміщає. Наприклад, одночасна або послідовна відмова вимірника швидкості і положення в каналі лінійного руху розцінюється як відмова управління в каналі лінійного руху (двигуна, рушія, підсилювачів, автоматики або будь-якого іншого пристрою, відмова яких може порушити співвідношення між силою упору гвинта і перекладанням телеграфу).

Також, одночасна або послідовна відмова основного вимірника і вимірника, що заміщає, в каналі кутового руху розцінюється як управління в каналі кутового руху (керма, приводу, підсилювачів, автоматики, або будь-якого іншого пристрою, відмова яких може порушити співвідношення між моментом, що управляє, і перекладанням штурвала).

Оцінки кута рискання ψ_w і швидкості рискання ω_{zw} , з виходу спостерігача 7, а також необхідний курс K^* і необхідна кутова швидкість ω_z^* , з блоку програм руху 8, подаються на входи автопілота 6, де формується управління δ [106]:

$$\delta = k_\psi (\psi_w - K^*) + k_\omega (\omega_{zw} - \omega_z^*) + k_f \int (\psi_w - K^*) dt \quad (6.5)$$

Оцінка швидкості V_{xw} з виходу спостерігача 7, а також необхідна швидкість V_x^* з блоку програм руху 8 подаються на входи блоку автоматики двигуна 5, де формується управління θ :

$$\theta = \frac{\pi}{2} \frac{V_x^*}{V_{\max}} \quad (6.6)$$

де V_{\max} - максимальна швидкість судна.

Перевірка працездатності й ефективності методу підвищення точності і надійності управління, а також розробленого на його основі математичного забезпечення, здійснювалась шляхом математичного моделювання в середовищі MATLAB об'єкту управління в замкнутій схемі з системою управління, що включає спостерігач і блок діагностики відмов. За результатами проведеного моделювання, які висвітлені у роботі [106] було підтверджено ефективність та прийнятність що до практичного застосування розробленої структури автоматизованої системи керування та методу підвищення точності та надійності процесу керування рухом судна.

6.4. Автоматизація процесів розходження судна з багатьма цілями, що маневрують

Важливою складовою вирішення проблеми підвищення безпеки судноводіння є розв'язання задачі уникнення зіткнень суден, що потребує розробки нових методів автоматизованого управління процесами маневрування та розходження суден.

Основним технічним засобом вимірювання параметрів відносного руху судна і цілей, що застосовується для розрахунку траєкторій розходження суден, є РЛС. Виміряні РЛС параметри (пеленг і дистанція) використовуються для радіолокаційної прокладки (розрахунку параметрів розходження). Раніше це була ручна прокладка на маневровому планшеті, яка мала низьку точність та була дуже трудомісткою. На сучасних суднах, для спостереження за цілями, використовується ЗАРП [16], які дозволяють автоматизувати ручні операції, а вбудована функція «Програвання маневру» надає навігатору зручний графічний інтерфейс для вирішення задач розходження суден. Разом з тим ЗАРП має і суттєві недоліки: ЗАРП – це автоматизована система, яка передбачає присутність людини в контурі керування. Функція «Програвання маневру» ЗАРП надає навігатору лише зручний графічний інтерфейс, але параметри розходження навігатор підбирає вручну, що потребує певного часу. Також функція «Програвання маневру» дозволяє визначати параметри розходження лише для цілей, що не маневрують [180].

Присутність людини у контурі керування обумовлює наявність людського чинника, який є передумовою виникнення зазначених вище аварій. Зменшення його негативного впливу можна досягти через запровадження автоматизованих систем, СППР, ергатичних систем, або автоматизованих систем з автоматичними модулями керування [90,180]. Прикладом автоматичного модуля в автоматизованій системі, який використовується сьогодні майже на усіх суднах, є автопілот.

У процесі розробки автоматизованих систем керування виникає потреба у

створенні нових та вдосконаленні існуючих методів оптимального розходження власного судна з багатьма небезпечними цілями, включаючи ті, що маневрують. У рамках виконання держбюджетної НДР [173,174] з метою вирішення вказаної задачі було розроблено та пропонується застосовувати в АСКРС метод побудови області допустимих параметрів розходження [110,206].

На рис. 6.3 (а) показана схема розходження власного судна O з судном-ціллю $O_j, j = 1..n$. Власне судно O розташовано у центрі системи координат OX_gY_g , навколо судна окреслено коло радіусом R_{sa} (зона безпечного розходження) та зображено вектор швидкості руху власного судна V_n . Проведена ЛВР (RML_j), на якій лежить вектор відносної швидкості ΔV_j руху власного судна і судна цілі (зображений синім кольором), а також очікувані лінії відносного руху (ОЛВР) $ERML_j^+, ERML_j^-$, зображені червоними лініями. Між лініями $ERML_j^+, ERML_j^-$ знаходиться сектор небезпечних курсів, у який не повинен бути направлений вектор відносної швидкості ΔV_j , з метою уникнення зіткнення.

Навколо центру O_j окреслені кола радіусами V_{\max} та V_{\min} , які відповідають максимальній і мінімальній швидкості власного судна. Область, розміщена між колами V_{\max} і V_{\min} , за винятком двох секторів небезпечних курсів DFB і AFC, є областю допустимих параметрів розходження (курсу і швидкості) із j – ціллю.

На рис. 6.3(б) наведена область допустимих параметрів розходження із j – ціллю у Декартовій системі координат. Область Ω допустимих параметрів розходження із усіма цілями одночасно може бути визначена шляхом об'єднання областей $\Omega_j, j = 1..n$ допустимих параметрів розходження із кожною ціллю окремо [174]:

$$\Omega = \Omega_1 \cap \Omega_2 \cap \Omega_3 \dots \cap \Omega_n \quad (6.7)$$

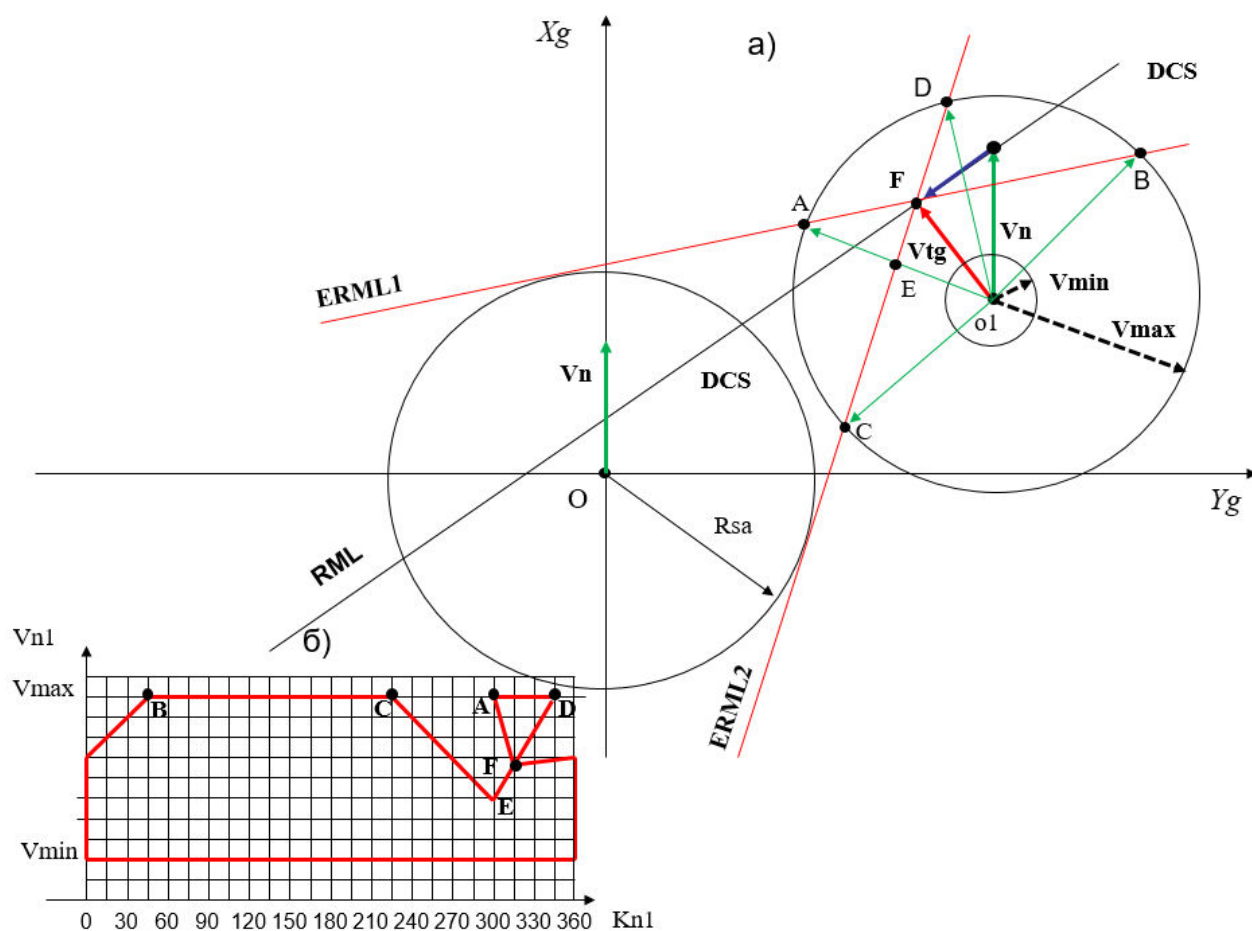


Рисунок 6.3 – Схема розходження судна із судном-ціллю [174]

Як видно із рис. 6.3(б), область допустимих параметрів розходження навіть із однією ціллю досить складна, тому доцільно її будувати у бортовому обчислювачі автоматизованої із використанням числових методів. Для цього задаймо пробні вектори розходження $\mathbf{V}_{n1} = (V_{n1}, K_{n1})$ у вузлах сітки (рис. 6.3 (б)) та визначимо для кожного із них відносну швидкість розходження з кожною ціллю:

$$\Delta \mathbf{V}_j = \mathbf{V}_j - \mathbf{V}_{n1} \quad (6.8)$$

Якщо вектор відносної швидкості (6.3), розрахований для пробного вектора $\mathbf{V}_{n1} = (V_{n1}, K_{n1})$, не направлений всередину сектору небезпечних курсів j - цілі, то такий пробний вектор належить області безпечного розходження Ω_j .

Як видно із рис. 6.3 (а), вектор відносної швидкості $\Delta \mathbf{V}_j$ не належить сектору небезпечних курсів j – цілі, якщо векторні добутки $\Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^+$ та $\Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^-$ одного знаку [173,174]:

$$\begin{cases} \mathbf{V}_{n1} \in \Omega_j, \text{ if } (\langle \Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^+, \Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^- \rangle) > 0 \\ \mathbf{V}_{n1} \notin \Omega_j, \text{ if } (\langle \Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^+, \Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^- \rangle) < 0 \end{cases} \quad (6.9)$$

де: \mathbf{e}_j^+ , \mathbf{e}_j^- - орти, які задають напрямки $ERML_j^+$, $ERML_j^-$ відповідно, $\langle \Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^+, \Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^- \rangle$ - скалярний добуток векторів $\Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^+$ та $\Delta \mathbf{V}_j \times \mathbf{e}_j^-$.

Орти \mathbf{e}_j^+ та \mathbf{e}_j^- відповідно до рис. 6.3(а), знаходяться наступним чином:

$$\begin{cases} \mathbf{e}_j^+ = \mathbf{e}_j^0 \times e^{i\Delta\varphi}, \\ \mathbf{e}_j^- = \mathbf{e}_j^0 \times e^{-i\Delta\varphi}, \\ \mathbf{e}_j^0 = (-\cos P_{mj}, -\sin P_{mj}), \\ \Delta\varphi = \arctg\left(\frac{R_{sa}}{D_{mj}}\right) \end{cases} \quad (6.10)$$

де: \mathbf{e}_j^0 - орт, який задає напрямок від цілі до нашого судна,

$e^{i\Delta\varphi}$ - оператор повороту орту \mathbf{e}_j^0 на кут $\Delta\varphi$ за годинниковою стрілкою до суміщення з $ERML_j^+$,

$e^{-i\Delta\varphi}$ - оператор повороту орту \mathbf{e}_j^0 на кут $\Delta\varphi$ проти годинникової стрілки до суміщення з $ERML_j^-$,

P_{mj}, D_{mj} - виміряні РЛС пеленги і дистанції до цілей.

У формулі (6.8) вектор швидкості цілі \mathbf{V}_j не доступний для прямого вимірювання, тому його потрібно постійно оцінювати за допомогою пристроїв спостереження [173,174].

$$\begin{cases} T \frac{d}{dt} \left(\hat{\Delta V}_j \right) + \hat{\Delta V}_j = k_1 (D_{mj} - \hat{D}_j) \\ \frac{d}{dt} \left(\hat{D}_j \right) = \hat{\Delta V}_j + k_2 (D_{mj} - \hat{D}_j) \\ \hat{V}_{xj} = V_{xm} + \hat{\Delta V}_j \cos P_{mj} \\ \hat{V}_{yj} = V_{ym} + \hat{\Delta V}_j \sin P_{mj} \end{cases} \quad (6.11)$$

де: T - постійна часу при оцінюванні відносної швидкості,

$\hat{\Delta V}_j$ - оцінка відносної швидкості j - цілі,

\hat{D}_j - оцінка дистанції до j - цілі,

$\mathbf{V}_m = (V_{xm}, V_{ym})$ - вектор та складові вимірної швидкості власного судна,

$\hat{\mathbf{V}}_j = (\hat{V}_{xj}, \hat{V}_{yj})$ - оцінка вектора та складових вектора істинної швидкості цілі.

Область Ω допустимих параметрів розходження (6.7) постійно змінюється у часі, залежно від взаємного положення і швидкостей власного судна і цілей. Тому її розрахунок потрібно виконувати постійно, на кожному кроці бортового обчислювача. Для кроку сітки по курсу $\Delta K_{n1} = 1^0$, діапазону зміни курсу $-180^0 \leq K_{n1} \leq 180^0$, кроку сітки по швидкості $\Delta V_{n1} = 0,5$ вуз., діапазону зміни швидкості $0 \leq V_{n1} \leq 20$, при розходженні із 10 цілями, потрібно на кожному кроці обробляти $N = \frac{360}{1} \frac{20}{0,5} 10 = 144000$ точок. Для обчислювача з тактовою частотою $f = (1 - 2) \Gamma_{2\pi}$ обчислювальна складність виконання розрахунків є цілком прийнятною. Разом з тим, побудова області допустимих параметрів розходження у реальному часі дозволяє розходитися з цілями, що маневрують. При цьому, кількість цілей не обмежується алгоритмом розходження, а обмежується лише можливостями РЛС та ЗАРП по супроводженню цілей [174].

6.5. Оптимізація процесів автоматизованого управління рухом судна

Наявність області допустимих параметрів розходження означає наявність нескінченної кількості рішень, серед яких існують оптимальні відповідно до вибраного критерію оптимальності. Тому вибір найбільш прийняттого рішення потребує обов'язкового застосування одного або декількох критеріїв оптимальності. Вказані критерії також були визначені під час виконання НДР [173,174] та розглянуті у роботі [181].

Розглянемо у якості критерію оптимальності мінімізацію відхилень від заданого курсу, який пов'язаний із мінімізацією витрат палива у процесі розходження. На рис. 6.4 наведена область допустимих параметрів розходження Ω із багатьма цілями. Для положення власного судна у точці 1, найкращою, з точки зору вибраного критерію, є точка 2, яка належить області допустимих параметрів розходження і знаходиться на найближчій кутовій відстані до точки 1. Перехід у точку 2 можна здійснити комбінованим маневром (змінюючи курс і швидкість). Для положення власного судна у точці 3, найкращою, з точки зору вибраного критерію, є точка 4, яка належить області допустимих параметрів розходження і знаходиться на тому ж курсі, що й точка 3. Перехід у точку 4 із точки 3 можна здійснити змінюючи швидкість власного судна.

Визначені параметри розходження $(V_{n1}, K_{n1}) \in \Omega$ використовуються як програмні значення у законі керування [174]:

$$\begin{cases} \theta = \frac{\pi}{2} \frac{V_{n1}}{V_{\max}} \\ \delta = k_{\varphi}(\varphi_m - K_{n1}) + k_{\omega}\omega_{zm} + k_f \int (\varphi_m - K_{n1})dt \end{cases} \quad (6.12)$$

де: θ - кут відхилення телеграфу, δ - кут відхилення стерна, φ_m - вимірний курс, ω_{zm} - вимірня кутова швидкість рискання, $k_{\varphi}, k_{\omega}, k_f$ - коефіцієнти підсилення ПД – регулятора.

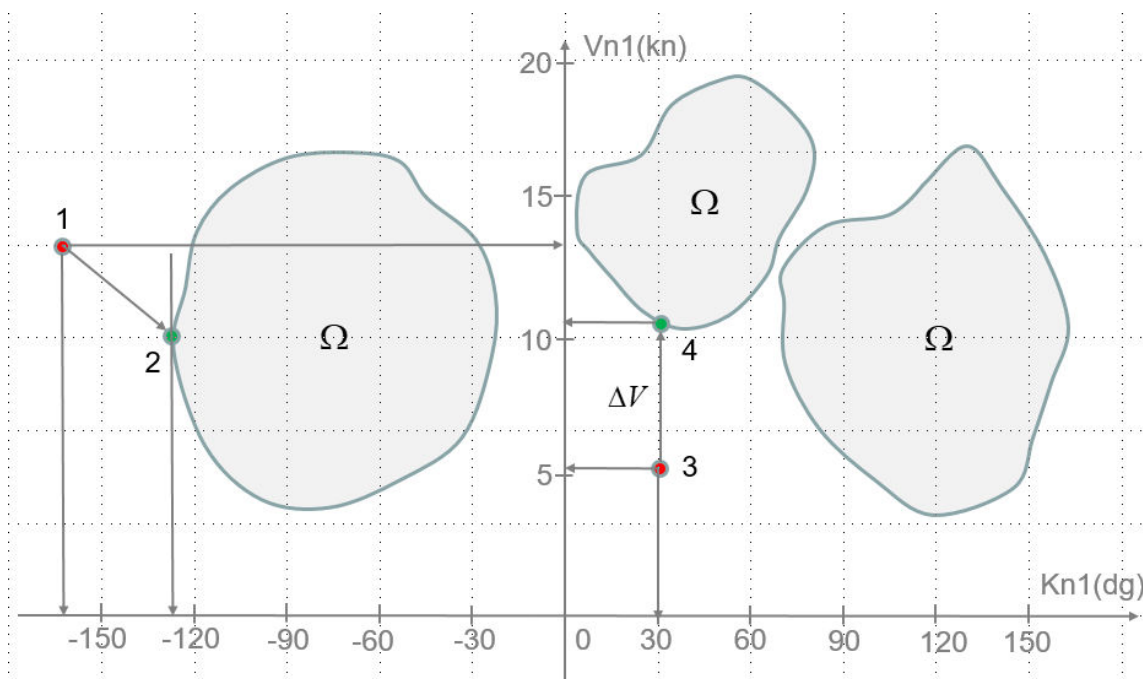


Рисунок 6.4 – Область допустимих параметрів розходження [174]

Працездатність та ефективність розробленого методу, алгоритмічного і програмного забезпечення модуля автоматичного розходження з багатьма небезпечними цілями, включаючи ті, що маневрують, були перевірені на стенді імітаційного моделювання, у замкнутій схемі із моделями тренажера Navi Trainer 5000.

На робочому місці інструктора, рис.6.5 (а), була виконана задача для автоматичного оптимального розходження власного судна із дев'ятьма небезпечними цілями. Червоним кольором зображено власне судно, синім кольором зображені судна – цілі. Показані заплановані траєкторії цілей та їх тренди. Частина цілей створює загрозу зіткнення на початку розходження, інша частина цілей стає небезпечною після зміни їх курсів. Моменти зміни курсів заплановані у точках злому траєкторій цілей. Радіус області безпечного розходження було прийнято $R_{sa}=0,5$ nm.

На рис. 6.5(b) показано положення власного судна і цілей через 5 хв. розходження. На рис. 6.5 (с) показано екран РЛС через 5 хв. розходження [174].

значення у ПІД – регуляторі для регулювання поточного курсу та швидкості судна. На відміну від ЗАРП, запропонований метод розходження дозволяє автоматично розходитися з цілями, що маневрують, чим мінімізує вплив людського чинника на процеси керування. У порівнянні з відомими рішеннями автоматичного розходження, розроблений метод дозволяє розходитися з багатьма небезпечними цілями, включаючи ті, що маневрують. Максимальна кількість цілей для розходження не обмежується методом розходження, а обмежується лише можливостями РЛС та ЗАРП за кількістю супроводжуваних цілей. Розроблений метод може використовуватися на судах, за умови інтегрування в існуючу автоматизовану систему бортового обчислювача з відкритою архітектурою, для нарощування можливостей автоматичного керування рухом, додаванням можливості автоматичного оптимального розходження з багатьма цілями, включаючи ті, що маневрують [174].

Теоретичне значення отриманого результату полягає у розробці методу автоматичного оптимального розходження власного судна із багатьма небезпечними цілями, включаючи ті, що маневрують. Практичне значення отриманого результату полягає у можливості використання в автоматизованих системах з розширеною архітектурою модуля автоматичного оптимального розходження, автоматизації та оптимізації, за рахунок цього, операцій розходження, зменшення втомлюваності екіпажу та підвищення надійності.

До обмежень розробленого методу слід віднести неможливість його застосування для ручного керування.

6.6. Автоматизація процесів керування рухом судна у шторм

Штормування є важливим етапом проводки судна. Методи штормування завжди залежали наявних і доступних для судноводія технологічних можливостей управління. Для полегшення завдання управління судном у шторм рядом вчених були запропоновані спеціальні діаграми для вибору курсу і швидкості у штормових умовах. Найбільше поширення отримала універсальна

діаграма Ю. В. Ремеза [216], яка дозволяє визначити несприятливі поєднання швидкості і курсових кутів бігу хвиль - так званих резонансних зон, що дає судноводієві можливість прийняття рішення про вибір методу штормування.

Однак, існує ряд факторів, які не дозволяють ефективно використовувати діаграми штормування. По - перше, параметри хвилювання вимірюються наявними засобами (за допомогою пеленгатора або РЛС), без використання спеціального обладнання, що вже на цьому етапі вносить суттєві помилки у розрахунки. По – друге, вимірювана інформація обробляється вручну, з використанням графічних діаграм, що ще більше збільшує помилки. По – третє, на проведення розрахунків потрібен час, якого може просто не бути у критичних ситуаціях, також розрахунки не можуть проводитися безперервно з метою відстеження зміни умов руху і хвилювання. Не можна також не враховувати людський чинник, коли можуть бути допущені помилки, особливо у важких умовах шторму. Все це призводить до того, що на практиці штормування судна, як правило, виконується інтуїтивно, без застосування діаграм штормування та проведення будь-яких розрахунків [174].

Використання систем автоматичного керування рухом судна дозволяє суттєво знизити вплив людського чинника та підвищити безпеку мореплавства, особливо в складних умовах плавання. Також автоматизація процесів управління рухом судна у шторм набуває особливої значущості для випадків керування безекіпажними та автономними суднами.

Запропонована система автоматичного штормування, вільна від усіх вищевказаних недоліків ручного штормування, оскільки використовує для вимірювання параметрів хвилювання спеціалізоване обладнання, вимірювання параметрів руху судна і параметрів хвилювання, а також здійснює їх обробку і формування управлінь автоматично і постійно, з тактом роботи бортового контролера судна, що дозволяє постійно відстежувати будь-які зміни параметрів руху судна і хвилювання, програмне забезпечення, якщо воно відпрацьоване і не містить помилок, завжди розраховує вірний результат і може працювати у

будь – яких штормових умовах, більше того, на відміну від ручного штормування, задача може вирішуватися оптимально.

Математична модель судна, як об'єкту керування $f(\mathbf{X}, \mathbf{U}, \mathbf{W}, T_B, T_L)$ та закону керування $\mathbf{u}(\mathbf{X}, \mathbf{X}^*(n-1))$ представлені відповідно векторними рівняннями (6.13 – 6.15) [14]:

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{f}(\mathbf{X}, \mathbf{U}, \mathbf{W}, T_B, T_L) \quad (6.13)$$

$$\mathbf{U} = \mathbf{u}(\mathbf{X}, \mathbf{X}^*(n-1)) \quad (6.14)$$

$$\mathbf{X}^*(n-1) \subseteq \Omega \quad (6.15)$$

де $\mathbf{X}=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ - вектор параметрів стану об'єкту керування, $\mathbf{U}=(U_1, U_2, \dots, U_m)$ - вектор керувань, $\mathbf{W}(\lambda, q)$ - вектор зовнішнього хвильового впливу, λ - довжина хвилі, q - кут набігання хвилі (кут між вектором швидкості і діаметральною площиною судна), T_B, T_L - періоди власних коливань судна в каналах крену і диференту, $\mathbf{X}^*(n-1) = (V^*(n-1), K^*(n-1))$ - вектор програмних значень параметрів вектора стану (швидкості і курсу) до штормування, Ω - область резонансу. Для вирішення поставленої задачі необхідно визначити такі $\mathbf{X}^*(n) = (V^*(n), K^*(n)) \notin \Omega$, для яких функція якості керування $Q(\mathbf{X}^*(n-1), \mathbf{X}^*(n)) \rightarrow \min$.

Величинами, що характеризують качку, є кут нахилу судна (амплітуда) і період, протягом якого судно здійснює одне повне коливання. Коливання судна на тихій воді, що виникають під дією одноразово прикладеного до корпусу судна моменту зовнішніх сил, називаються власними або вільними.

Період вільних коливань при бортовій хитавиці наближено можна визначити за формулою [216]:

$$T_B = \frac{kB}{\sqrt{h}} \quad (6.16)$$

де k - коефіцієнт, рівний 0,81 для вантажних суден, B [m] - ширина судна, h [m] - поперечна метацентрична висота.

Період вільних коливань при кильовій хитавиці наближено можна визначити за формулою [216]:

$$T_L \approx 2,8\sqrt{\chi T} \quad (6.17)$$

де χ - коефіцієнт вертикальної повноти судна, T [m] - осадка судна.

Бортові та кильові коливання судна збуджуються вимушеними коливаннями хвиль. При відсутності руху судна, період вимушених коливань збігається з періодом хвиль. При русі судна період вимушених коливань відрізняється від періоду хвиль за рахунок зміни швидкості проходження хвиль відносно судна на величину швидкості судна. Такий період вимушених коливань називається вдаваним періодом хвиль. Вдаваний період хвиль $\tau(n)$ залежить від довжини хвилі λ , швидкості судна $V(n)$ та курсового кута хвилі $q(n)$ - кута між напрямом бігу хвиль і діаметральною площиною судна, [216]:

$$\tau(n) = \frac{\lambda}{1.25\sqrt{\lambda} + 0.514 V(n) \cos q(n)} \quad (6.18)$$

На хвилюванні судно піддається хитавиці, заливці і забризкуванню палуб і містка, сильним динамічним навантаженням на корпус. При цьому знижується швидкість, погіршується керованість судном. Особливо небезпечним є випадок резонансної хитавиці, при якій період вільних коливань судна збігається з періодом вимушених коливань або близький з ним. Амплітуда хитавиці різко зростає, коли період вимушених коливань збігається з періодом вільних коливань (явище резонансу). Практично небезпечними вважаються резонансні режими хитавиці, коли вірними є нерівності, [216]:

$$0,7 \leq \frac{T_B}{\tau(n)} \leq 1,3 \quad (6.19)$$

$$0,7 \leq \frac{T_L}{\tau(n)} \leq 1,3 \quad (6.20)$$

Нерівності (6.19), (6.20) визначають зону резонансу Ω відповідно для бортової та кільової хитавиці. Задачею штормування являється створення таких умов руху судна, при яких нерівності (6.19, 6.20) не виконуються. Вищевказане може бути досягнуто або за рахунок належної зміни параметра $\tau(n)$, або параметрів T_B та T_L . Із формули (6.18) видно, що змінюючи швидкість руху судна $V(n)$ та / або курсовий кут хвилі $q(n)$ можна змінювати вдаваний період хвиль $\tau(n)$. Саме за рахунок зміни вказаних параметрів, як правило, і відбувається штормування судна. Слід також зазначити, що на період вільних коливань при бортовій хитавиці T_B та на період вільних коливань при кільовій хитавиці T_L можна впливати також за рахунок організації перекачування пального у баки, що знаходяться далі від діаметральної площини або навпаки [14].

З метою вирішення питань автоматизації процесів штормування у процесі виконання дослідження та проведення НДР, було створено систему автоматичного штормування (рис. 6.6), яка включає блок датчиків (датчик лінійної швидкості, датчик параметрів хвилювання, датчик курсу, датчик кутової швидкості), запам'ятовуючий пристрій для збереження і коригування констант, які використовуються у розрахунках, бортовий обчислювач, що забезпечує приймання вимірної датчиками інформації, обробку цієї інформації разом з константами відповідно до закладених алгоритмів та формування керуючих сигналів на автоматику СЕУ й автоматику керма.

Датчиком лінійної швидкості вимірюється лінійна швидкість судна V , датчиком параметрів хвилювання вимірюються курс бігу хвиль K_W та довжина хвилі λ , датчиком курсу вимірюється курс K руху судна, датчиком кутової швидкості вимірюється кутова швидкість ристання судна ω . Суматором 1 обчислюється курсовий кут хвилі $q = K - K_W$, який подається на блок розрахунку безпечної швидкості та курсу [14].

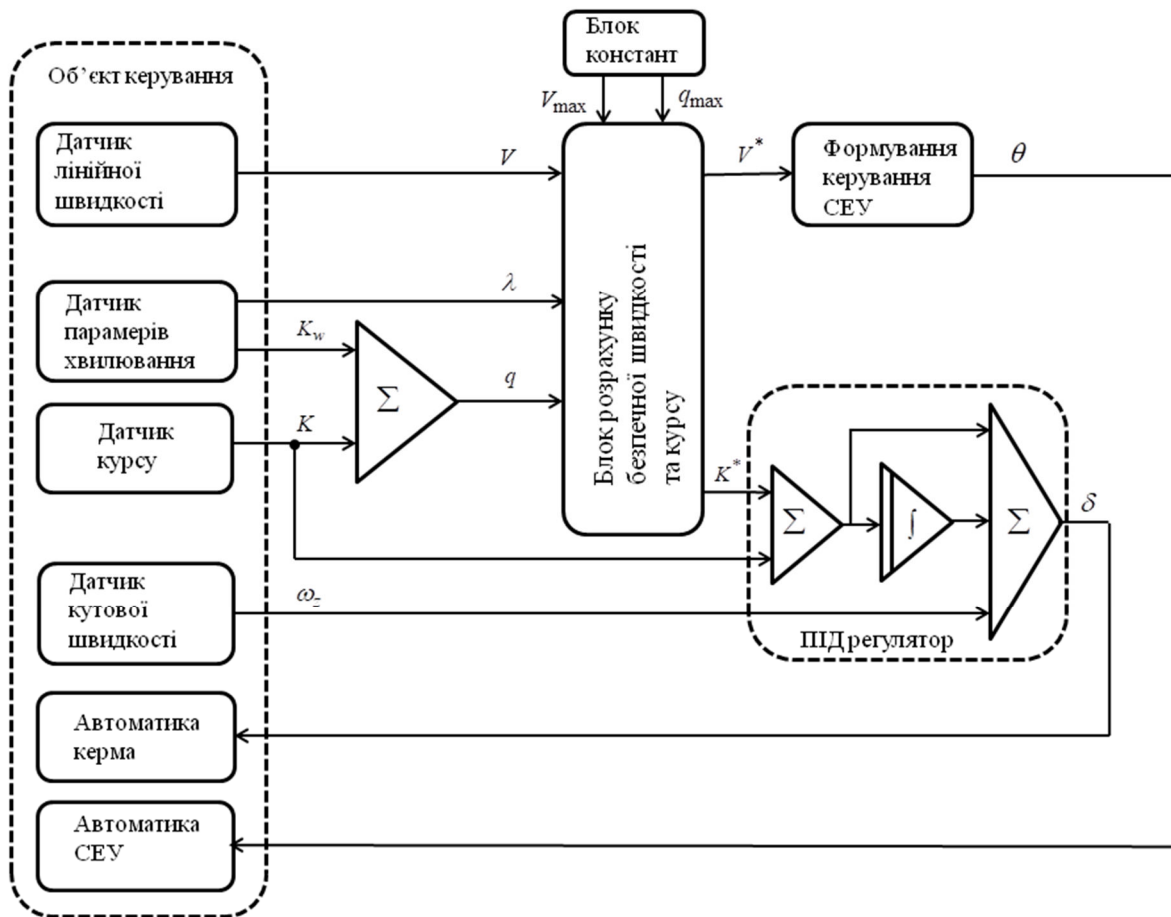


Рисунок 6.6 – Блок – схема системи автоматичного штормування [14]

Також на блок розрахунку безпечної швидкості та курсу подаються довжина хвилі λ та швидкість судна V .

Блок розрахунку безпечної швидкості та курсу розраховує резонансну зону Ω та допустимі області штормування, що лежать поза межами резонансної зони та у межах між мінімальною швидкістю судна і максимальною швидкістю під час шторму. Наявність допустимих областей штормування означає наявність нескінченної кількості допустимих параметрів штормування $\{V(n), K(n)\}$, серед яких можуть бути вибрані оптимальні відповідно до встановленого критерію оптимальності. Таким чином, задача розрахунку безпечної швидкості та курсу штормування зводиться до задачі оптимізації функції якості керування Q за умов виконання обмежень $\mathbf{x}(n) \notin \Omega$ та $V_{\min} \leq V \leq V_{\max}^{st}$, де V_{\max}^{st} - максимальна

швидкість судна під час шторму. Параметри $\{V(n), K(n)\}$ з виходу блоку розрахунку безпечної швидкості та курсу подаються на вхід блоку формування управління θ СЕУ та на вхід ПД – регулятора для формування управління δ кермом. Також, для забезпечення якісних перехідних процесів керування у каналі рискання, на другий вхід ПД – регулятора подається кутова швидкість рискання судна, виміряна датчиком кутової швидкості рискання. Сформовані управління θ та δ подаються відповідно на автоматику СЕУ та автоматику керма для підтримання безпечної швидкості і курсу $\{V(n), K(n)\}$ [14].

За вказаних умов, функція якості керування може бути визначена наступним чином:

$$Q = (e(n) \cos q(n) - e(n-1) \cos q(n-1))^2 + (e(n) \sin q(n) - e(n-1) \sin q(n-1))^2 \quad (6.21)$$

де: $e(n) = \frac{V(n)}{V_{\max}}$ - відносна швидкість судна під час штормування,

$e(n-1) = \frac{V(n-1)}{V_{\max}}$ - відносна швидкість судна до штормування,

$q(n), q(n-1)$ - курсовий кут хвилі під час штормування та до штормування.

Фізичний зміст функції (6.15) полягає у мінімізації відстані на діаграмі штормування між положенням до штормування $\{e(n-1) \cos q(n-1), e(n-1) \sin q(n-1)\}$ і положенням під час штормування $\{e(n) \cos q(n), e(n) \sin q(n)\}$.

Для визначення резонансної зони Ω , із нерівностей (6.19), (6.20), з врахуванням (6.18), знаходимо:

$$e(n) \cos q(n) \geq \frac{1}{V_{\max}} (1,42 \frac{\lambda}{T_B} - 2,31 \sqrt{\lambda}) \quad (6.22)$$

$$e(n) \cos q(n) \leq \frac{1}{V_{\max}} (2,64 \frac{\lambda}{T_B} - 2,31 \sqrt{\lambda}) \quad (6.23)$$

$$e(n) \cos q(n) \geq \frac{1}{V_{\max}} (1,42 \frac{\lambda}{T_L} - 2,31 \sqrt{\lambda}) \quad (6.24)$$

$$e(n) \cos q(n) \geq \frac{1}{V_{\max}} (1,42 \frac{\lambda}{T_L} - 2,31 \sqrt{\lambda}) \quad (6.25)$$

Визначаємо поза резонансні зони Ω_1, Ω_2 :

$$e(n) \cos q(n) < \frac{1}{V_{\max}} (1,42 \frac{\lambda}{T_B} - 2,31 \sqrt{\lambda}) \quad (6.26)$$

$$e(n) \cos q(n) > \frac{1}{V_{\max}} (2,64 \frac{\lambda}{T_B} - 2,31 \sqrt{\lambda}) \quad (6.27)$$

$$e(n) \cos q(n) < \frac{1}{V_{\max}} (1,42 \frac{\lambda}{T_L} - 2,31 \sqrt{\lambda}) \quad (6.28)$$

$$e(n) \cos q(n) > \frac{1}{V_{\max}} (2,64 \frac{\lambda}{T_L} - 2,31 \sqrt{\lambda}) \quad (6.29)$$

Таким чином, блок розрахунку безпечної швидкості та курсу визначає оптимальну пару параметрів $\{e(n), q(n)\}$ шляхом мінімізації функції якості керування, при наявності обмежень (6.26) – (6.29) та $e(n)_{\min} \leq e(n) \leq e(n)_{\max}^{st}$.

Оптимальна пара параметрів $\{V(n), K(n)\}$ з виходу блоку розрахунку безпечної швидкості та курсу подається на вхід блоку формування управління θ СЕУ та на вхід ПД – регулятора для формування управління δ кермом. Також, для забезпечення якісних перехідних процесів керування у каналі рискання, на другий вхід ПД – регулятора подається кутова швидкість рискання судна, виміряна датчиком кутової швидкості рискання. Сформовані управління θ та δ подаються відповідно на автоматику СЕУ та автоматику керма для підтримання безпечної швидкості і курсу $\{V(n), K(n)\}$.

6.7. Автоматизація процесів керування рушійно-керуючим комплексом

Питання зменшення споживання енергії та палива на судні, а також супутні питання зменшення викидів та покращення навколишнього середовища є особливо актуальними на сьогодні. Оптимізація руху та економія палива також можлива завдяки правильному плануванню маршруту, використанню систем підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем з автоматичними модулями керування.

Станом на поточний момент часу, судна з системою динамічного позиціонування (DP-system) та судна, обладнані підрулюючими пристроями, мають найвищий ступінь автоматизації процесів керування рухом [175,180]. Резервовані структури керування мають надлишковість, тобто кількість незалежних керувань більша кількості ступенів свободи, що підлягають керуванню. Вказане дозволяє підвищити не тільки надійність структури пристроїв, що керують рухом, але й використовувати надлишковість для підвищення ефективності процесів керування, наприклад, зменшення енергетичних витрат на переміщення судна, за рахунок організації руху без дрейфу, з меншим гідродинамічним опором, збільшення результуючих керуючих сили і моменту завдяки оптимальному перерозподілу керувань окремих керуючих пристроїв всередині самої структури.

Разом з тим, на поточний момент часу, ще створено відповідних розробок для автоматизованих систем керування рухом суден, які дозволяють, за рахунок надлишковості структур керуючих пристроїв, зменшити енергоспоживання, збільшити керуючі сили та моменти, перелаштувати надлишкову структуру з однієї цільової функції на іншу. Вказані задачі виникають, наприклад, під час тривалого процесу ДП, коли доцільно: а) мінімізувати енергоспоживання структури на підтримування позиції; б) максимально збільшити бокову керуючу силу для відходу від платформи, при наявності сильного прижимного вітру; в) максимально збільшити поздовжню керуючу силу для найшвидшого

поздовжнього переміщення; г) налаштовувати структуру на виконання наступної задачі на фоні виконання поточної задачі, наприклад, для швидкого відходу від платформи при прижимному вітрі після закінчення операцій динамічного позиціонування [180]. Тому, розробка автоматичних модулів оптимального керування надлишковими структурами для забезпечення зазначених вище можливостей являється актуальною науково – технічною задачею. На рис. 6.7 наведена запропонована схема надлишкового керування судном OSV3 [182].

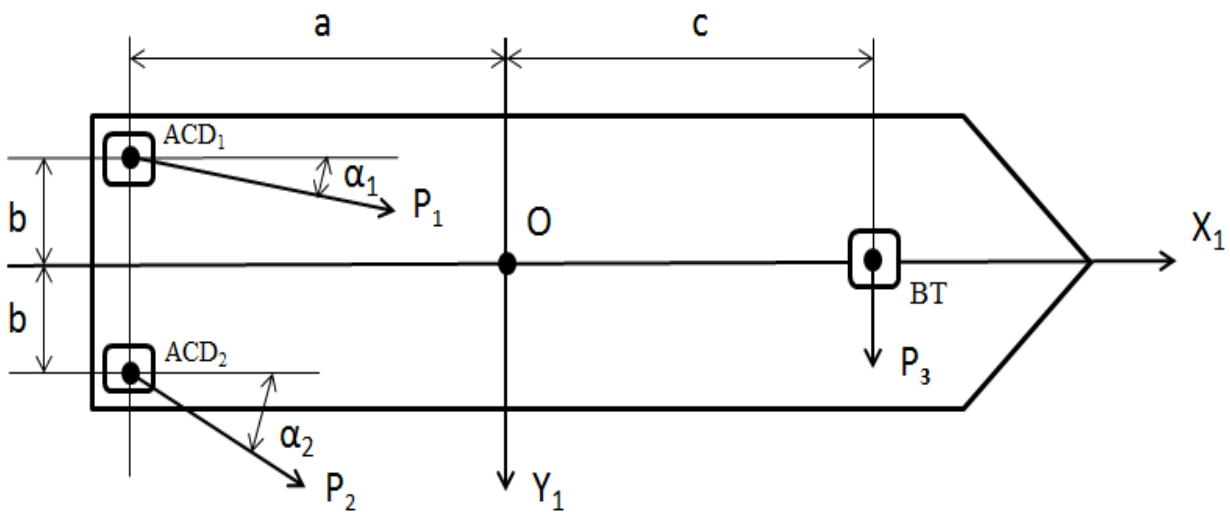


Рисунок 6.7 – Схема надлишкового керування судном OSV3 [182]

Зв'язана із судном система координат $OX_1Y_1Z_1$ розміщена у центрі обертання судна O , вісь OX_1 лежить у діаметральній площині судна, паралельна палубі судна і направлена у носову частину судна. Вісь OY_1 перпендикулярна діаметральній площині судна і направлена в сторону правого борту. Вісь OZ_1 доповнює систему $OX_1Y_1Z_1$ до «правої». Надлишкова структура керування включає першу гвинторульову колонку ACD_1 , координати якої $(-a, -b, 0)$, другу гвинторульову колонку ACD_2 , координати якої $(-a, -b, 0)$, та носовий підрулюючий пристрій BT , координати якого $(c, 0, 0)$. Гвинторульова колонка ACD_1 створює вектор сили упору гвинта $\mathbf{P}_1 = (P_1 \cos \alpha_1, P_1 \sin \alpha_1, 0)$, та має обмеження на керування $-P_{ACD}^{\max} \leq |\mathbf{P}_1| \leq P_{ACD}^{\max}, -\pi \leq |\alpha_1| \leq \pi$. Гвинторульова колонка ACD_2 створює вектор сили упору гвинта $\mathbf{P}_2 = (P_2 \cos \alpha_2, P_2 \sin \alpha_2, 0)$ та має обмеження

на керування $-P_{ACD}^{\max} \leq |\mathbf{P}_2| \leq P_{ACD}^{\max}, -\pi \leq \alpha_2 \leq \pi$. Носовий підрулюючий пристрій ВТ створює бокову силу $\mathbf{P}_3 = (0, P_3, 0)$ та має обмеження на керування $-P_{BT}^{\max} \leq |\mathbf{P}_3| \leq P_{BT}^{\max}$.

Математичну модель наведеної на рис. 6.7 структури запишемо у вигляді [107,182]:

$$\begin{cases} P_x = P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2 \\ P_y = P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 + P_3 \\ M_z = P_1 b \cos \alpha_1 - P_2 b \cos \alpha_2 - P_1 a \sin \alpha_1 - P_2 a \sin \alpha_2 + P_3 c \end{cases} \quad (6.30)$$

де P_x - сумарна поздовжня керуюча сила структури, P_y - сумарна бокова керуюча сила структури, M_z - сумарний керуючий момент структури у каналі русання. Система (6.30) включає п'ять параметрів керування $P_1, \alpha_1, P_2, \alpha_2, P_3$.

Для керування поздовжнім, боковим та кутовим рухом судна у каналі русання потрібно 3 незалежні керування P_x, P_y, M_z , тобто надлишковість структури становить $5-3=2$. Вказані два надлишкові керування можуть бути використані для оптимізації процесів керування і налаштування структури. У загальному вигляді цільова функція керування надлишковою структурою (6.30) може бути записана у вигляді:

$$Q(P_1, \alpha_1, P_2, \alpha_2, P_3) \rightarrow \text{extr} \quad (6.31)$$

Параметри P_x, P_y, M_z , що входять до системи нелінійних обмежень (6.30), знаходимо із системи рівнянь ПД – регулювання:

$$\begin{cases} P_x = k_1(X_g - X_g^*) + k_2(V_x - V_x^*) + k_3 \int (X_g - X_g^*) dt \\ P_y = k_4(Y_g - Y_g^*) + k_5(V_y - V_y^*) + k_6 \int (Y_g - Y_g^*) dt \\ M_z = k_7(\varphi - \varphi^*) + k_8(\omega_z - \omega_z^*) + k_9 \int (\varphi - \varphi^*) dt \end{cases} \quad (6.32)$$

де: $X_g - X_g^*$, $Y_g - Y_g^*$, $\varphi - \varphi^*$ - відповідно поздовжнє, бокове та кутове (у каналі рискання) відхилення від заданих програмних значень,

$V_x - V_x^*$, $V_y - V_y^*$, $\omega_z - \omega_z^*$ - відповідно відхилення поздовжньої, бокової та кутової швидкості (у каналі рискання) від програмних значень,

$k_1 - k_9$ - коефіцієнти підсилення ПД – регулятора.

У якості цільової функції (6.31) може використовуватися, наприклад, цільова функція мінімального енергоспоживання $Q(P_1, P_2, P_3) = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \rightarrow \min$, функції, що максимізують керуючі сили та момент у каналах поздовжнього, бокового руху та рискання $Q(P_x) = |P_x| \rightarrow \max$, $Q(P_y) = |P_y| \rightarrow \max$, $Q(M_z) = |M_z| \rightarrow \max$, або інші [109].

Наявність надлишкового керування дозволяє, на фоні виконання не оптимізаційної задачі, налаштовувати надлишкову структуру на потрібну цільову функцію. Наприклад, після проведення динамічного позиціонування, планується відхід лагом від платформи, при наявності сильного прижимного вітру. У зазначеному випадку, ще під час ДП, доцільно налаштувати надлишкову структуру на створення максимальної бокової керуючої сили, щоб пересилити вітер, що притискає. Налаштування структури виконаємо із використанням градієнтного методу. Нехай цільова функція, на яку потрібно налаштувати надлишкову структуру, $Q(P_1, \alpha_1, P_2, \alpha_2, P_3)$. Швидкість зміни цільової функції у часі [182]:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial P_1} \dot{P}_1 + \frac{\partial Q}{\partial \alpha_1} \dot{\alpha}_1 + \frac{\partial Q}{\partial P_2} \dot{P}_2 + \frac{\partial Q}{\partial \alpha_2} \dot{\alpha}_2 + \frac{\partial Q}{\partial P_3} \dot{P}_3 = \langle \mathbf{grad} Q, \dot{\mathbf{u}} \rangle \quad (6.33)$$

де: $\mathbf{grad}Q = \left(\frac{\partial Q}{\partial P_1}, \frac{\partial Q}{\partial \alpha_1}, \frac{\partial Q}{\partial P_2}, \frac{\partial Q}{\partial \alpha_2}, \frac{\partial Q}{\partial P_3} \right)$ - градієнт цільової функції

$Q(P_1, \alpha_1, P_2, \alpha_2, P_3)$,

$\dot{\mathbf{u}} = (\dot{P}_1, \dot{\alpha}_1, \dot{P}_2, \dot{\alpha}_2, \dot{P}_3)$ - вектор швидкостей зміни параметрів керування надлишкової структури.

Для найшвидшого спуску (підйому) по градієнту, необхідно виконання умови:

$$\frac{dQ}{dt} = \langle \mathbf{grad}Q, \dot{\mathbf{u}} \rangle \rightarrow \text{extr} \quad (6.34)$$

Щоб під час переналаштування структури автоматична система виконувала також і функції керування, потрібно враховувати нелінійні обмеження (6.30), які запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} P_x(n) = P_1(n) \cos \alpha_1(n) + P_2(n) \cos \alpha_2(n) \\ P_y(n) = P_1(n) \sin \alpha_1(n) + P_2(n) \sin \alpha_2(n) + P_3(n) \\ M_z(n) = P_1(n) b \cos \alpha_1(n) - P_2(n) b \cos \alpha_2(n) - P_1(n) a \sin \alpha_1(n) - P_2(n) a \sin \alpha_2(n) + P_3(n) c \\ P_1(n) = P_1(n-1) + \dot{P}_1(n) \Delta t \\ \alpha_1(n) = \alpha_1(n-1) + \dot{\alpha}_1(n) \Delta t \\ P_2(n) = P_2(n-1) + \dot{P}_2(n) \Delta t \\ \alpha_2(n) = \alpha_2(n-1) + \dot{\alpha}_2(n) \Delta t \\ P_3(n) = P_3(n-1) + \dot{P}_3(n) \Delta t \end{cases} \quad (6.35)$$

де: $P_x(n), P_y(n), M_z(n)$ - необхідні для керування сили і момент на n – му такті обчислення,

$P_1(n), \alpha_1(n), P_2(n), \alpha_2(n), P_3(n)$ - сили упору і кути повороту ACD1, ACD2 та сила упору ВТ на n такті обчислення,

$P_1(n-1), \alpha_1(n-1), P_2(n-1), \alpha_2(n-1), P_3(n-1)$ - сили упору і кути повороту ACD1, ACD2 та сила упору ВТ на $(n-1)$ такті обчислення,

$\dot{P}_1, \dot{\alpha}_1, \dot{P}_2, \dot{\alpha}_2, \dot{P}_3$ - оптимізаційні параметри (швидкості зміни параметрів керувань),

Δt - крок обчислення.

Додатково потрібно враховувати також обмеження на параметри керування і швидкості зміни параметрів керувань [182]:

$$\begin{cases} |P_1| \leq P_{ACD}^{\max}, |\alpha_1| \leq \pi, |P_2| \leq P_{ACD}^{\max}, |\alpha_2| \leq \pi, |P_3| \leq P_{BT}^{\max} \\ |\dot{P}_1| \leq \dot{P}_{ACD}^{\max}, |\dot{P}_2| \leq \dot{P}_{ACD}^{\max}, |\dot{\alpha}_1| \leq \dot{\alpha}_{ACD}^{\max}, |\dot{\alpha}_2| \leq \dot{\alpha}_{ACD}^{\max}, |\dot{P}_3| \leq \dot{P}_{BT}^{\max} \end{cases} \quad (6.36)$$

Для визначення оптимізаційних параметрів $\dot{P}_1(n), \dot{\alpha}_1(n), \dot{P}_2(n), \dot{\alpha}_2(n), \dot{P}_3(n)$, що задовольняють умові (6.34), нелінійним обмеженням (6.35) та лінійним обмеженням (6.36), використовуємо оптимізаційну процедуру з використанням оптимізаційної функції MATLAB на кожному кроці бортового обчислювача [182]:

$$\text{fmincon}(@\text{fn}, \mathbf{x0}, \mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{Aeq}, \mathbf{beq}, \mathbf{lb}, \mathbf{ub}, @\text{nonlcon}, \quad (6.37)$$

де $@\text{fun}$ - посилання на функцію (6.34), що оптимізується, $@\text{nonlcon}$ - посилання на систему нелінійних обмежень (6.35).

Результатом роботи оптимізаційної процедури із цільовою функцією (6.34), нелінійними обмеженнями (6.35) та лінійними обмеженнями (6.36) будуть оптимальні швидкості зміни параметрів керувань, які забезпечують налаштування надлишкової структури градієнтним методом на цільову функцію на фоні вирішення поточної функціональної задачі.

6.8. Висновки до шостого розділу

1. З метою підвищення точності та надійності функціонування автоматизованих систем управління рухом суден створено математичну модель руху судна у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь, з урахуванням дій вітру, течії і хвиль та математичну модель пристроїв, що керують, у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь з моделлю погіршностей і відмов.

2. Розроблено метод розходження, який дозволяє автоматично та оптимально розходитися з багатьма цілями, включаючи ті, що маневрують. Отриманий результат пояснюється використанням бортового обчислювача для побудови на кожному кроці обчислення області безпечного розходження власного судна з усіма цілями, вибором із побудованої області параметрів розходження, відповідно до встановленого критерію оптимальності, використанням вибраних параметрів розходження як програмних у законі керування рухом судна. Розроблений метод може застосовуватися для побудови автоматичних модулів розходження у бортовому обчислювачі автоматизованої системи. Вищевказане дає змогу автоматизувати та оптимізувати процеси розходження, суттєво зменшити вплив людського чинника на процеси керування, оптимізувати виконання функціональної задачі, зменшити втомлюваність екіпажу та в цілому підвищити безпеку судноплавства.

3. Досліджені питання автоматичного оптимального керування надлишковими структурами рушійно-керуючого комплексу судна. Розроблено методи, алгоритмічне і програмне забезпечення модулів оптимального керування надлишковою структурою офшорного судна OSV3 з двома ACD та носовим підрулюючим пристроєм, які забезпечують оптимальні керування надлишковими структурами з використанням цільової функції.

4. Досліджені питання автоматичного оптимального штормування судна. Запропонована оригінальна система автоматичного керування рухом судна у шторм. Розроблені методи та алгоритми автоматичного штормування перевірені

математичним моделюванням у замкнутому контурі з навігаційним тренажером Navi Trainer 5000.

5. Практичне значення розроблених методів полягає у зменшенні ширини смуги руху судна, підвищенні його безпеки, зменшенні гідродинамічного опору та витрат палива, створенні сприятливих умов для виконання технологічних операцій, наприклад, швартування судна, зменшенні впливу людського чинника.

Матеріали шостого розділу висвітлені у наступних роботах автора: [14,22,106,107,109,132,151,173,174,182,206,207,217,230].

РОЗДІЛ 7

РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ МОДУЛІВ СППР НА СТЕНДІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

7.1. Розробка Стенда імітаційного моделювання на базі навігаційного тренажера Navi Trainer 5000

Розвиток сучасних інформаційних технологій відкрив нові можливості застосування навігаційних тренажерів для відпрацювання навичок управління судном. Головною особливістю електронних тренажерів є реалістичність подання навігаційних ситуацій та врахування під час моделювання їх розвитку фізичних процесів руху суден. У 2013 році у Херсонській державній морській академії встановлено комплекс навігаційних тренажерів від компанії TRANSAS «Navi-Trainer Professional 5000» («Повнофункціональний навігаційний ходовий місток», «Повнофункціональний тренажер використання РЛС і ЗАРП для розходження суден» [65-68]). У 2015 році було встановлено комплексний тренажер ДП, що складається з повнофункціонального навігаційного містка ДП (Class A DNV), класу теоретичної підготовки та класу з окремими станціями ДП (Class C DNV).

Тренажери дозволяють проводити комплексне моделювання навігаційних процесів, пов'язаних з розходженням, маневруванням та динамічним позиціонуванням суден в умовах, максимально наближених до реальних. Усі вищевказані тренажери мають міжнародні сертифікати на відповідність реальним процесам, що відбуваються під час управління рухом суден та дозволяють використовувати різні математичні моделі власного судна, цілей, командних приладів, виконавчих пристроїв, імітувати їх відмови, створювати погодні умови та здійснювати візуалізацію відповідних навігаційних ситуацій. База даних тренажерів містить близько 20 математичних моделей суден та 20 районів плавання.

Під час проведення наукових досліджень в межах виконання чотирьох держбюджетних НДР у 2015-2022 рр. (№ д.р.: 0115U002517, 0117U002176, 0119U100948, 0121U109680), керівником яких був автор, на базі існуючого комплексу навігаційних тренажерів ХДМА було створено стенд імітаційного моделювання для розробки модулів СППР судноводія та тестування модулів автоматичного керування рухом суден [207]:

Створений стенд імітаційного моделювання дозволяє здійснити реалізацію наступних завдань:

- інтегрування імітатора бортового обчислювача (БО, ПК з програмами обміну та програмними модулями автоматичного керування рухом судна) у локальну обчислювальну мережу тренажера;
- організацію інформаційного обміну між тренажерним обладнанням та програмами імітатора БО з метою створення єдиного замкнутого контуру «Система керування – тренажерне обладнання»;
- формування та запуск на робочому місці інструктора навігаційних завдань (вибір судна, яким буде керувати автоматична система, району плавання, необхідних об'єктів тренажерної сцени, погодних умов, відмов командних приладів та виконавчих пристроїв, тощо);
- аналіз ступеня небезпечності навігаційних ситуацій, що мають місце, та формування відповідних інформаційних повідомлень для судноводія

Функціонально стенд імітаційного моделювання складається з наступних компонент: робоче місце інструктора навігаційного тренажера Navi Trainer Professional 5000 (рис. 7.1.), центральна стійка тренажера, у якій розміщено сервер, інформаційні та математичні моделі, комутаційне обладнання, джерела безперебійного живлення, повнофункціональний навігаційний місток та окремі навігаційні містки – робочі місця для проходження тренажерної підготовки.

Розроблений Стенд імітаційного моделювання захищено патентом на корисну модель України [207].

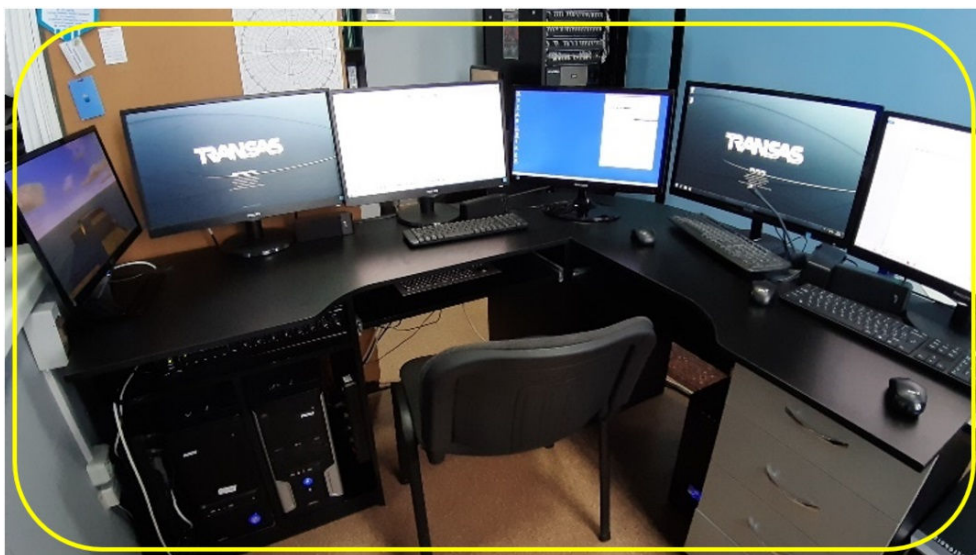


Рисунок 7.1 – Робоче місце інструктора навігаційного тренажера Navi Trainer Professional 5000 [217]

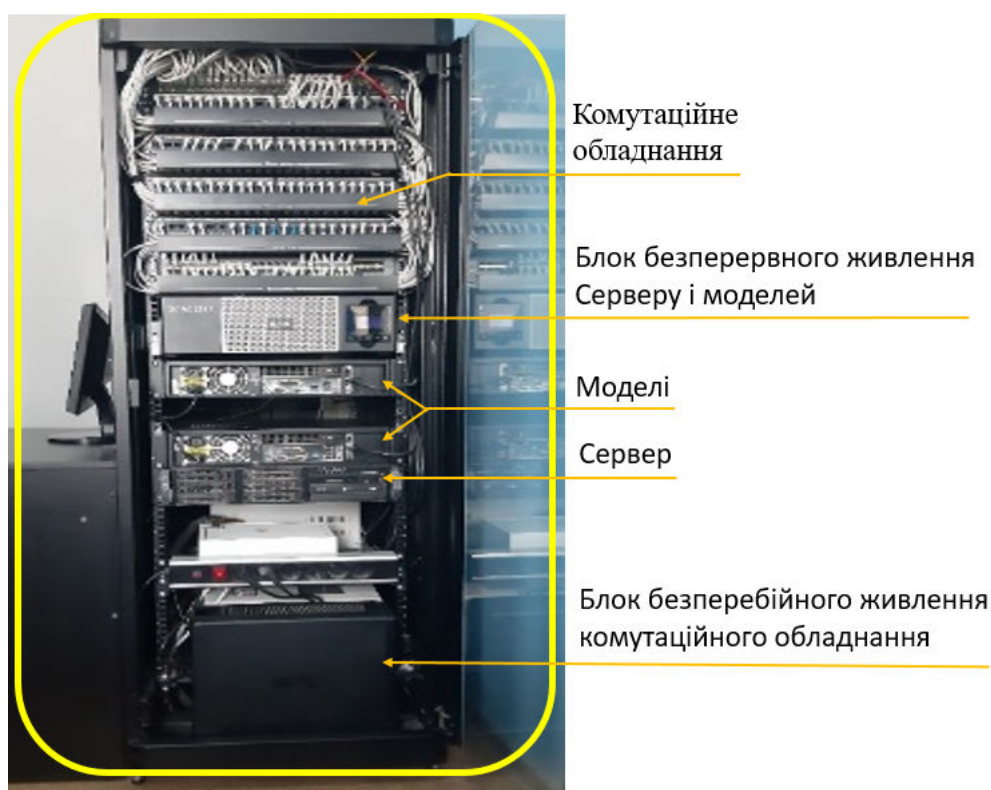


Рисунок 7.2 – Центральна стійка тренажера [217]

На сервері організовано домен NTPRO.LAN та зберігається програмне забезпечення навігаційних тренажерів. Моделі призначені для моделювання динаміки руху суден, цілей, інших об'єктів тренажерної сцени.

В окремих лабораторіях встановлені малі та великі віртуальні містки з необхідним обладнанням для візуалізації навігаційної обстановки та управління рухом судна. Повнофункціональний навігаційний ходовий місток зображено на рис. 7.3., окремі навігаційні містки – на рис 7.4.

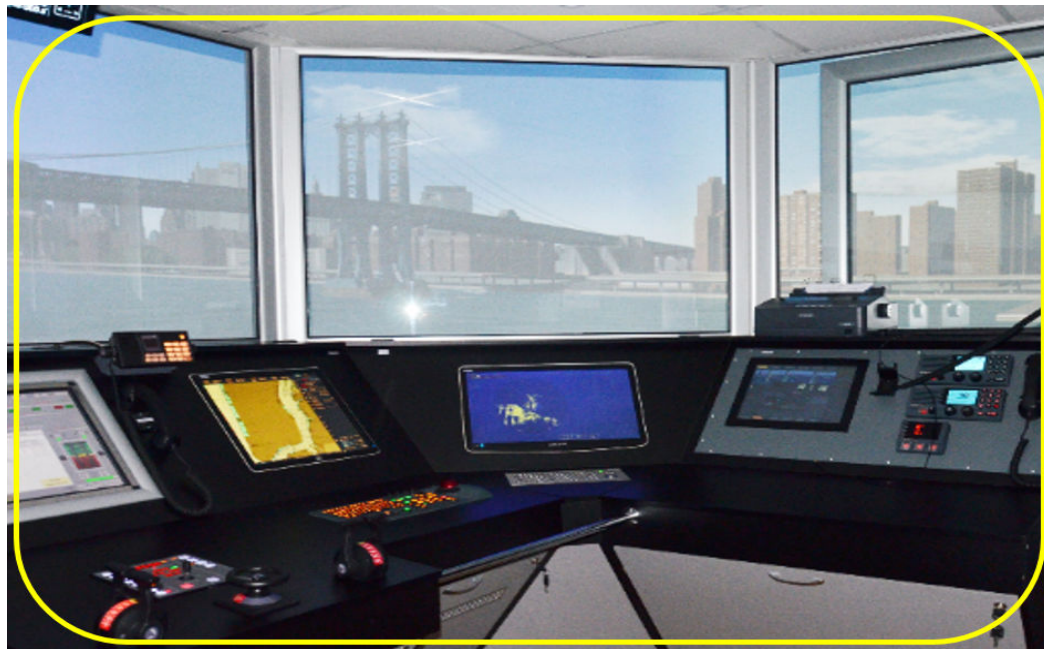


Рисунок 7.3 – Повнофункціональний навігаційний ходовий місток [217]



Рисунок 7.4 – Окремі містки навігаційного тренажера

На рис. 7.5 приведена структурна схема Стенда імітаційного моделювання, яка включає у себе існуючий навігаційний тренажер NTPro 5000, модулі якого

розташовані над локальною обчислювальною мережею (ЛОМ), та імітатор БО. До складу навігаційного тренажера NTPro 5000 входять моделі командних приладів 1–5 (модель електронної картографічної навігаційної інформаційної системи 1, модель радіолокатора та засобів автоматичної радіолокаційної прокладки 2, модель вимірювача лінійної швидкості 3, модель гірокомпаса 4, модель Coning 5, робоче місце інструктора 6, моделі каналів візуалізації 7–11 та моделі динаміки 12, 13.

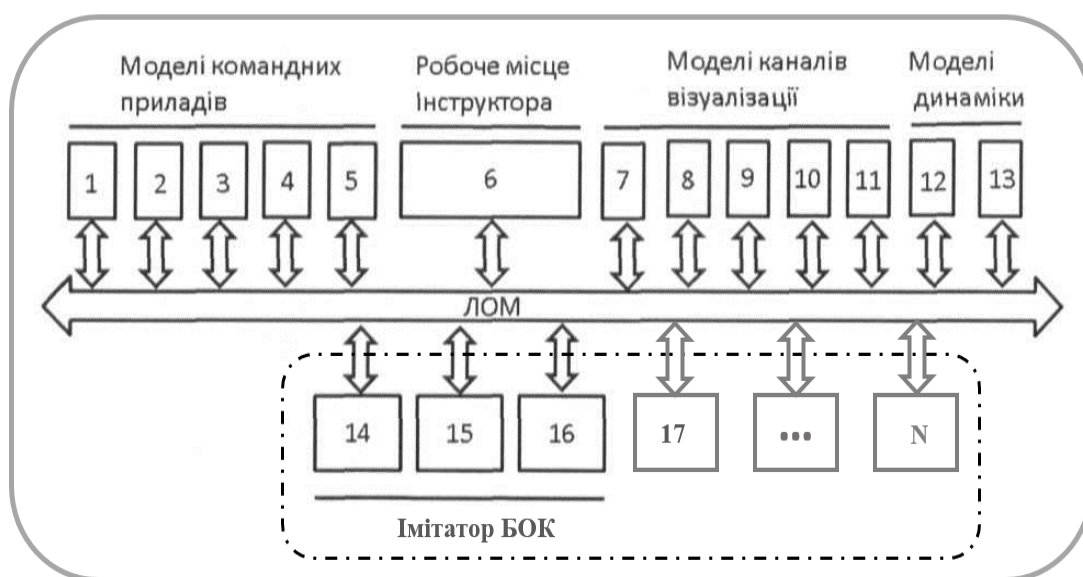


Рисунок 7.4 – Структурна схема стенда імітаційного моделювання [207]

Імітатор БО являє собою системний блок із програмним забезпеченням обміну даними 14 між навігаційним тренажером і імітатором БО та функціональним програмним забезпеченням модулів автоматичного керування рухом судна 15, 16, 17, ..., N.

7.2. Організація інформаційного обміну між навігаційним тренажером і Стендом імітаційного моделювання

Обмін інформацією між імітатором БО та навігаційним тренажером NTPro 5000 здійснюється через локальну обчислювальну мережу за допомогою інтерфейсу імітатора NMEA NTPro 5000. NMEA - спеціальний протокол для

підтримки сумісності морського навігаційного обладнання від різних виробників, розроблений Національною асоціацією морської електроніки (NMEA), якій застосовується у переважній більшості сучасних навігаційних програм для відображення даних у режимі реального часу. Відповідно до вимог вказаного протоколу, кожне окреме повідомлення не залежить від інших і є завершеним [217].

Повідомлення NMEA містить заголовок, набір даних, представлений символами ASCII, і поле контрольної суми для перевірки правильності переданої інформації. Заголовок стандартного повідомлення NMEA складається із 5 символів, із яких перші два визначають тип повідомлення, а решта три вказують його ім'я. NMEA також забезпечує передачу інформації із локальної мережі на фізичний або віртуальний COM - порт. Таким чином, протокол NMEA забезпечує передачу навігаційної інформації із різних навігаційних пристроїв тренажера, табл. 7.1 [217].

Таблиця 7.1 Навігаційні пристрої, що використовують протокол NMEA

Навігаційний пристрій	Дані, що отримуються
GPS	Широта, довгота місцезнаходження
Log	Швидкість відносно води
Sounder	Глибина
Gyro	Гірокомпасний курс
Compass	Магнітний курс
Wind	Відносна швидкість вітру
Arpa	Інформація про цілі
etc.	...

На рис. 7.5 наведено інтерфейс налаштувань сервера навігаційного тренажера із стандартною програмою редактору конфігурацій Config.

До конфігурації віртуального містка ALPHA2-DPA навігаційного тренажера «Повнофункціональний тренажер системи динамічного позиціонування» додано інтерфейс NMEA_LOG_GYRO_ARPA, який забезпечує обмін інформацією між навігаційним тренажером NTPro 5000 та імітатором БО [189].

У правому нижньому вікні редактора конфігурацій відображаються параметри налаштування протоколу NMEA, згідно з якими NMEA отримує інформацію через порт COM3 від наступних навігаційних пристроїв: LOG (пристрій для вимірювання швидкості судна відносно води), Gyro (пристрій для вимірювання курсу) та ARPA (засіб автоматичної радіолокаційної прокладки, для розрахунку параметрів відносного руху судна і цілей).

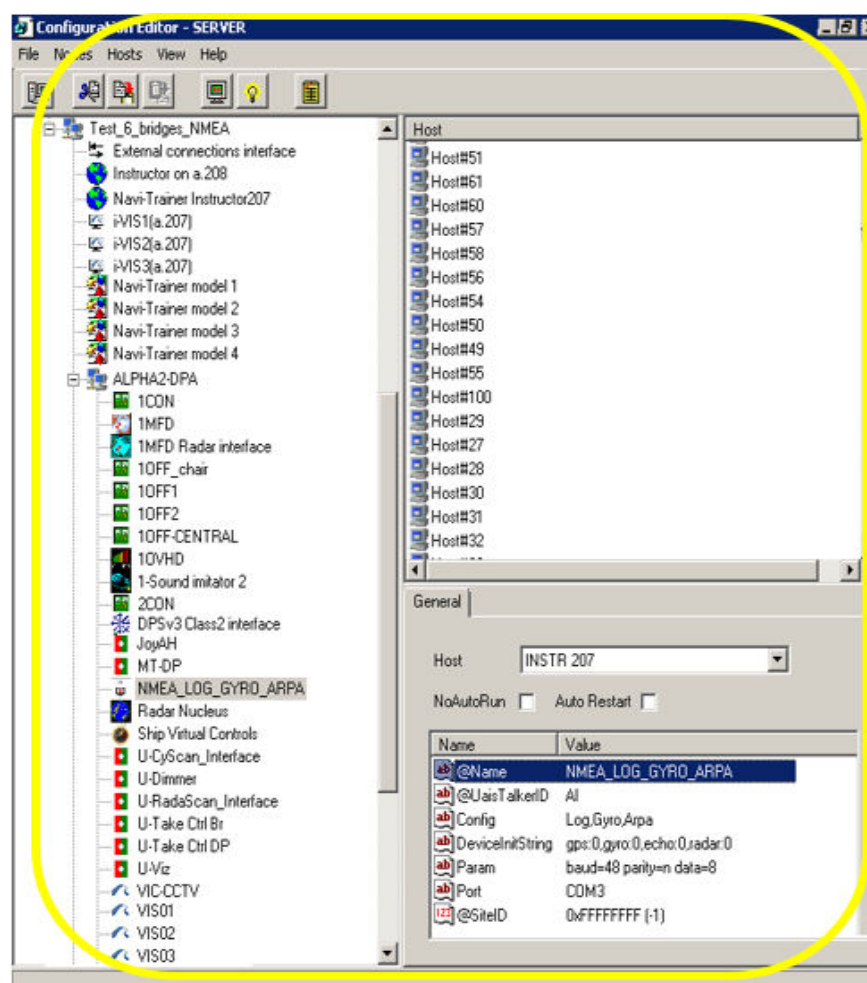


Рисунок 7.5 – Інтерфейс налаштувань конфігурації тренажера Configer [189]

Відповідно до приведених налаштувань, дані від зазначених навігаційних пристроїв, через локальну обчислювальну мережу та послідовний COM3 – порт, передаються до імітатора БО у вигляді повідомлень NMEA, наприклад: \$ VDVHW, 78,9, T ,,, 0,20, N ,,*45 \$ VDVBW, 0,20,0,30, A, 0,2,0,2, A, 1,10, A, 1,1, A*50 \$ VDLW, 0,00, N, 0,00, N, 0,00, N, 0,00, N*5F \$ HEHDT, 78,9, T*19 \$ HEROT, -7,0, A*01.

Для обміну інформацією між навігаційним тренажером та імітатором БО, а також для первинної обробки отриманої із навігаційного тренажера інформації, створено програмне забезпечення інформаційного обміну, інтерфейс якого показаний на рис. 7.6.

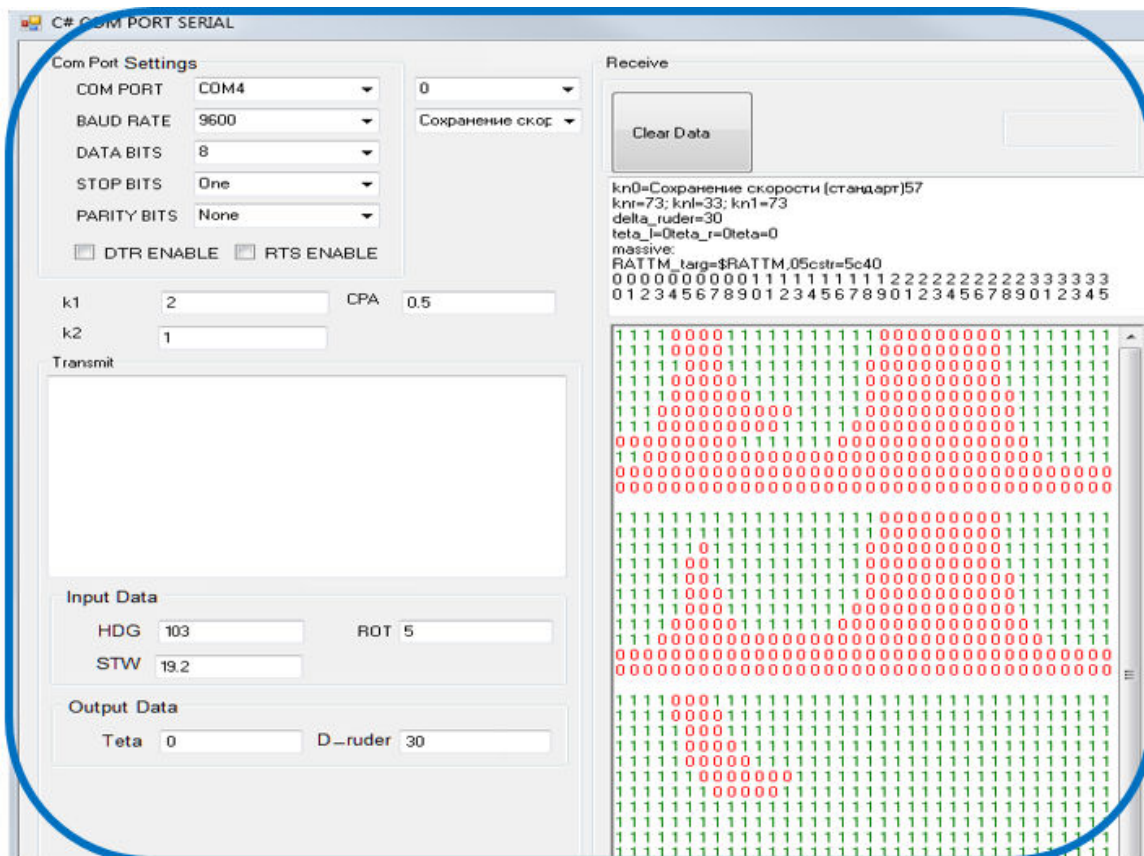


Рисунок 7.6 – Інтерфейс програмного забезпечення обміну інформацією між навігаційним тренажером та імітатором БО [189]

Зліва інтерфейс містить налаштування COM – порту (Com Port Settings), налаштування коефіцієнтів підсилення ПД – регулятора (k_1, k_2), налаштування радіуса зони безпечного розходження (CPA); відображає вхідні дані (Input Date)

по курсу (HDG), швидкості (STW), кутовій швидкості рискання (ROT); вихідні дані (Output Date) по куту відхилення телеграфу (Teta) та перу руля (Ruder), які формуються модулем автоматичного розходження і передаються на тренажер для відпрацювання моделями суден. Справа інтерфейс містить вікно для відображення вхідної інформації із COM – порта та кнопку очищення буфера даних із цією інформацією (Clear Date). Нижче відображаються області допустимих параметрів розходження Ω , $\Omega_j, j = 1..N_{tg}$ (позначені зеленим кольором).

Програмне забезпечення обміну написано мовою програмування C # і використовує стандартні методи бібліотеки C # для організації обміну через COM - порт, такі як метод ReadExisting () із класу SerialPort та метод Substring () із класу даних для розбору повідомлень.

7.3. Моделювання процесів автоматизованого розходження судна із багатьма цілями

З метою перевірки працездатності та прийнятності що до практичного застосування запропонованих у роботі методів управління рухом суден, було проведено низку експериментів із використанням створеного стенда імітаційного моделювання у замкнутому контурі з сертифікованими навігаційними тренажерами [217].

Для моделювання процесів автоматизованого розходження судна з кількома цілями, на робочому місці інструктора створено завдання, вирішення якого полягає у автоматичному розходженні із п'ятьма небезпечними цілями, що маневрують. В якості початкових вихідних даних для проведення експерименту було використано наступне:

- область безпечного розходження з усіма цілями $D_{sa} = 0,5 \text{ nm}$;

- дистанція найкоротшого зближення (Closest Point Approach) з усіма цілями на початок експерименту: $CPA_1 = 0,11 \text{ nm}$, $CPA_2 = 0,14 \text{ nm}$, $CPA_3 = 0,03 \text{ nm}$, $CPA_4 = 0,02 \text{ nm}$, $CPA_5 = 0,06 \text{ nm}$.

Як видно із умов проведення експерименту, дистанція найкоротшого зближення для усіх цілей на момент початку розходження менша області безпечного розходження, $CPA_j(0) \leq D_{sa}, j=1..N_{tg}$, тобто усі цілі є небезпечними. Після запуску створеного завдання, програмне забезпечення обміну інформацією імітатора БО зчитує дані з моделей командних пристроїв 1-5 із періодом її оновлення та передає їх на опрацювання у функціональний програмний модуль автоматичного розходження, який обробляє отриману інформацію із використанням формул 6.8-6.11, та передає сформовані керування θ, δ у навігаційний тренажер для відпрацювання моделлю власного судна. На рис. 7.7 показано положення цілей на екрані РЛС на момент початку розходження [180,217]. Як видно із наведеного рисунка, ЗАРП визначив 3 небезпечні цілі (їх відносні вектори руху виділені червоним кольором).

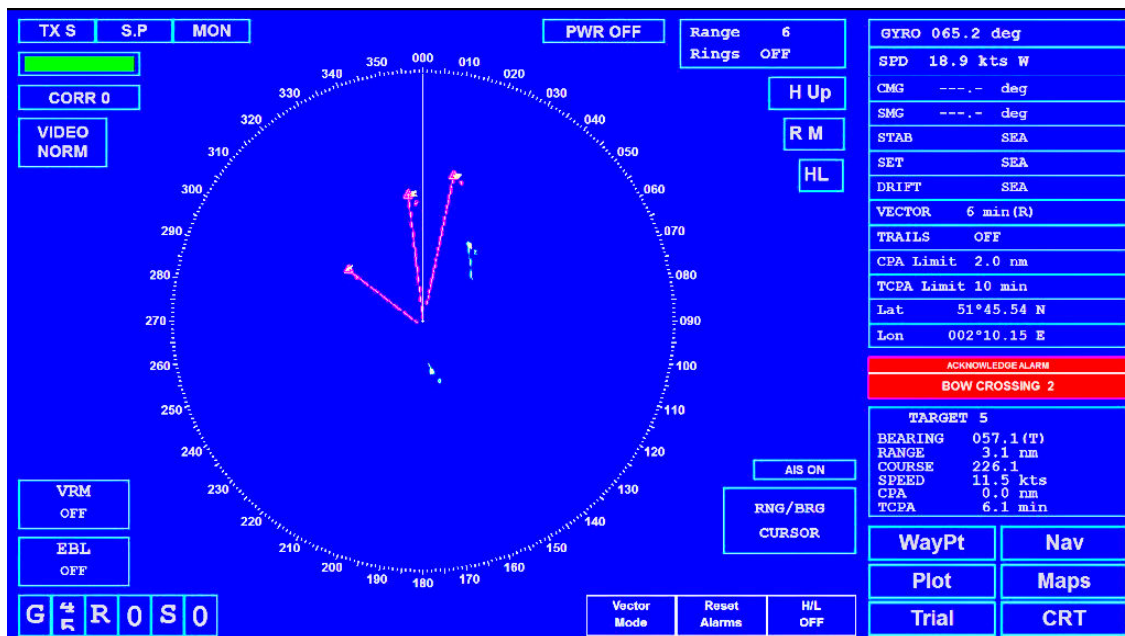


Рисунок 7.7 – Положення цілей на екрані РЛС на момент початку розходження

Під час розходження цілі мають дистанцію найкоротшого зближення більшу, ніж область безпечного розходження $CPA_j(t) \geq D_{sa}, j=1..5$ і лише одна ціль Т2 торкається області безпечного розходження через 20 хв. після початку експерименту, після чого її відстань до власного судна також починає збільшуватися. На рис. 3.8 показано екрана РЛС на момент закінчення розходження [180,217].

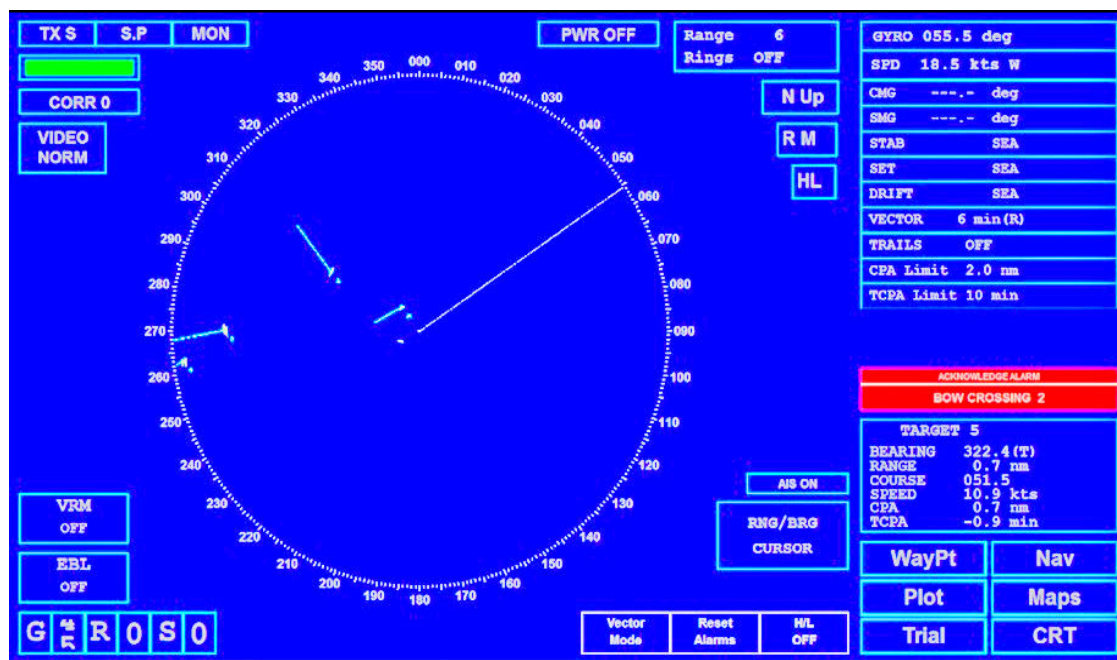


Рисунок 7.8 – Екран РЛС на момент закінчення розходження

Як видно на прикладі розглянутої задачі автоматичного розходження із п'ятьма небезпечними цілями, стенд імітаційного моделювання дозволяє проводити тестування функціонального програмного забезпечення модулів автоматичного керування рухом суден у замкнутому контурі із навігаційним тренажером Navi Trainer 5000.

7.4. Моделювання процесів керування рушійно-керуючим комплексом

Експеримент проводився у замкнутому контурі «Система автоматичного керування – об'єкт керування», створений у середовищі MATLAB. У якості об'єкта керування використовувалася математична модель судна ESNAAD-224,

основні характеристики якого наведені у таблиці 3, [107,109]. Окремо слід зазначити, що найближчі технічні рішення автоматичного керування надлишковими структурами суден реалізовані у системах ДП виробників Navis, Marine Technologies, Rolls Royce, Transas, Consberg та ін. Проте, рішення не вирішують задачу оптимального керування надлишковими структурами виконавчих пристроїв суден із цільовою функцією.

Таблиця 7.2. Основні характеристики судна ESNAAD-224

Параметр	Значення
Main Propulsion	Tow (2) SCHOTTEL Azimuth Thrusters electrically driven , Type: SRP 1012 R/R, In put Power: 1250 Kw, Input speed: 1800rpm, 360 degree rotation
Propeller	Fixed pitch propeller, 2100 mm Ø, No of blades: 4
Steering system	SCHOTTEL Steering System, Type SST 612, Rate of turn: 180 °/12 sec, Power: 45 kW
Transverse thrusters	Three (3) SCHOTTEL Tunnel thrusters electrically driven, Type: STT 002, Power: 600 Kw, Speed: 1770 rpm, Fixed pitch propeller, 1540 mm Ø
Max. Displacement	4020 t.
Max. Speed	13 kn.
Fuel Consumption	16 t/d @ max. speed 13 Kts
Maximum Draught	4.85 m

На рис. 7.9 наведено фрагмент коду основної програми (диспетчера) Відповідно наведеного фрагмента коду, при проведенні експерименту враховувалися: математична модель зовнішніх впливів meteo, математична модель вимірювачів sensor, модель системи керування Rsysctr12, метод числового інтегрування Рунге – Кути Rrunge12 [173,174].

```

while t<=tmax
    [wd,sm]=meteo(t);
    xm=sensor(xn,wd,sm,t);
    [u,intDx,intDy,intDpsi,dcl]=Rsysctr12(xn,u,intDx,intDy,intDpsi,cc);
    xt=Runge12(xn,u,wd,sm,cc,dt);
    xn=xn+xt*dt;
    En=En+(u(1)^2+u(3)^2+u(5)^2)*dt;
    if t>=tp
        xp(1:12,jp)=xn(1:12);
        xp(13,jp)=u(1);
        xp(14,jp)=u(2);
        xp(15,jp)=u(3);
        xp(16,jp)=u(4);
        xp(17,jp)=u(5);
        xp(18,jp)=En;
        jp=jp+1;
        tp=tp+dt;
    end
    nt=nt+1;
    t=nt*dt;
end

```

Рисунок 7.9 – Фрагмент коду основної програми (диспетчера)

Математична модель зовнішніх впливів *meteo* формує величину та напрямок вітру і течії у часі. Математична модель вимірювачів *sensor* формує сигнали датчиків вимірювання лінійного та кутового руху судна, із врахуванням постійних та флуктуаційних похибок. Модель системи керування *Rsysctr12* формує необхідні для керування сигнали по відхиленнях поточних параметрів вектора стану від їх програмних значень (ПІД – регулятор), розщеплення сформованих сигналів по виконавчим пристроям надлишкової структури, або розрахунок оптимальних керувань, залежно від цільової функції. Метод числового інтегрування Рунге – Кута четвертого порядку формує уточнені похідні параметрів вектору стану математичної моделі судна у часі.

На рис. 7.10 наведено програмний код методу числового інтегрування *Runge12* із викликом математичної моделі судна *Rship12* [174].

```

function [ xt ] = Rrunge12( x,u,wd,sm,cc,dt )
xt1=Rship12(x,u,wd,sm,cc) ;
x1=x+xt1*dt/2;
xt2=Rship12(x1,u,wd,sm,cc) ;
x2=x+xt2*dt/2;
xt3=Rship12(x2,u,wd,sm,cc) ;
x3=x+xt3*dt;
xt4=Rship12(x3,u,wd,sm,cc) ;
xt=(xt1+2*xt2+2*xt3+xt4)/6;
end

```

Рисунок 7.10 – Програмний код методу числового інтегрування

На рис.7.11 наведено фрагмент програмного коду повної математичної моделі судна Rship12.

```

function [ xt ] = Rship12( x,u,wd,sm,cc )
%...
P1=u(1);
alfa1=u(2);
P2=u(3);
alfa2=u(4);
P3=u(5);
%...
Pxu=P1*cos(alfa1)+P2*cos(alfa2);
Pyu=P1*sin(alfa1)+P2*sin(alfa2)+P3;
Mzu=P1*cos(alfa1)*b-P1*sin(alfa1)*a-P2*cos(alfa2)*b-P2*sin(alfa2)*a+P3*c;
%...
Fx=Fxksm+Fxkwd+Pxu;
Fy=Fyksm+Fykwd+Pyu;
Fz=0;
Mx=Mxksm+Mxkwd;
My=Myksm+Mykwd;
Mz=Mzksm+Mzkwd+Mzu;
%...
xt(1)=(Fx+mu22*x(2)*x(6)+mu33*x(3)*x(5))/mu11;
xt(2)=(Fy-mu11*x(1)*x(6)+mu33*x(3)*x(4))/mu22;
xt(3)=(Fz+mu11*x(1)*x(5)-mu22*x(2)*x(4))/mu33;
xt(4)=(Mx-(mu66-mu55)*x(5)*x(6)-(k33-k22)*x(2)*x(3))/mu44;
xt(5)=(My-(mu44-mu66)*x(4)*x(6)-(k11-k33)*x(1)*x(3))/mu55;
xt(6)=(Mz-(mu55-mu44)*x(4)*x(5)-(k22-k11)*x(2)*x(1))/mu66;
xt(7)=x(4)+tan(x(8))*(x(5)*sin(x(7))+x(6)*cos(x(7)));
xt(8)=x(5)*cos(x(7))-x(6)*sin(x(7));
xt(9)=(x(6)*cos(x(7))+x(5)*sin(x(7)))/cos(x(8));
xt(10)=x(1)*cos(x(9))*cos(x(8))+x(2)*(sin(x(7))*cos(x(9))*sin(x(8))-
cos(x(7))*sin(x(9)))+x(3)*(cos(x(7))*cos(x(9))*sin(x(8))+sin(x(7))*sin(x(9)));
xt(11)=x(1)*sin(x(9))*cos(x(8))+x(2)*(cos(x(7))*cos(x(9))+sin(x(7))*sin(x(9))*sin(x(8)))+x(3)*(cos(x(7))*sin(x(9))
)*sin(x(8))-sin(x(7))*cos(x(9));
xt(12)=-x(1)*sin(x(8))+x(2)*sin(x(7))*cos(x(8))+x(3)*cos(x(7))*cos(x(8));
end

```

Рисунок 7.11 – Фрагмент програмного коду повної математичної моделі судна

У наведеному фрагменті попередньо розраховуються керуючі сили та момент надлишкової структури, а також сили і моменти зовнішніх впливів, які використовуються у математичній моделі судна. Математична модель включає 12 нелінійних диференційних рівнянь лінійного та кутового руху, із них три динамічних рівняння і три кінематичних рівняння лінійного руху та три динамічних рівняння і три кінематичних рівняння кутового руху.

Математичне моделювання процесів керування процесами ДП з надлишковими структурами виконавчих пристроїв здійснювалось для чотирьох цільових функцій різних видів. Першою цільовою функцією було розглянуто функцію виду:

$$Q_1(P_1, P_2, P_3) = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \rightarrow \min \quad (7.1)$$

Вказану цільову доцільно використовувати для мінімізації енергоспоживання, наприклад, у задачах ДП судна [174].

```
function [u,intDx,intDy,intDpsi,dcl] = Rsysctr12( xn,u,intDx,intDy,intDpsi,cc)
global Px Py Mz
Vnxg=xn(1)*cos(xn(9))-xn(2)*sin(xn(9));
Vnyg=xn(1)*sin(xn(9))+xn(2)*cos(xn(9));
k(1)=50.0; k(2)=1.0; k(3)=0.0; k(4)=50.0; k(5)=1.0; k(6)=0.0; k(7)=50; k(8)=1; k(9)=0.0;
Dx=xn(10)-xz(10);
intDx=intDx+Dx;
Dy=xn(11)-xz(11);
intDy=intDy+Dy;
Dpsi=xn(9)-xz(9);
intDpsi=intDpsi+Dpsi;
sig1=k(1)*Vnxg+k(2)*Dx+k(3)*intDx;
sig2=k(4)*Vnyg+k(5)*Dy+k(6)*intDy;
sig3=k(7)*xn(6)+k(8)*Dpsi+k(9)*intDpsi;
Px=-3000*sig1; Py=-3000*sig2; Mz=-5000000*sig3;
.....
if flag==6          P1^2+P2^2+P3^2=min
A = [];
b = [];
Aeq = [];
beq = [];
lb = [-Pmax,-pi,-Pmax,-pi,-0.25*Pmax];
ub = [Pmax,pi,Pmax,pi,0.25*Pmax];
fun = @(u) u(1)^2+u(3)^2+u(5)^2;
u = fmincon(fun,u,A,b,Aeq,beq,lb,ub,@nonlcon6);
end
end
```

Рисунок 7.12 – Фрагмент програмного коду модуля автоматичного керування з цільовою функцією (7.1).

У такому випадку для цільової функції (7.1), використовується система нелінійних обмежень та ПІД-регулятор. На рис.7.12 наведено фрагмент програмного коду модуля автоматичного керування з цільовою функцією (7.1). На рис.7.13 наведено програмний код процедури нелінійних обмежень $\text{nonlcon6}(u)$.

```
function [c,ceq] = nonlcon6(u)
global L B Px Py Mz;
ceq=[u(1)*cos(u(2))+u(3)*cos(u(4))-Px;
      u(1)*sin(u(2))+u(3)*sin(u(4))+u(5)-Py;
      u(1)*cos(u(2))*B/2-u(1)*sin(u(2))*L/2-u(3)*cos(u(4))*B/2-u(3)*sin(u(4))*L/2+u(5)*L/4-Mz];
c=[];
end
```

Рисунок 7.13 – Програмний код процедури нелінійних обмежень

Отримані графіки зміни у часі параметрів вектора стану при оптимальному (сині лінії), рівновекторному (зелені графіки) та рівномодульному (червоні графіки) керуванні наведено на рис. 7.14. [174].

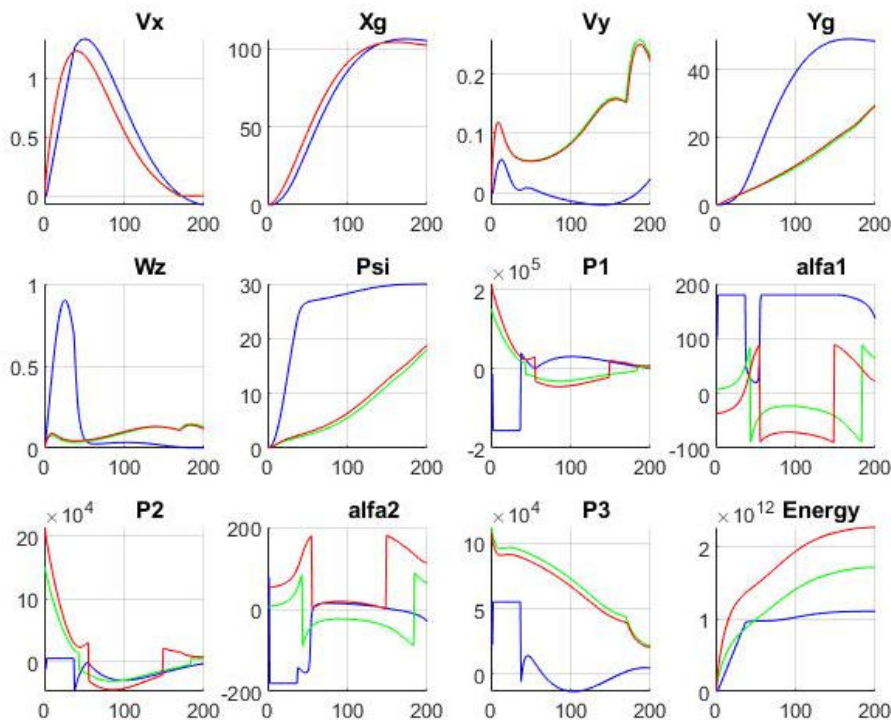


Рисунок 7.14 – Графіки зміни у часі параметрів вектора стану з цільовою функцією $Q_1(P_1, P_2, P_3) = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \rightarrow \min$

На рис. 7.14 зображені графіки поздовжньої швидкості $V_x[m/s]$, поздовжнього переміщення $X_g[m]$, бокової швидкості $V_y[m/s]$, бокового переміщення $Y_g[m/s]$, кутової швидкості $W_z[dg/s]$, курсу $\Psi[deg]$, сили упору гвинта P1 та кута повороту $\alpha_1 ACD1$, сили упору гвинта P2 та кута повороту $\alpha_2 ACD2$, сили упору ВТ та інтегральне значення цільової функції (7.1), пропорційної енергоспоживанню. Як видно із наведених графіків, судно спочатку здійснює переміщення у положення динамічного позиціонування $X_g^* = 100 (m), Y_g^* = 50 (m), \varphi^* = 30 (dg), \varphi^* = 30 (dg)$ та подальше підтримування даної позиції. Як видно із наведених графіків енергоспоживання Energy, інтегральне значення цільової функції для оптимального керування становить $\int_0^t Q_1 dt = 1,1e^{12} [N^2 s]$ інтегральне значення цільової функції для рівновекторного керування становить $\int_0^t Q_1 dt = 1,7e^{12} [N^2 s]$, а інтегральне значення цільової функції для рівномодульного (з ортогональними векторами) керування становить $\int_0^t Q_1 dt = 2,2e^{12} [N^2 s]$. Результати проведеного експерименту показують, що використання автоматизованої системи оптимального керування із цільовою функцією мінімального енергоспоживання дозволяє зменшити енергоспоживання структури на (35-50)%, у порівнянні із керуваннями, не оптимізованими по енергоспоживанню [174].

Далі було здійснено математичне моделювання бокового руху судна з цільовою функцією виду:

$$Q_2(P_y) = |P_y| \rightarrow \max \quad (7.2)$$

Зазначену цільову функцію доцільно використовувати, наприклад, при відході судна лагом від платформи, при наявності вітру, що притискає, або при необхідності швидкого бокового переміщення [182]. Для цільової функції (7.2), система нелінійних обмежень матиме вигляд:

$$\begin{cases} P_x = P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2 \\ M_z = P_1 b \cos \alpha_1 - P_2 b \cos \alpha_2 - P_1 a \sin \alpha_1 - P_2 a \sin \alpha_2 + P_3 c \end{cases} \quad (7.3)$$

Фізичний зміст системи обмежень (7.3) полягає у тому, що під час оптимізації функції (7.2) (створення максимальної бокової керуючої сили), система керування одночасно повинна підтримувати керування у каналах поздовжнього та кутового руху.

Параметри P_x , M_z , що входять до системи нелінійних обмежень (7.2), знаходяться із системи рівнянь ПД – регулювання:

$$\begin{cases} P_x = k_1(X_g - X_g^*) + k_2(V_x - V_x^*) + k_3 \int (X_g - X_g^*) dt \\ M_z = k_7(\varphi - \varphi^*) + k_8(\omega_z - \omega_z^*) + k_9 \int (\varphi - \varphi^*) dt \end{cases} \quad (7.4)$$

Результати проведеного математичного моделювання процесів руху судна OSV3 з цільовою функцією (7.2), нелінійними обмеженнями (7.3), ПД – регулятором (7.4), наведені на рис.7.15 [174].

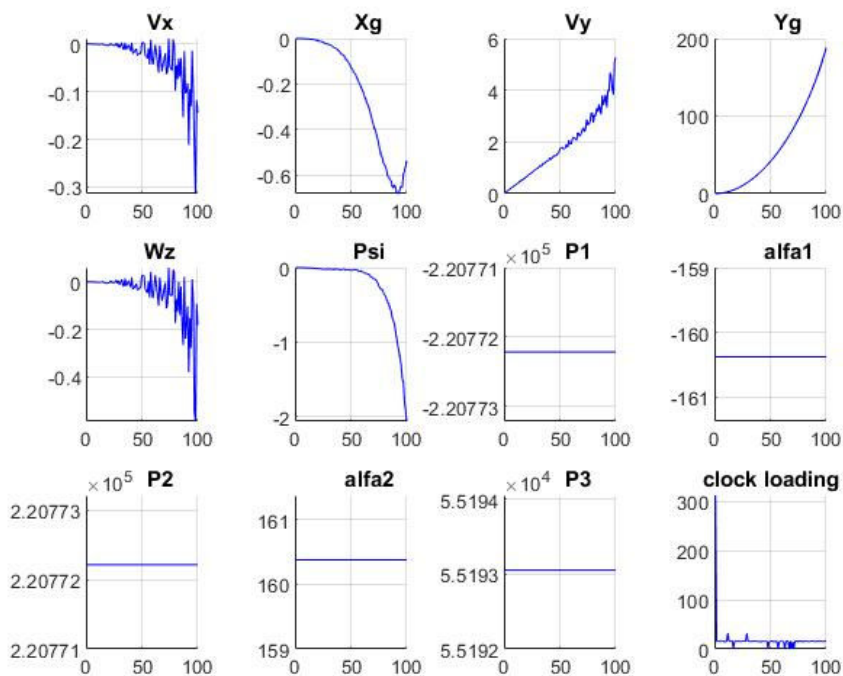


Рисунок 7.15 – Результати моделювання з цільовою функцією

$$Q_2(P_y) = |P_y| \rightarrow \max$$

Результати проведеного експерименту показують, що використання автоматизованої системи оптимального керування із цільовою функцією $Q(P_y) = |P_y| \rightarrow \max$ забезпечують швидке бокове переміщення судна з одночасним підтриманням поздовжнього і кутового положення. На графіку *clock loading(t)* показано завантаження такту бортового обчислювача, що обумовлено роботою оптимізаційної процедури (3), яке у середньому становить 25 ms.

Далі здійснювалось математичне моделювання поздовжнього руху судна з цільовою функцією виду:

$$Q_3(P_x) = |P_x| \rightarrow \max \quad (7.5)$$

Вказану цільову функцію доцільно використовувати при відході від платформи переднім або заднім ходом та при необхідності швидкого поздовжнього переміщення. Для цільової функції (7.5), система нелінійних обмежень матиме вигляд [182]:

$$\begin{cases} P_y = P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 + P_3 \\ M_z = P_1 b \cos \alpha_1 - P_2 b \cos \alpha_2 - P_1 a \sin \alpha_1 - P_2 a \sin \alpha_2 + P_3 c \end{cases} \quad (7.6)$$

Фізичний зміст системи (7.6) полягає у тому, що під час оптимізації функції (7.5) (створення максимальної поздовжньої керуючої сили), система одночасно повинна підтримувати керування у каналах бокового та кутового руху [182]. Параметри P_y , M_z , що входять до системи нелінійних обмежень (7.6), знаходяться із системи рівнянь ПД – регулювання:

$$\begin{cases} P_y = k_4(Y_g - Y_g^*) + k_5(V_y - V_y^*) + k_6 \int (Y_g - Y_g^*) dt \\ M_z = k_7(\varphi - \varphi^*) + k_8(\omega_z - \omega_z^*) + k_9 \int (\varphi - \varphi^*) dt \end{cases} \quad (7.7)$$

Результати математичного моделювання процесів руху судна OSV3, при використанні цільової функції (7.5), нелінійних обмежень (7.6), ПІД – регулятора (7.7), наведені на рис.7.16, показують, що використання інтелектуальної системи оптимального керування із цільовою функцією $Q(P_x) = |P_x| \rightarrow \max$ забезпечують швидкий поздовжній розгін судна та одночасне підтримання бокового і кутового положення. На графіку clock loading(t) показано завантаження такту бортового обчислювача, пов'язане з роботою оптимізаційної процедури, яке у середньому становить 50 ms [174].

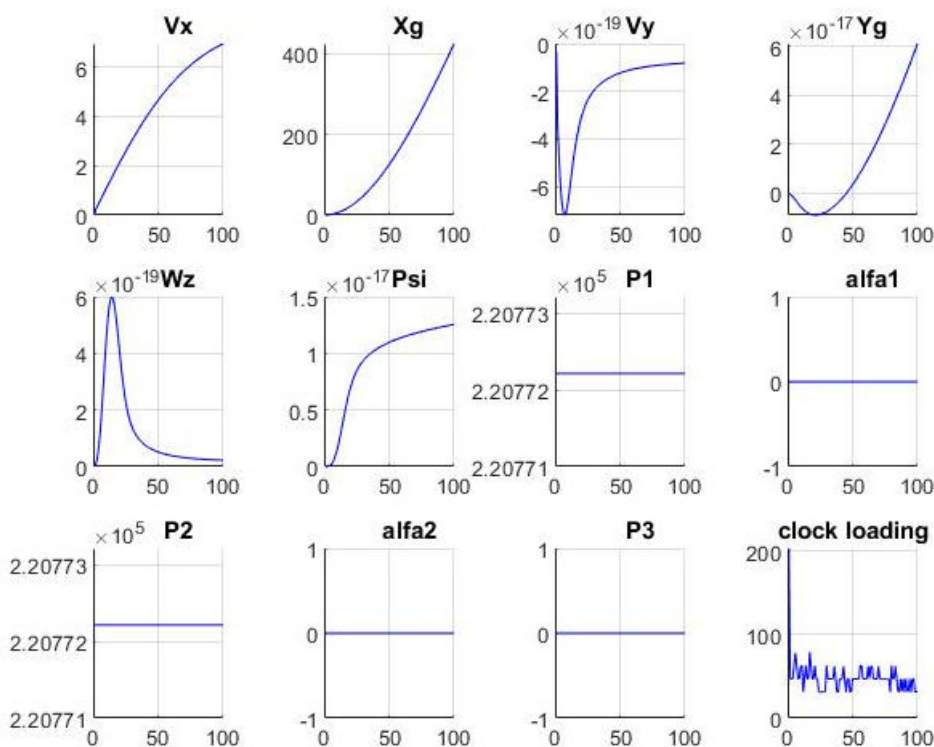


Рисунок 7.16. –Графіки зміни у часі параметрів вектора стану при оптимальному керуванні, з цільовою функцією $Q_3(P_x) = |P_x| \rightarrow \max$.

Таким чином, за результатами проведеного експерименту визначено, що керування надлишковими структурами керуючих пристроїв може здійснюватися з використанням трьох цільових функцій: мінімального енергоспоживання на виконання операцій, максимальної поздовжньої сили, максимальної бокової сили [182].

Перша цільова функція може використовуватися при тривалому ДП судна, у такому випадку можливим є зменшення енергоспоживання на (30-50)%.

Друга цільова функція може використовуватися при відході від платформи носом або кормою, при наявності вітру, що притискає, або для поздовжнього переміщення судна з максимальною швидкістю.

Третя цільова функція може використовуватися для відходу лагом від платформи, при наявності вітру, що притискає, або для бокового переміщення з максимальною швидкістю. Результати експерименту показали, що оптимізація процесів керування дозволяє зменшити енергоспоживання на (35-50)% та збільшити керуючі сили і момент, у порівнянні із відомими рішеннями. Разом з тим, додаткове навантаження на такт бортового обчислювача, який вирішує оптимізаційну задачу керування, становить 25-50 мс [174,182].

7.5. Модуль СППР з оцінки навігаційної ситуації та визначення правил МПЗЗС-72, що застосовуються

З метою здійснення ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій, та визначення правил МПЗЗС-72, за допомогою мови програмування C#, розроблено програмне забезпечення СППР судноводія, яке підтримує інформаційний обмін зі штатним обладнанням навігаційного тренажера від компанії Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000» через інтерфейс Serial Com Port [190].

Навігаційна інформація з тренажерного обладнання Navi-Trainer Professional 5000 надходить до СППР судноводія у вигляді повідомлень NMEA. Для функціонування програмного забезпечення СППР важливими є наступні показники навігаційного обладнання: Log, Gyro, Agra. Log, Gyro – для визначення вектора руху власного судна, Agra – для визначення пеленга та дистанції суден цілей, їх параметрів руху.

Програмне забезпечення СППР, що створено, надає можливість налаштування критеріїв визначення ризику зіткнення шляхом введення параметрів безпечної дистанції та часу розходження з суднами цілями. Здійснюється візуалізація параметрів руху власного судна, та параметрів руху суден цілей: пеленги, дистанції до інших суден, їх швидкості та курси, дистанції найкоротшого зближення (CPA), час до найкоротшого зближення (TCPA). Обмін інформацією з тренажерним обладнанням дозволяє щосекунди отримувати актуальну інформацію параметрів руху всіх суден в зоні спостереження. Таким чином здійснюється оцінка ризику зіткнення з усіма суднами цілями, у тому числі з тими, що маневрують [136].

На підставі створеної класифікації навігаційних ситуацій та з урахуванням вимог правил розходження суден, СППР судноводія в реальному часі оцінює ризики зіткнення з суднами цілями, що визначаються відповідно до навігаційної ситуації, яка наявна на поточний момент часу. Всі існуючі судна цілі класифікуються згідно трьох категорій: небезпечна ціль, потенційно небезпечна ціль, ціль, яка не представляє загрози. Візуальне маркування суден-цілей відбувається із застосуванням принципів когнітивної графіки: небезпечні судна маркуються червоним кольором, потенційно небезпечні – жовтим, ті, що не являють загрози, – зеленим.

Додатково, в процесі функціонування СППР здійснюється виведення правил запобігання зіткнень МПЗЗС-72, за якими класифіковано навколишні судна та відбувалося маневрування, а також надаються рекомендації судноводію щодо зміни курсу та/або швидкості власного судна, які необхідні для запобігання зіткненню [136,190].

На основі наявної навігаційної інформації програмне забезпечення автоматично аналізує навігаційну обстановку та дає рекомендації щодо безпечного розходження з суднами цілями відповідно до вимог правил.

У вікні інтерфейсу СППР відображаються навігаційні дані власного судна, такі як: гірокомпасний курс, швидкість судна відносно води. Функціонал програмного забезпечення також дозволяє встановлювати налаштування

дистанції відображення суден цілей, параметрів дистанції найкоротшого зближення, величини векторів руху суден цілей та характеру векторів (відносні або абсолютні). Ліворуч у вікні програми присутній функціонал, що забезпечує процеси обміну даними між тренажерним обладнанням навігаційного тренажера Navi-Trainer Professional 5000.

На початковому етапі на інформаційному дисплеї програмного забезпечення наносяться позиції суден на розгортці радару, на основі інформації, що подається з навігаційного обладнання. Після обробки даних за допомогою системи ARPA на інформаційному дисплеї наносяться вектори суден цілей, інформація щодо швидкості та курсу всіх суден цілей, значення CPA та TCRA для кожної цілі. Інформація про параметри руху суден також відображається у спеціальній області у правій стороні екрану з вкладками для перемикавання на різні судна цілі (рис. 7.17).

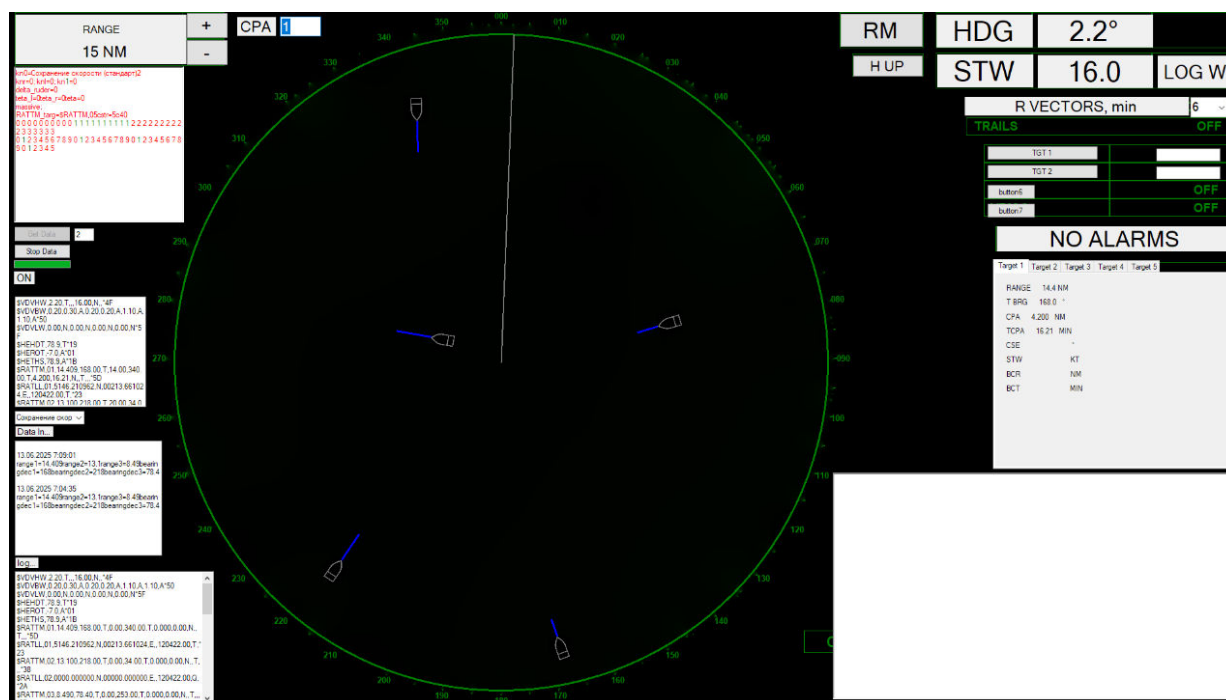


Рисунок 7.17 – Етап нанесення векторів руху суден цілей [136]

На наступному етапі відбувається аналіз суден цілей за критеріями небезпеки зіткнення та визначення правил МПЗС-72, які описують дії суден для запобігання зіткнень, їх відображення в інформаційному вікні та надання

рекомендацій щодо уникнення зіткнення. При наведенні на цілі з'являється детальна інформація щодо параметрів руху судна та рекомендація щодо розходження з суднами (рис. 7.17).

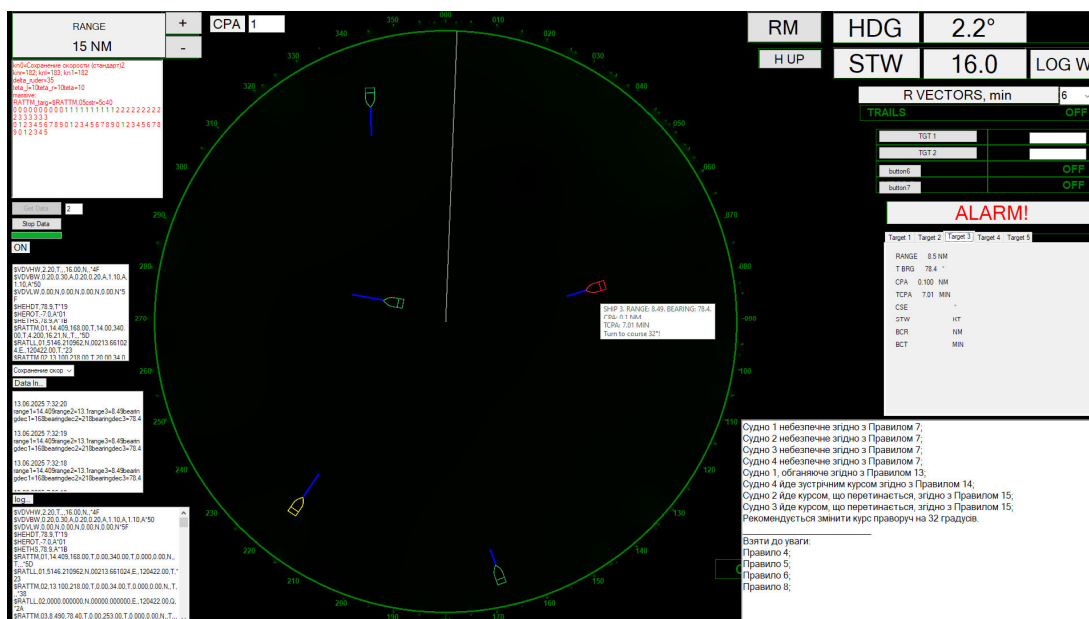


Рисунок 7.18 Етап надання рекомендацій щодо розходження з суднами цілями з урахуванням правил МПЗЗС-72 та маркування суден-цілей відповідно до рівня їх небезпеки [136].

Таким чином, СППР судноводія постійно відображає актуальну навігаційну ситуацію щодо розходження з суднами із зазначенням правил МПЗЗС -72 та рівня небезпеки кожного судна.

Важливою відмінною рисою СППР, що створена, є її інтеграція з обладнанням навігаційного тренажера Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000», що дозволяє відпрацьовувати заздалегідь завдані навігаційні вправи із застосуванням сертифікованого тренажерного обладнання. Також важливим є те, що процеси прийняття рішень з управління рухом судна мають постійний інформаційний супровід у вигляді переліку правил МПЗЗС-72, які слід враховувати для поточної навігаційної ситуації.

Застосування запропонованої СППР судноводія в навчальному процесі морських навчальних закладів дозволяє підвищити ефективність навчання та контролю знань здобувачів вищої освіти, а також створити сприятливі умови для

опанування ними практичних навичок застосування МПЗЗС-72 у процесі несення вахти на навігаційному містку [136].

Слід окремо зазначити, що поточна версія СППР судноводія не аналізує навігаційні небезпеки щодо мілини, берегової лінії чи плавання у вузькостях (Правила 9,10 МПЗЗС), тому навігаційні вправи слід проводити лише у відкритих водних просторах.

У підсумку з'ясовано, що важливими аспектами успішного застосування МПЗЗС-72 в судноводінні є не лише створення їх адекватних формальних моделей, адаптованих до застосування в технічних системах керування рухом суден, а й розвиток тренажерних систем підготовки морських фахівців з метою підвищення їх компетентності в галузі практичних навичок застосування правил під час несення вахти на навігаційному містку. Розроблено класифікацію навігаційних ситуацій, що виникають у процесі розходження суден згідно з вимогами МПЗЗС-72 та метод оцінки рівня їх небезпеки відповідно до параметрів руху суден. Здійснено практичну реалізацію запропонованої класифікації та методу оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій в СППР судноводія, яку інтегровано з навігаційним обладнанням тренажера Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000». Створено програмні засоби для реалізації інформаційного обміну між СППР та навігаційним обладнанням тренажера у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг процесу зміни навігаційних ситуацій. Практичне застосування СППР судноводія, що створена, дозволяє підвищити якість тренажерної підготовки морських фахівців та визначити проблемні аспекти, які виникають у судноводіїв у процесі виконання вимог МПЗЗС-72 у різних навігаційних ситуаціях [136,190].

7.6. Експериментальні дослідження з визначення впливу людського фактора на процеси управління судном

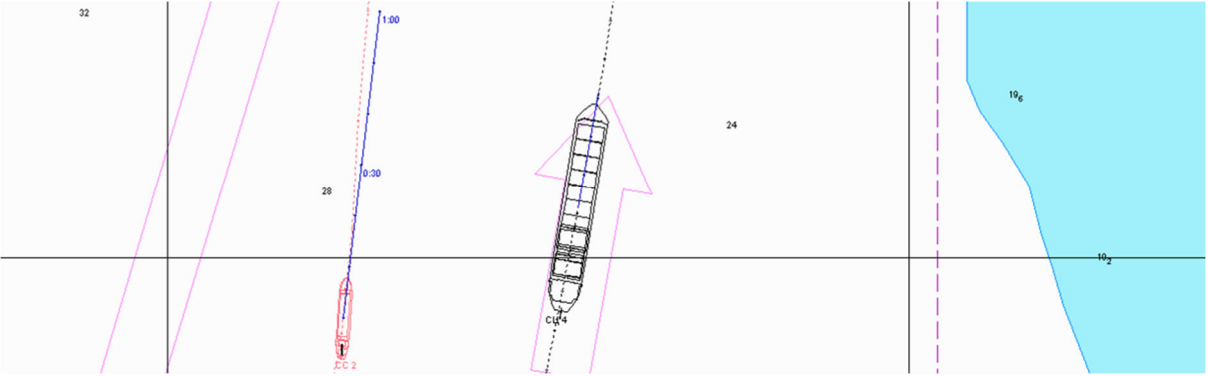
З метою практичної апробації розроблених методів оцінки негативного впливу людського фактора на процеси управління рухом суден було проведено

наукові експерименти з управління судном в складних навігаційних ситуаціях з використанням навігаційного тренажера NTPRO 5000 для ділянки протоки Босфор та ділянки акваторії порту Гонконг від району LammaPatch до району MaWanBridge [70,222].

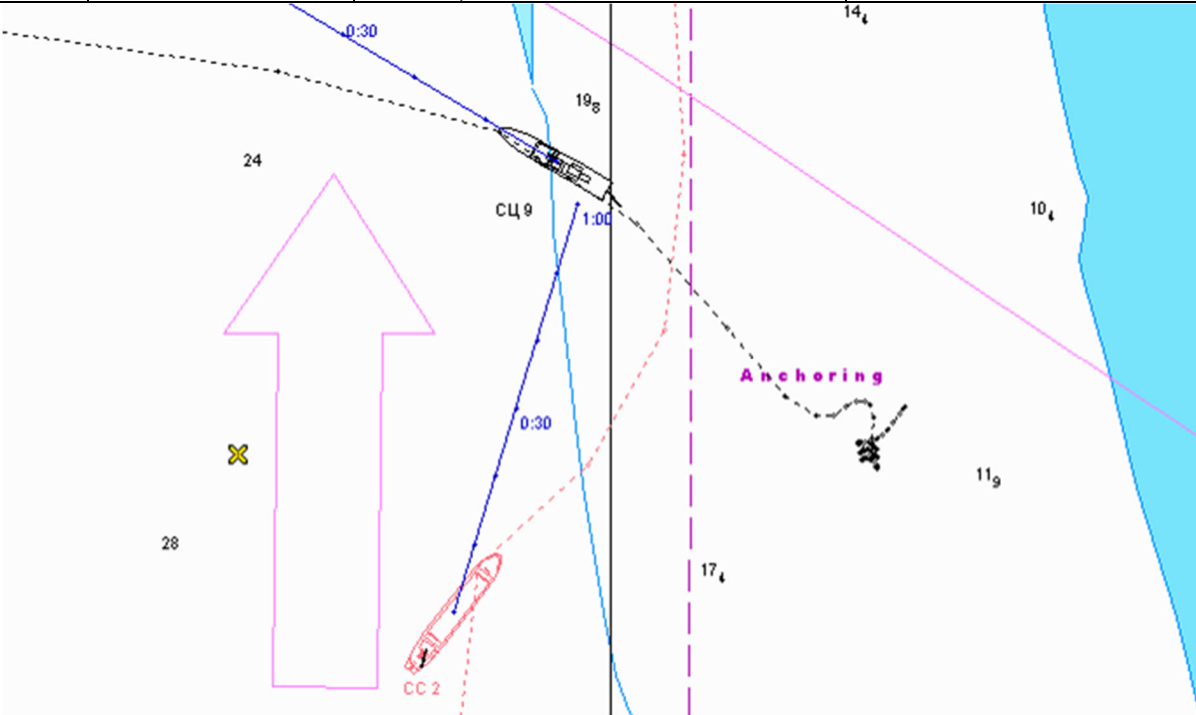

У першому експерименті (табл. 7.3) було створено прокладку для проходження протоки Босфор, з початковими параметрами:

- судновий час встановлено на 12:00:00
- вітер, 13 вузлів (напрямок 0 градусів) - висота хвилі, 1,3 м. - течія, 0 вузлів.

Таблиця 7.3 Хронологія виконання вправи

№ з/п	Судновий час	Подія	Примітка
1.	12:00:19	Початок руху судна	
2.	12:09:39	Початок обгону судна №1 (Bulk Carrier 21)	Складність - низька
			
3.	12:16:40	Закінчення обгону судна №1 (Bulk Carrier 21)	Складність - низька

Продовження таблиці 7.3

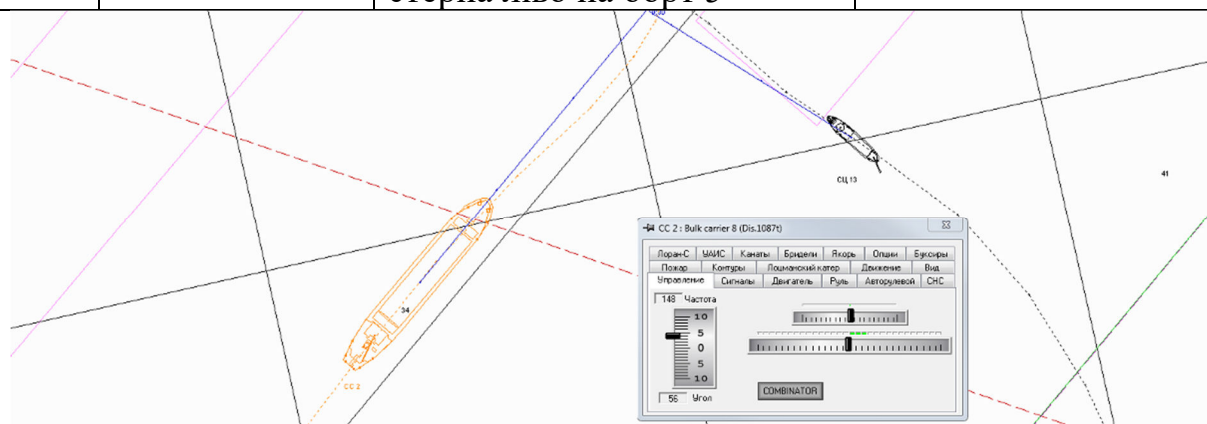
4.	12:22:00	Початок розходження з судном №2 (Coast Guard Boat1)	Несподівана подія
			
5.	12:24:20	Закінчення розходження з судном №2 (Coast Guard Boat 1)	Несподівана подія
6.	12:24:20	Вітер 10 вузлів (напрямок 0 градусів)	Зменшено з 13 вузлів
7.	12:24:20	Течія 0,3 вузла (напрямок 0 градусів)	Збільшено з 0 вузлів
8.	12:29:40	Початок розходження з судном №3 (Passenger Ferry 2)	Несподівана подія
9.	12:30:09	Раптово пішов сніг	Інтенсивність 70%
			

Продовження таблиці 7.3

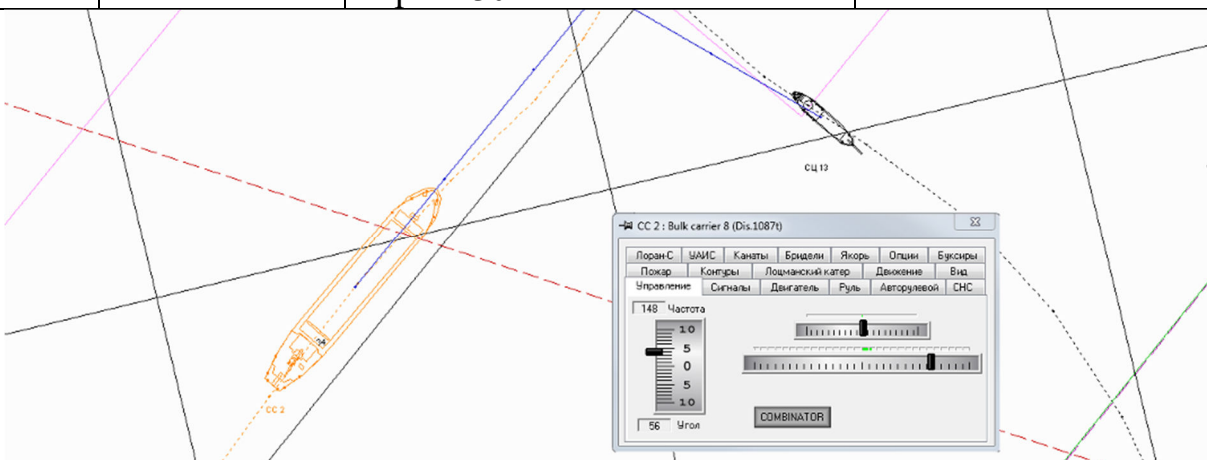


Критична ситуація

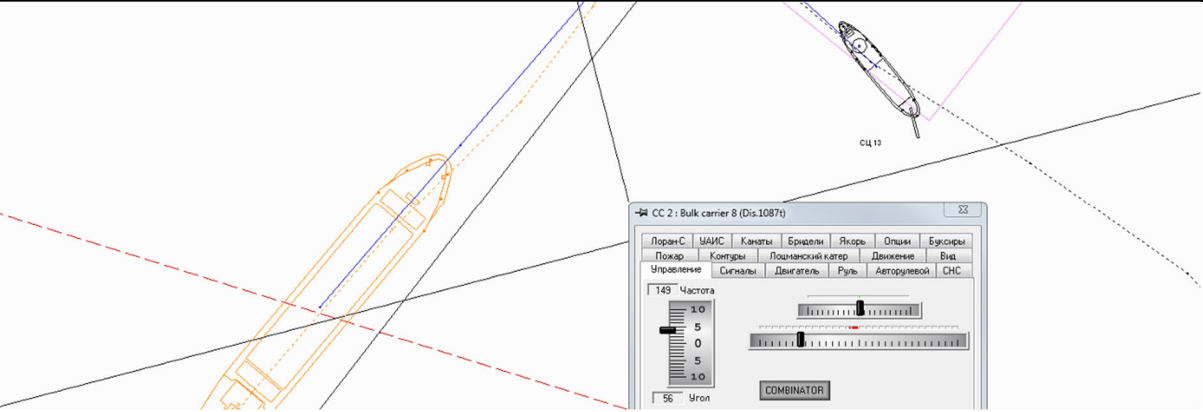
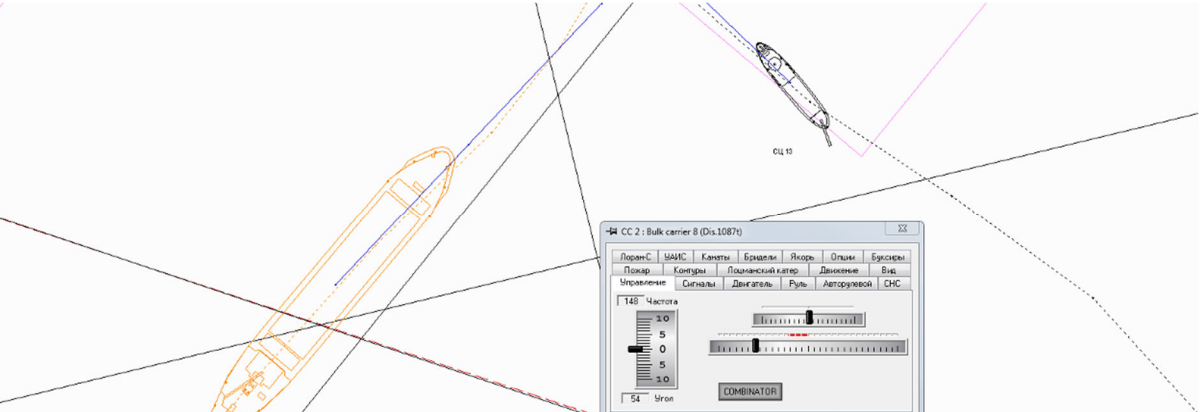
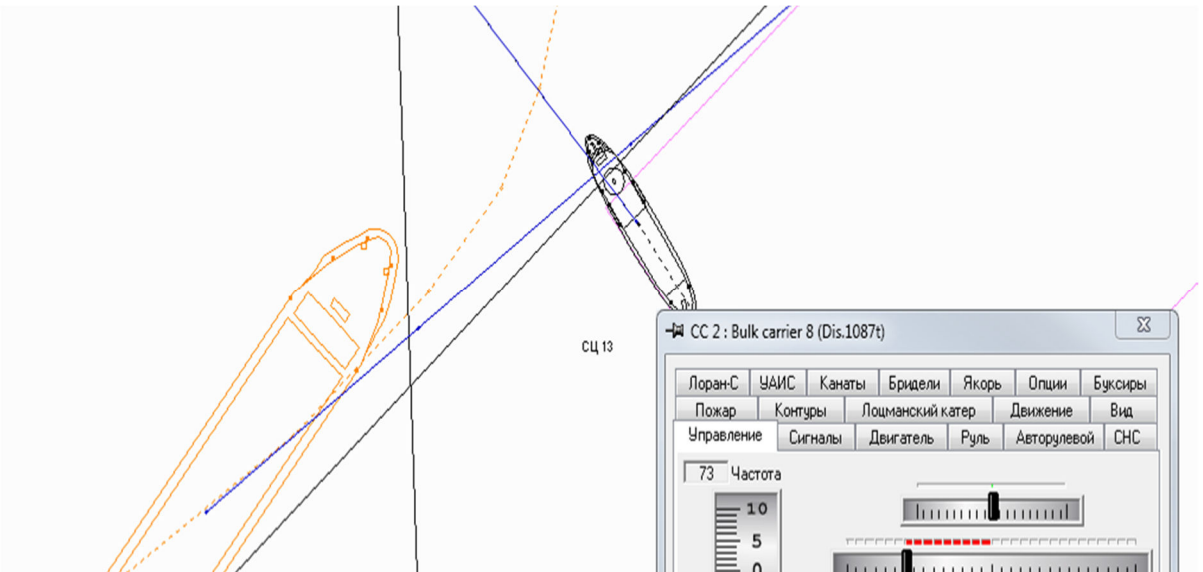
10.	12:30:11- 12:30:26	Під час розходження: маневр - обійти справа	Право на борт 6° - 16°
11.	12:30:28	Короткочасна перекладка стерна ліво на борт 5°	



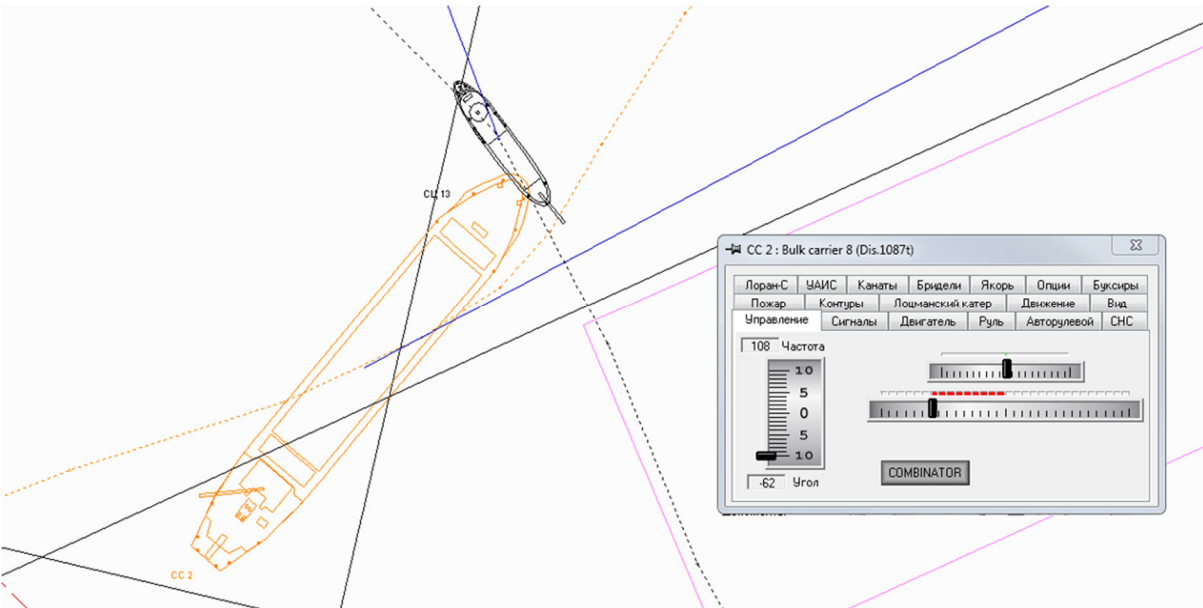
12.	12:30:30	Швидка перекладка стерна вправо 30°	
-----	----------	---	--



Продовження таблиці 7.3

13.	12:30:31	Швидка перекладка стерна вліво 27°	
			
14.	12:30:36	Зупинка двигуна Стерно ліво 27°	
			
15.	12:30:43	Запуск заднього ходу Стерно ліво 27°	Потужність 30%
16.	12:30:49	Запуск заднього ходу Стерно ліво 27°	Потужність 40%
			

Продовження таблиці 7.3

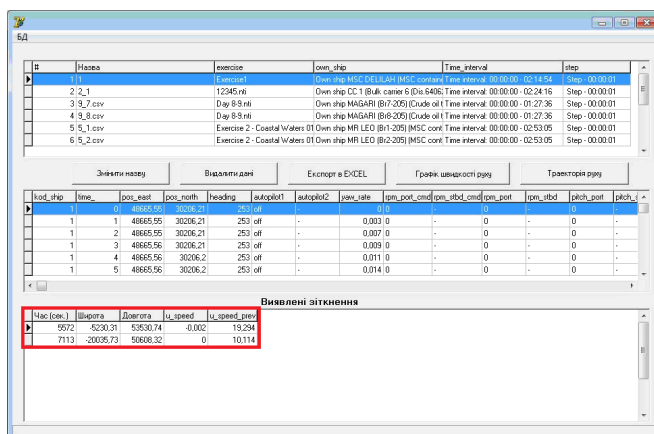
17.	12:30:52	Зіткнення з судном №3 (Passenger Ferry 2)	Раптова подія
			
18.	12:30:53	Запуск заднього ходу	Потужність 100%
Продовження завдання			
19.	12:31:18	Висота хвилі 1,5 м.	
20.	12:36:00	Обгін судна №4 (Container Ship 22)	Складність – низька
21.	12:37:19	Зменшення видимості	З 10 миль до 4 миль
22.	12:38:00	Висота хвилі 1,6 м.	
23.	12:41:50	Виявлення перешкоди	Контейнер
24.	12:42:28	Течія 0,6 вузла (напрямок 0 градусів)	Збільшено з 0,3 вузла
25.	12:43:06	Розходження з перешкодою	Контейнер
26.	12:48:34	Початок розходження з судном №4 (Passenger Ferry 1).	Раптова подія
27.	12:50:30	Закінчення розходження з судном №4 (Passenger Ferry 1)	Раптова подія
Закінчення завдання			

Як видно з експерименту, виконання перших двох маневрів з низькою складністю значно послабило концентрацію уваги судноводія і в ході додавання випадкових чинників «Раптово пішов сніг» знизило готовність адекватно ситуації виконувати складні маневри при розходженні з судном № 3.

У ході експерименту та автоматизованої обробки даних log-файлів по прокладці і проходженню локації «Босфор» тренажера NTPRO 5000 були визначені три типи графіків (рис. 7.19, 7.20, 7.21).



а)

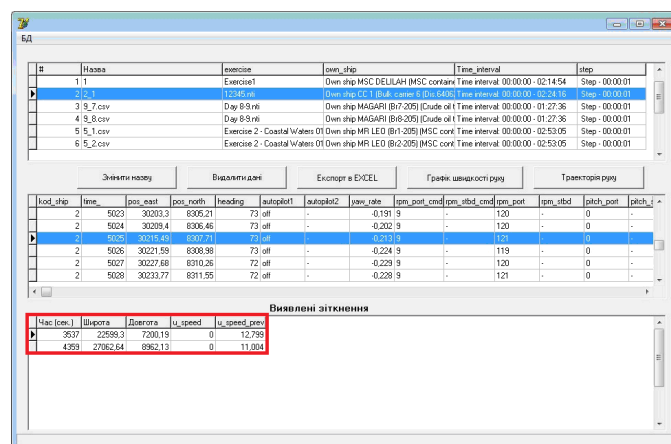


б)

Рисунок 7.19 – Зіткнення судна із великими об'єктами [222]



а)



б)

Рисунок 7.20 – Зіткнення судна із малими об'єктами [222]

Використовуючи підходи автоматизованого оцінювання з аналізу траєкторії швидкості руху судна можна зробити висновок, що найбільш часто

проявляється ситуація коли судноводій не помітив перешкоду (рис. 7.19 (а) або ж помітив перешкоду, але не впорався з керуванням, рис. 7.20 (а).

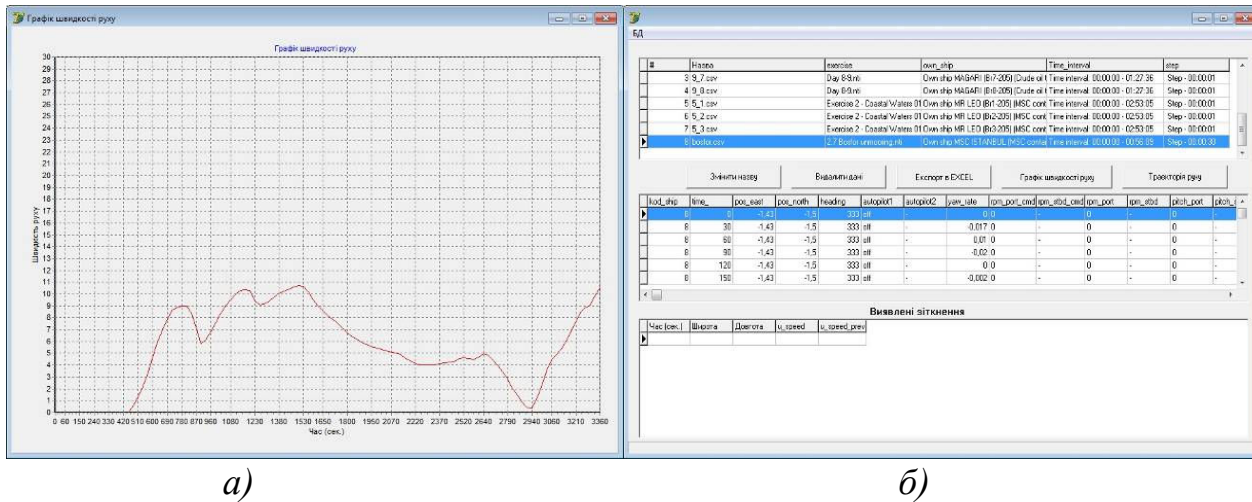


Рисунок 7.21 – Без зіткнення власного судна [70]

Безперешкодне проходження локації характеризує графік, представлений на рисунку 7.21. Розроблене програмне забезпечення також фіксує зіткнення по часу, широті та довготі, дозволяючи зібрати статистику найбільш небезпечних ділянок при проходженні локації (рис. 7.19 (б), 7.20 (б), 7.21 (б)). Також при аналізі траєкторії представленої на рисунку 7.19 (а), можна зробити висновок, що судноводій перед зіткненням був невпевнений у своїх діях, і як наслідок швидкість ходу судна змінювалася, вказуючи на підвищену стресову ситуацію на містку.

На базі Херсонської державної морської академії під час проведення наукових досліджень з НДР [222] на тренажері повнофункціонального ходового містка був проведений науковий експеримент з проходження навігаційної ділянки акваторії порту Гонконг від району Lamma Patch до району Ma Wan Bridge.

Протягом експерименту сталось сім екстрених/аварійних ситуацій, що призвели до підвищеного серцебиття судноводія (вимірювання проводились приладом CARDIOLINE VSIGN10) на містку віртуального судна. Під час екстрених ситуацій неправильні чи спізнілі дії судноводія призвели двічі до

зіткнення власного судна з суднами цілями та посадки віртуального судна на міліну в середині та наприкінці експерименту.

Слід зазначити, що відсутність стресової ситуації також настає за умови недостатньої досвідченості судноводія і тим самим призводить до неможливості вірно і своєчасно оцінити розвиток можливої екстреної/аварійної ситуації, що призводить до вільної/розслабленої поведінки на ходовому містку і запізнілої реакції з запобігання негативних наслідків аварійного випадку.

Прикладом такої поведінки можна вважати стресову ситуацію № 7 результатом якої стала посадка судна на міліну. Під час проведення маневру по зміні курсу більше ніж на 90 градусів судноводій не взяв до уваги правильні розрахунки впливу діючих на судно течії, вітру та хвилювання моря, в результаті чого не вірно розрахував проведення маневру повороту та запізно помітив негативний розвиток ситуації, що призвело до неможливості виправити аварійну ситуацію та посадки судна на міліну. Безпосередньо до моменту найближче передуючого посадці судна на міліну судноводій залишався спокійним і не мав ознак пришвидшеного серцебиття, що найкраще показує стресовий стан та сприйняття/розуміння аварійності ситуації.

Екстрене/аварійне маневрування (стресова ситуація). В умовах стресової ситуації модель поведінки судноводіїв складається наступним чином: більш досвідчений навігатор продовжує користуватись зоровою/візуальною оцінкою ситуації, коригуючи її (за потреби) з даними навігаційних приладів, в той час, як менш досвідчений буде зосереджуватись, у першу чергу, на показниках навігаційних приладів ігноруючи чи майже ігноруючи візуальну складову, або хаотично розсіювати свою увагу між показниками приладів та візуальним спостереженням без конкретного зосередження на вирішенні екстреної/аварійної ситуації.

Всі перелічені моделі поведінки мають певні недоліки. Візуальна оцінка ситуації в першу чергу будується на загальному навігаційному досвіді судноводія і при відсутності достатньої кількості досвіду може призвести до

переоцінки власних сил, вмінь та навичок і як результат недооцінки актуальної ситуації, що може розвинути в екстрену/аварійну.

Користування лише навігаційними приладами без зорової оцінки ситуації призводить до втрати правильного розуміння поточної навігаційної складової, а в умовах надмірного зближення суден (особливо великотоннажних габаритів) може призвести до недооцінки самої ситуації зближення двох морських рухомих об'єктів, оскільки будь-яка суднова радіолокаційна система або ЗАРП мають свою похибку і так звані «мертві зони» використання.

Оскільки розрахункові данні ЗАРП або графічне зображення РЛС можуть переконати судноводія в безпечності проходження іншого об'єкту або судна цілі, а фактична навігаційна обстановка призведе до зіткнення або ефекту протягування суден на воді.

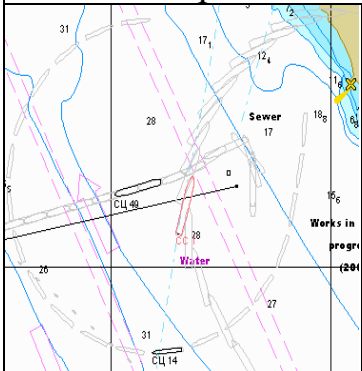
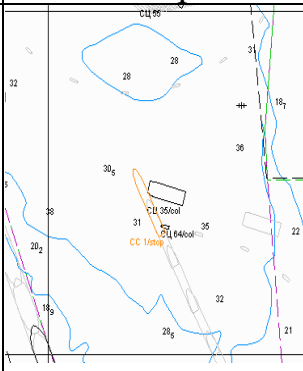
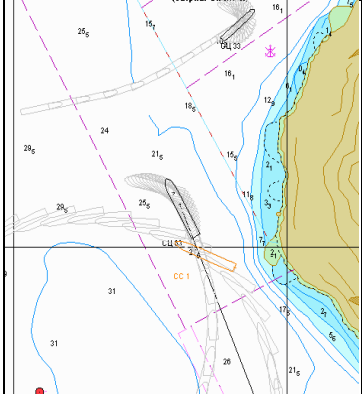

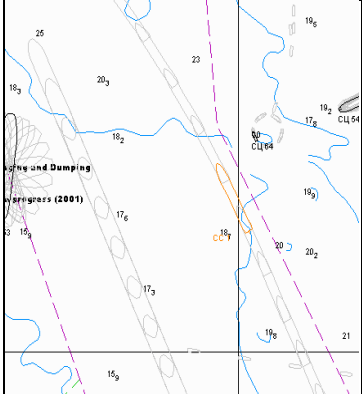
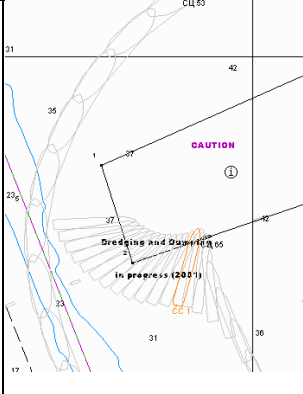
Хаотичне розсіювання уваги ОПР між показниками навігаційних приладів та зоровою оцінкою навігаційної ситуації призводить до унеможливлення сконцентруватись на вирішенні поточної проблеми та не дає змоги формалізувати отриману інформацію, а також свідчить про недостатній сукупний досвід судноводія та/або недостатню кількість знань для прийняття рішення в стресовій ситуації.

Під час проведеного експерименту трапилось сім наступних екстрених/аварійних ситуацій (табл. 7.4), де ВРМ – (beats per minute), частота серцебиття. Даний метод дозволив виявити індивідуальні моделі судноводіїв при ідентифікації навігаційних ситуацій.

Важливо відзначити, що чим частіше повторюються цикли в порядках, тим сильніше зв'язок з елементами джерел інформаційних сигналів. Вказаний факт несе як позитивний ефект у разі успішних дій навігатора, так і негативний.

Проведений ряд експериментів із застосуванням навігаційного тренажера Navi Trainer 5000 дозволив ідентифікувати небезпечні цикли, які не призводять до кінцевого результату, а замикаються багаторазово, виключаючи важливі елементи джерел інформаційних сигналів зважаючи на брак часу [70,222].

Таблиця 7.4 Хронологія експерименту

Стрессова ситуація №1		Стрессова ситуація №4	
	Розходження з судном (балкер) зі свого правого борту – судно ціль перетинало курс власного судна з права на ліво. МПЗЗС-72, правила № 15, 16. Time – 02:08; BPM – 205.		Розходження з судном (паромне судно) зі свого правого борту зіткнення) – судно ціль перетинало курс власного судна з права на ліво. МПЗЗС-72, правила № 15, 16. Time – 02:49, 02:50; BPM – 160, 181, 171.
Стрессова ситуація №2			
	Розходження з судном (контейнеровоз) зі свого лівого борту – судно ціль перетинало курс власного судна з ліва на право. МПЗЗС-72, правила № 15, 17. Time – 02:20; BPM – 207.		
Стрессова ситуація №3.		Стрессова ситуація №5	
	Розходження з судном (риболовецьке судно) зі свого правого борту – судно ціль перетинало курс власного судна з права на ліво. МПЗЗС-72, правила № 10, 15, 16, 18. Time – 02:37, 02:38; BPM 162, 180, 204, 172, 199.		Розходження з судном (хімовоз) зі свого лівого та правого борту. МПЗЗС-72 (ліво): правила № 15, 17. МПЗЗС-72 (право): правила № 10, 15, 16, 18. Time – 03:04, 03:05, 03:06; BPM – 164, 181, 210, 176.

Продовження таблиці 7.4

Стрессова ситуація №6		Стрессова ситуація №7	
	<p>Розходження з судном (риболовецьке судно) зі свого лівого борту – судно ціль перетинало курс власного судна з ліва на право. МПЗЗС-72, правила № 10, 15, 16, 18. Time – 03:18; BPM – 162, 184, 176, 153.</p>		<p>Вхід судна в поворот зі зміною курсу більше ніж 90 градусів в умовах складної навігаційної обстановки, що призвели до посадки судна на мілину. Time – 03:39, 03:40, 03:41; BPM – 164, 143, 186, 183, 176.</p>

7.7. Висновки до сьомого розділу

1. Здійснено перевірку працездатності та ефективності розроблених методів, алгоритмічного та програмного забезпечення математичним моделюванням у середовищі MATLAB та/або на стенді імітаційного моделювання у замкнутому контурі «Імітатор бортового обчислювача – модель судна навігаційного тренажера» для різних районів плавання, погодних та навігаційних умов.

2. Досліджені питання автоматичного оптимального керування надлишковими структурами керуючих пристроїв судна. Розроблено методи, алгоритмічне і програмне забезпечення модулів оптимального керування надлишковою структурою офшорного судна OSV3 з двома ACD та носовим підрулюючим пристроєм, які забезпечують оптимальні керування надлишковими структурами з використанням трьох цільових функцій.

3. Результати дослідження дозволяють зробити висновок, що вирішення оптимізаційних процедур у бортовому обчислювачі автоматизованої системи

керування є можливим і забезпечує підвищення ефективності автоматизованої системи керування на 25-30%, у порівнянні із відомими рішеннями.

4. Здійснено практичну реалізацію класифікації та методу оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій в СППР судноводія, яку інтегровано з навігаційним обладнанням тренажера Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000». Створено програмні засоби для реалізації інформаційного обміну між СППР та навігаційним обладнанням тренажера у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг процесу зміни навігаційних ситуацій. Практичне застосування СППР судноводія, що створена, дозволяє підвищити якість тренажерної підготовки морських фахівців та визначити проблемні аспекти, які виникають у судноводіїв в процесі дотримання вимог МПЗЗС-72.

5. Із застосуванням сертифікованого тренажерного обладнання проведено низку експериментів з визначення негативного впливу людського фактора, під час яких з'ясовано, що хаотичне розсіювання уваги судноводія між показниками навігаційних приладів та зоровою оцінкою навігаційної ситуації призводить до унеможливлення сконцентруватись на вирішенні поточної проблеми та не дає змоги формалізувати отриману інформацію, а також свідчить про недостатній сукупний досвід та/або недостатню кількість знань для прийняття рішення в критичній ситуації.

Матеріали сьомого розділу висвітлені у наступних роботах автора: [70,73,107,109,189,136,174,190,217,218,222].

ВИСНОВКИ

Результатом виконання наукового дослідження є розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми підвищення безпеки експлуатації засобів водного транспорту, яке здійснено за рахунок розробки наукової методології створення та застосування систем підтримки прийняття рішень у галузі судноводіння. За підсумками наукового дослідження зроблено наступні основні висновки.

1. Вперше запропонована категоризація напрямів існуючих досліджень у галузі судноводіння за колом задач, що вирішуються, та визначено пріоритетні шляхи розвитку кожного напрямку, що дозволило виокремити проблеми, пов'язані із застосуванням СППР та інтелектуальних систем у судноводінні, визначити ефективні методи їх вирішення.

2. На підставі поведеного аналізу предметної галузі висунуто гіпотезу наукового дослідження, яка полягає у припущенні, що підвищення ефективності та безпечності процесів управління рухом суден може бути досягнуте шляхом впровадження СППР судноводія.

3. Вперше запропоновано застосування комплексного підходу до створення СППР в галузі судноводіння, якій базується на комбінованому використанні аналітичних моделей руху суден, методів ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій та методів ІІІ, що дозволяє підвищити оперативність та точність рішень з управління судном, що приймаються.

4. Визначено, що при створенні СППР судноводія особлива увага повинна бути приділена процесам накопичення та обробки вихідних даних про навігаційні ситуації, а також методам прогнозування можливих сценаріїв їх розвитку з урахуванням основних положень МПЗЗС-72 та принципів кооперативної взаємодії суден в умовах реального часу.

5. Розроблені комплексні критерії оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій за зміною кута ЛВР суден-цілей, пеленгів та дистанцій. Застосування вказаних критеріїв у СППР судноводія дозволяє формувати прогнози розвитку навігаційних ситуацій та упереджувати виникнення найбільш небезпечних з них.

З метою накопичення, обробки та узагальнення інформації стосовно процесів руху та взаємодії суден, запропоновано застосування сценарно-прецедентного підходу до побудови бази знань СППР.

6. Розроблені методологічні засади побудови СППР судноводія, що враховують особливості руху суден, процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння, що дозволяє скоротити витрати часу на формування та прийняття рішень, підвищити рівень їх точності та адекватності щодо навігаційної ситуації, яка має місце. Вперше запропоновано застосування чотирьохфазного циклу інформаційної взаємодії судноводія з СППР, що дає змогу поліпшити якість та оперативність прийняття рішень з управління рухом судна. Отримала подальший розвиток методика застосування СППР у процесах оптимізації формування вантажних планів суден контейнеровозів.

7. Запропоновано метод ситуаційного аналізу процесу розходження суден, якій відрізняється від існуючих тим, що застосовуються комплексні критерії оцінки рівня небезпеки суден у поєднанні з принципами ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій, що, у свою чергу, дозволяє зменшити обсяги навігаційної інформації, яка підлягає обробці у СППР, та скоротити час, необхідний для формування рішень з управління рухом судна.

8. Удосконалено методику розрахунку полюса повороту судна при здійсненні маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях, яку адаптовано до вимог подальшого практичного застосування у СППР судноводія, що дозволяє підвищити точність дотримання суднами планованої траєкторії руху на потенційно небезпечних ділянках. Отримала подальший розвиток методика здійснення динамічного позиціонування судна, яка відрізняється урахуванням особливостей процесу взаємодії системи ДП з оператором, що дозволяє знизити ймовірність виникнення помилкових дій у процесі керування об'єктом ДП.

9. Доведено, що важливою складовою мінімізації негативного впливу людського фактора на процеси керування рухом судна, є оптимізація процесів взаємодії ОПР (судноводія) з СППР та технічними засобами управління, що може бути досягнуто, з одного боку, поліпшенням якості інтерфейсів НІС та

СППР (що можливо переважно на етапі проектування), а з іншого - безпосередньо поліпшенням якості процесів взаємодії користувача з такими системами, що може бути досягнуто в процесі експлуатації вказаних систем шляхом застосування вбудованої моделі користувача. Застосування запропонованого комплексного підходу дозволяє знизити кількість помилок у процесі інформаційної взаємодії у системі «судноводій - технічні засоби управління судном», та підвищити якість таких процесів в цілому.

10. Вперше запропоновано застосування моделі судноводія у СППР, що дозволяє поліпшити якість його інформаційної взаємодії з НІС та знизити негативний вплив людського фактора на процеси управління судном.

11. Створено математичну модель руху судна у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь, з урахуванням дій вітру, течії і хвиль та математичну модель пристроїв, що керують, у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь з моделлю погрішностей і відмов, що дозволяє підвищити точність та надійність функціонування автоматизованих систем управління рухом суден.

12. Розроблено метод розходження, який дозволяє автоматично та оптимально розходитися з багатьма цілями, включаючи ті, що маневрують. Розроблений метод може застосовуватися для побудови автоматичних модулів розходження у бортовому обчислювачі автоматизованої системи, що дасть змогу автоматизувати та оптимізувати процеси розходження, суттєво зменшити вплив людського чинника на процеси керування, зменшити втомлюваність екіпажу та в цілому підвищити безпеку судноплавства.

13. Досліджені питання автоматичного оптимального керування надлишковими структурами виконавчих пристроїв судна. Розроблено методи, алгоритмічне і програмне забезпечення модулів оптимального керування рушійно-керуючим комплексом офшорного судна OSV3, які забезпечують оптимальні керування надлишковими структурами з використанням цільової функції.

14. Досліджені питання автоматичного оптимального штормування судна. Запропонована оригінальна система автоматичного керування рухом судна у шторм. Розроблені методи та алгоритми автоматичного штормування перевірені математичним моделюванням у замкнутому контурі з навігаційним тренажером Navi Trainer 5000. Практичне значення розроблених методів полягає у зменшенні ширини смуги руху судна, підвищенні його безпеки, зменшенні гідродинамічного опору та витрат палива, створенні сприятливих умов для виконання технологічних операцій, наприклад, швартування судна, зменшенні впливу людського чинника.

15. Здійснено перевірку працездатності та ефективності розроблених методів, алгоритмічного та програмного забезпечення математичним моделюванням у середовищі MATLAB та/або на стенді імітаційного моделювання у замкнутому контурі «Імітатор бортового обчислювача – модель судна навігаційного тренажера» для різних районів плавання, погодних та навігаційних умов.

16. Здійснено практичну реалізацію методів класифікації та оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій в СППР судноводія, яку інтегровано з навігаційним обладнанням тренажера Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000». Створено програмні засоби для реалізації інформаційного обміну між СППР та навігаційним обладнанням тренажера у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг процесу зміни навігаційних ситуацій. Практичне застосування СППР судноводія, що створена, дозволяє підвищити якість тренажерної підготовки морських фахівців та визначити проблемні аспекти, які виникають у судноводіїв в процесі дотримання вимог МПЗЗС-72.

17. Із застосуванням сертифікованого тренажерного обладнання проведено низку експериментів з визначення негативного впливу людського фактора, що дозволило розробити методи його ідентифікації та зниження впливу.

Основні практичні результати дослідження впроваджені у навчальний процес ЗВО, процеси тренажерної підготовки морських фахівців у спеціалізованих тренажерних центрах та пройшли успішну апробацію на наукових заходах державного та міжнародного рівня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abudu R., Bridgelall R. Autonomous Ships: A Thematic Review. *World* 2024, 5, P. 276–292. <https://doi.org/10.3390/world5020015>
2. Ahmed Y. A., Hannan M. A., Oraby M. Y., & Maimun A. COLREGs Compliant Fuzzy-Based Collision Avoidance System for Multiple Ship Encounters. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, 9(8), 790. <https://doi.org/10.3390/jmse9080790>.
3. Alamoush, A. S.; Ölçer, A. I. Maritime Autonomous Surface Ships: Architecture for Autonomous Navigation Systems. *J. Mar. Sci. Eng.* 2025, 13, 122. <https://doi.org/10.3390/jmse13010122>.
4. Artyszuk J. Pivot point in ship manoeuvring. Scientific Journals Maritime University of Szczecin. 2010. Vol. 20, No 92. P. 13-24. <https://repository.am.szczecin.pl/handle/123456789/212>.
5. Apostol – Mates, R., Barbu, A. Human error – the main factor in marine accidents. *Naval Academy Scientific Bulletin*. 2016. Vol. 19(2). DOI:[10.21279/1454-864X-16-I2-068](https://doi.org/10.21279/1454-864X-16-I2-068).
6. Aylward K., Weber R., Lundh M., MacKinnon S. N., Dahlman J. Navigators' views of a collision avoidance decision support system for maritime navigation. *The Journal of Navigation*. 2022. 75: 5. P. 1035–1048. DOI:[10.1017/S0373463322000510](https://doi.org/10.1017/S0373463322000510).
7. Axel Hörteborn, Jonas W. Ringsberg, A method for risk analysis of ship collisions with stationary infrastructure using AIS data and a ship manoeuvring simulator, *Ocean Engineering*, 2021, Volume 235, 109396. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109396>
8. Baldauf M. et al. E-Navigation and situation-dependent manoeuvring assistance to enhance maritime emergency response. *World Maritime University Journal of Maritime Affairs*. 2011.10. – P.209-226. DOI:[10.1007/s13437-011-0014-x](https://doi.org/10.1007/s13437-011-0014-x).

9. Barbara Stępień. Towards a New Horizon: 1972 COLREG in the Era of Autonomous Ships, *Ocean Development & International Law*, 2024, 55:1–2, P. 170–184. DOI:[10.1080/00908320.2024.2359908](https://doi.org/10.1080/00908320.2024.2359908).
10. Bařhan, V., Demirel, H. & Gul, M. An FMEA-based TOPSIS approach under single valued neutrosophic sets for maritime risk evaluation: the case of ship navigation safety. *Soft Computing*, 24, 2020, 18749–18764. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05108-y>.
11. Ben A., Nosov P., Palamarchuk I., Fedorov A. Analysis of Navigation Data By Artificial Neural Networks For Development Of Decision-Making Support Systems. *Navigation, Shipping and Technology (NST-2021) : матеріали науково-технічної конференції конференції*. Одеса : НУ «Одеська морська академія», 18–19 листопада 2021 р., С. 111–114.
12. Ben A. P., Nosov P. S., Zinchenko S. M. Formal-logical approaches to descriptional of human factor influence on the vessel control. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (CEUTTO 2021)*. Херсон, 2021. С. 274–276. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/Збірник-CEUTTOO-2021.pdf>
13. Ben A. P., Palamarchuk I. V. Solving tasks of vessel collision avoidance and maneuvering during designing decision support systems of the navigator // New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries : monograph / edited by authors. 3rd ed. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2019. P. 58–77. http://www.baltijapublishing.lv/download/all-science-3/all-science_part_3.pdf
14. Ben A. P., Zinchenko S. M., Nosov P. S., Popovych I. S. Automatic Control of the Vessel Movement in a Storm. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету MPP&O-2021*. Одеса – Стамбул – Одеса, 2021. С. 486–493. https://drive.google.com/file/d/1-yrWFyXADMFD2POzd_tR3IUuowRX5h3o/view?usp=sharing

15. Benedict K., Kirchhoff M., Gluch M., Fischer S., Baldauf M. Manoeuvring Simulation on the Bridge for Predicting Motion of Real Ships and as Training Tool in Ship Handling Simulators. *TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport*. 2009. Vol. 3, No 1. P. 25-30.
https://www.transnav.eu/Article_Manoeuvring_Simulation_on_the_Bridge_Benedict,9,131.html

16. Bole A., Wall A., Norris A. Radar and ARPA manual: Radar, AIS and Target Tracking for Marine Radar Users. Third Edition. – Elsevir, 2013. – 552 p.

17. Bray, D., Daniels, J., Fiander, G., Foster, D.: DP Operator's Handbook The Nautical Institute. 2020.

18. Bünyamin Kamal, Erkan Çakır, Data-driven Bayes approach on marine accidents occurring in Istanbul strait, *Applied Ocean Research*, 2022, Volume 123, 103180. DOI: [10.1016/j.apor.2022.103180](https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103180).

19. Cai Y., Wen Y.Q.: Ship Route Design for Avoiding Heavy Weather and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2014. Vol. 8, № 4. P. 551-556. DOI: [10.12716/1001.08.04.09](https://doi.org/10.12716/1001.08.04.09)

20. Carlo H. J., Vis I. F. A., Roodbergen K. J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European Journal of Operational Research*. 2014. vol. 236, no. 1. P. 1–13. DOI: [10.1016/j.ejor.2013.11.023](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.11.023).

21. Chakrabarti C. G., Chakrabarty I. Boltzmann entropy: Probability and informatijn. *Rom. Journ. Phys.*, Vol. 52, Nos. 5–7, P. 559–564, Bucharest, 2007.

22. Cherniavskyi V. V., Ben A. P., Zinchenko S. M. Automatic control of the on-board systems technical condition. *Прогресивні технології засобів транспорту : матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції*. Харків-Миргород : УкрДУЗТ, 2021. С. 19-20.

<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/11796/1/Прогресивні%20технології%20засобів%20транспорту.pdf>

23. Corović B., Djurovic P., 2013. Research of Marine Accidents through the Prism of Human Factors. *Promet Traffic&Transportation*, Vol. 25, 2013, N. 4, p. 369-377. <https://doi.org/10.7307/ptt.v25i4.1210>

24. Demirel, E. & Bayer, D. Further Studies On The COLREGs (Collision Regulations). *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2015, Vol. 9, № 1. P. 17–23. <https://doi.org/10.12716/1001.09.01.02>.

25. Du L, Goerlandt F, Kujala P. Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering and System Safety*, 200, 2020, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106933>.

26. Dugan S. A., Skjetne R., Wróbel K., Montewka J., Gil M., Utne I. B. Integration Test Procedures for a Collision Avoidance Decision Support System Using STPA. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2023. Vol. 17, № 2. P. 375–381. DOI: 10.12716/1001.17.02.14.

27. Ergun D., and Dinçer B. The Further Studies On The COLREGs (Collision Regulations). *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2015. 9. P. 17–22. <https://doi.org/10.12716/1001.09.01.02>

28. Gabruk R., Tsymbal M. Safety of Navigation During Dynamic Positioning on Mobile Water Transport Objects. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2016. Vol. 10, № 1. P. 59 –67. DOI: [10.12716/1001.10.01.06](https://doi.org/10.12716/1001.10.01.06).

29. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/sectors/casualty>.

30. Hetherington C., Flin R., Mearns K. Safety in shipping: The human element. *Journal of Safety Research*, Volume 37, Issue 4, 2006, P. 401-411. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2006.04.007>.

31. Huang Y., Chen L., Chen P., Negenborn R. R., Van Gelder PHAJM. Ship collision avoidance methods: state-of-the-art. *Safety Science*, 2020,121, P. 451–473. DOI: [10.1016/j.ssci.2019.09.018](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.018).

32. Imazu H. Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2017. Vol. 11, No 1. P. 65-70. DOI: 10.12716/1001.11.01.06.
33. IMO. Autonomous shipping - International Maritime Organization. MSC.1-Circ.1605, London, UK. 2019.
34. IMO. Convention on the international regulations for preventing collisions at Sea, 1972 (COLREGs).
35. IMO. Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the imo rule-making process. London, UK: International Maritime Organization - MSC/Circ.1023- MEPC/Circ.392, 2002.
36. ISO. ISO 31000:2018. Risk management – guidelines. International Organization for Standardization, 2018.
37. IMO resolution A. 893 (21) Guidelines for Voyage Planning. 1999.
38. IMO. Maritime safety committee POLARIS – proposed system for determining operational limitations in ice. In: Submitted by the International Association of Classification Societies, MSC 94/3/7,9th Session, Agenda 3, September 12; 2014. 2014.
39. IMO. MSC 1/Circ 1228. Revised guidance to the master for avoiding dangerous situations in adverse weather and sea conditions. 2007. 8 p.
40. IMO. Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS) - MSC.1-Circ.1638, London, UK. 2021.
41. Jesús A. G. M., Reyes P. A. COLREGs and their application in collision avoidance algorithms: A critical analysis. *Ocean Engineering*, Volume 261, 2022, 112029. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112029>.
42. Johansen T. A., Cristoforo A., Perez T. Ship Collision Avoidance Using Scenario-Based Model Predictive Control. *IFAC*, 2016, 49(23), P. 14-21. DOI:[10.1016/j.ifacol.2016.10.315](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.315).
43. Kao Sheng-Long. A fuzzy logic method for collision avoidance in vessel traffic service. *J. Navig.* 2007. Vol. 60, No 1. P. 17-31. DOI:[10.1017/S0373463307003980](https://doi.org/10.1017/S0373463307003980).

44. Kasianov V. Subjective entropy of preferences. Istitut of Aviation Scientific Publications. ALKOR, Warsaw, Poland, 2013. 637 pp.
45. Kebedow K. G., Oppen J. Including Containers with Dangerous Goods in the Multi-Port Master Bay Planning Problem. *MENDEL*. 2018. vol. 24. no. 2. P. 23-36. DOI:[10.13164/mendel.2018.2.023](https://doi.org/10.13164/mendel.2018.2.023).
46. Kim D. Ship Collision Avoidance by Distributed Tabu Search. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2015. Vol. 9, No 1. P. 23-29. DOI: 10.12716/1001.09.01.03.
47. Koretsky O., Nosov P., Ben A., Zinchenko S., Prokopchuk Yu., Gurov A. Identification of Skippers Human Factor by Means of Navigation Information Systems. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2022.*– Одеса, 2022. С. 358–362.
https://docs.google.com/document/d/1aVVJV_WpupdkafwTg2MpLf5zMJT6HTg_/edit?tab=t.0
48. Koyama T. and Yan J. An expert system approach to collision avoidance, 8th Ship ControlSystem Symposium, Hague, 1987.
49. Krata P., Kniat A., Vettor R., Krata H., Guedes Soares C. The Development of a Combined Method to Quickly Assess Ship Speed and Fuel Consumption at Different Powertrain Load and Sea Conditions. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2021. Vol. 15, № 2. P. 437–444. DOI:[10.12716/1001.15.02.23](https://doi.org/10.12716/1001.15.02.23).
50. Kreutzmann A., Wolter D., Dylla F. and Lee J. H. Towards Safe Navigation by Formalizing Navigation Rules. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2013. vol. 7, no. 2, P. 161–168. <https://doi.org/10.12716/1001.07.02.01>.
51. Kujala P., Hänninen M., Arola T., Ylitalo J. Analysis of the marine traffic safety in the Gulf of Finland, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 94, Issue 8, 2009, P. 1349–1357. DOI:[10.1016/j.ress.2009.02.028](https://doi.org/10.1016/j.ress.2009.02.028).

52. Lazarowska A. Decision support system for collision avoidance at sea. *Polish Maritime Research. Special Issue*. 2012. Vol. 19, № 74. P. 19 -24. DOI:[10.2478/v10012-012-0018-2](https://doi.org/10.2478/v10012-012-0018-2).
53. Lazarowska, A. A new deterministic approach in a decision support system for ship's trajectory planning. *Expert Systems with Applications*, 2017. 71, P. 469-478. DOI:[10.1016/j.eswa.2016.11.005](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.11.005).
54. Lazarowska A. Research on algorithms for autonomous navigation of ships. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2019. 18. DOI: 10.1007/s13437019-00172-0.
55. Li Y., Song G., Yip T.-L., Yeo G.-T. Fuzzy Logic-Based Decision-Making Method for Ultra-Large Ship Berthing Using Pilotage Data *J. Mar. Sci. Eng.* 2024, 12, 717. <https://doi.org/10.3390/jmse12050717>.
56. Lisowski J. Analysis of Methods of Determining the Safe Ship Trajectory. *TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport*. 2016. Vol. 10, No 2. P. 376-381. DOI: [10.12716/1001.13.01.04](https://doi.org/10.12716/1001.13.01.04).
57. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation. *Advances in Safety and Reliability*. 2005. Vol. 2. P. 1285-1292.
58. Lisowski J. Game Strategies of Ship in the Collision Situations. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2014. Vol. 8, No 1. P. 69-77. DOI: [10.12716/1001.08.01.08](https://doi.org/10.12716/1001.08.01.08).
59. Leveson N. G. Engineering a safer world: systems thinking applied to safety. The MIT Press, 2016. p. 560.
60. Luo, M., Shin, S. Half-century research developments in maritime accidents: Future directions. *Accident Analysis & Prevention*. 2019. Vol. 123. P. 448-460. DOI: 10.1016/j.aap.2016.04.010
61. Mannarini G., Coppini G., Oddo P., Pinardi N. A Prototype of Ship Routing Decision Support System for an Operational Oceanographic Service. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2013. Vol. 7, № 1. P. 53-59. DOI:[10.12716/1001.07.01.06](https://doi.org/10.12716/1001.07.01.06).
62. MacKinnon S. N., Weber R., Olindersson F. and Lundh M. Artificial Intelligence in Maritime Navigation: A Human Factors Perspective/In book: Advances

in Human Aspects of Transportation, N. Stanton (Ed.): AHFE 2020, AISC 1212, pp. 429–435. DOI:[10.1007/978-3-030-50943-9_54](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50943-9_54).

63. Mitropoulos E. E-navigation: a global resource. *Seaways. The Nautical Institute*. - March 2007. - P. 7-9.

64. Mohovic D., Mohovic R., Baric M. Deficiencies in Learning COLREGs and New Teaching Methodology for Nautical Engineering Students and Seafarers in Lifelong Learning Programs. *Journal of Navigation*. 2016; 69(4):765–776. <https://doi.org/10.1017/S037346331500096X>.

65. Navi Trainer 4000. Mathematical models. Technical description. Transas Marine Ltd, 2003. 104 p.

66. Navi-Trainer Professional 5000 v5.35 Bridge Manual. Transas MIP Ltd. 2014.

67. Navi-Trainer Professional 5000 v5.35 Instructor Manual. Transas MIP Ltd. 2014.

68. Navi-Trainer Professional 5000 (v. 5.35), Technical description and installation manual. Transas MIP Ltd. 2014.

69. Nosov P. S., Ben A. P., Nosova H. V., Novikov V. I. Model of attention distribution of the navigator while keeping a navigational watch. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. – № 2 (21). – С. 26-34. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.2.21.026-034>.

70. Nosov P. S., Ben A. P., Mateichuk V. N., Safonov M. S. Identification of «Human error» negative manifestation in maritime transport. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018. № 4 (47). P 204–213. DOI:10.15588/1607-3274-2018-4-20.14. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-20>

71. Nosov P. S., Palamarchuk I. V, Safonov M. S, Novikov V. I. Modeling the manifestation of the human factor of the maritime crew. *Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro)*. – 2018. № 5 (77). Pages 82-92. doi: 10.15802/stp2018/147937.

72. Nosov P. S, Ben A. P., Safonov M. S. Model construction of individual scenarios for the elimination of the human factor. *Сучасні інформаційні та*

інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018) матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2018. – С. 224-225.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_-2018.pdf

73. Nosov P. S., Ben A. P., Safonova A. F., Palamarchuk I. V. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations. *Науковий журнал «Радіоелектроніка, інформатика, управління»*. 2019. № 2 (49). <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-2-15>

74. Nosov P., Ben A., Zinchenko S., Popovych I., Mateichuk V., Nosova H. Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigationsimulators. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, Vol. 2732. P. 823-838. <http://ceurws.org/Vol-2732/20200823.pdf>

75. Nosov P. S., Zinchenko S. M., Ben A. P., Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O. M. Models of decision making by a navigator under implicit agreements with COLREG rules. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. № 1 (20). С. 31-38. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.1.20.031-039>.

76. Nosov, P., Zinchenko, S., Ben, A., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Popovych, I., Moiseienko, V., Kruglyj, D. Navigation safety control system development through navigator action prediction by Data mining means. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 2 (9 (110)), 55–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237>

77. Nosov, P., Zinchenko, S., Plokhikh, V., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Makarchuk, D., Mamenko, P., Moiseienko, V., & Ben, A. Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 4/3(112), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239093>

78. Nosov P. S., Zinchenko S. M., Popovych I. S., Ben A. P., Nahrybelnyi Y. A., Mateichuk V. M. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. Vol. 1. P. 146–161. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-1-15>.

79. Nosov, P., Zinchenko, S., Popovych, I., Safonov, M., Palamarchuk, I., Blakh, V.: Decision support during the vessel control at the time of negative manifestation of human factor. *CEUR Workshop Proceedings*, 2608, 2020, P. 12-26. DOI:[10.32782/cmis/2608-2](https://doi.org/10.32782/cmis/2608-2).
80. Palamarchuk I. V., Nosov P. S., Zinchenko S. M., Popovych I. S., Nahrybelnyi Ya. A., Nosova H. V. Development of means for experimental identification of navigator attention in ergatic systems of maritime transport. *Bulletin of the Karaganda University (Physics series)*. 2020. №1 (97). P. 58-69. DOI: 10.31489/2020Ph1/58-69.
81. Patraiko D. Introducing the e-navigation revolution. *Seaways. The Nautical Institute*. - March 2007. - P. 5-6.
82. Pietrzykowski Z., Wołjsza P., Borkowski P. Decision support in collision situations at sea. *J. Navig.* 2017. Vol. 70. P. 447–464. <https://doi.org/10.1017/S0373463316000746>.
83. Perera L. P., Rodrigues J. M., Pascoal R., Guedes Soares C. Development of an onboard decision support system for ship navigation under rough weather conditions. *Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources – Rizzuto & Guedes Soares (eds)*. 2012. P. 837–844. DOI:[10.1201/b11810-124](https://doi.org/10.1201/b11810-124).
84. Perez T. Dynamic Positioning Marine Manoeuvring. 2017. DOI: 10.1002/9781118476406.emoe110.
85. Ponomaryova, V., Nosov, P., Ben, A., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Dudchenko, S., Appazov, E., & Sokol, I. (2024). Devising an approach for the automated restoration of shipmaster's navigational qualification parameters under risk conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3 (127), 6–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296955>
86. Rodriguez-Molins M., Salido M. A., Barber F. Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals. *Expert Systems with Applications*. 2012. Vol. 39(1). P. 978–989. DOI:[10.1016/j.eswa.2011.07.098](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.098).
87. Russo M. Can the Pivot Point be far away from the ship? *Nase More: Journal of Marine Sciences*. 2006. Vol.53, No. 3-4, P. 97-103.

88. Sang Jin Kim, Mihkel Kõrgersaar, Nima Ahmadi, Ghalib Taimuri, Pentti Kujala, Spyros Hirdaris, The influence of fluid structure interaction modelling on the dynamic response of ships subject to collision and grounding, *Marine Structures*, Vol. 75, 2021, 102875. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102875>.
89. Seo S. G. Safer and More Efficient Ship Handling with the Pivot Point Concept. The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2016. – Vol. 10, No 4. P. 605-612. DOI:12.12716/1001.10.04.09.
90. Shen H., Hashimoto H., Matsuda A. et al. Automatic collision avoidance of multiple ships based on deep Q-learning. *Applied Ocean Research Journal*. 2019. Vol. 86. P. 268-288. doi: 10.1016/j.apor.2019.02.020.
91. Smeaton G., Coenen F. Developing an intelligent marine navigation system. *Computing & Control Engineering Journal*. 1990. Vol. 1. Issue 2. P. 95-103. doi: 10.1049/cce:19900024.
92. Solovey, O., Ben, A., Dudchenko, S., Nosov P. (2020). Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5/2 (107), p. 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856>
93. Statheros T., Howells G., McDonald-Maier K. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques. *J. Navig.* 2008. 61, № 1, p. 129-142. DOI:[10.1017/S037346330700447X](https://doi.org/10.1017/S037346330700447X).
94. Timchenko V., Kondratenko Y., Kreinovich V. Decision Support System for the Safety of Ship Navigation Based on Optical Color Logic Gates // Information Technology and Implementation (IT&I-2022), pp. 42–52.
95. Torskiy, V., Topalov, V., Chesnokova, M. Conceptual Grounds of Navigation Safety. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2016. Vol. 10, No 1. P. 79-82. DOI:10.12716/1001.10.01.08.
96. Tunçel A. L., Yüksekıldız E., Akyuz E., & Arslan O. Probability-based extensive quantitative risk analysis: collision and grounding case studies for bulk

carrier and general cargo ships. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 2021. 15(1), 89–105. DOI:[10.1080/18366503.2021.1994191](https://doi.org/10.1080/18366503.2021.1994191).

97. UNCTAD. Review of maritime transport. 2022.

98. Wang F., Bai Y., Wang J. Systematic reliability analysis of the Dynamic Positioning (DP) control system for a deepwater drilling rig. *Ships and Offshore Structures*. 2021. Vol. 16, Issue 10. P. 1114-1124. DOI:[10.1080/17445302.2020.1816745](https://doi.org/10.1080/17445302.2020.1816745).

99. Wang T. F., Yan X. P., Wang Y., Wu Q. Ship Domain Model for Multiship Collision Avoidance Decision-making with COLREGs Based on Artificial Potential Field. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2017. Vol. 11, No 1. P. 85-92. DOI: [10.12716/1001.11.01.09](https://doi.org/10.12716/1001.11.01.09)

100. Wu B., Yip T. L., Yan X., Soares C. G. Review of techniques and challenges of human and organizational factors analysis in maritime transportation. *Reliability Engineering and System Safety*, 2022, 219:108249. DOI: 10.1016/j.res.2021.108249.

101. Yan X., Li C., Liu J., You X., Wang S., Ma F. Architecture and key technologies for new generation of waterborne transportation system. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2021, 21(5):22. DOI:[10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.05.003](https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.05.003).

102. Yishan L., Zhiqiang G., Jie Y. et al. Prediction of ship collision risk based on CART. *IET Intelligent Transport Systems*. 2018. Vol. 12. Issue 10. pp. 1345-1350. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5281>.

103. Zhang M. Big data analytics methods for collision and grounding risk analysis in real conditions: framework, evaluation, and applications. Aalto University; Doctoral thesis, 2023, 202 p.p.

104. Zhong S., Wen Y., Huang Y., Cheng X., and Huang L. “Ontological Ship Behavior Modeling Based on COLREGs for Knowledge Reasoning,” *J. Mar. Sci. Eng.* 2022. vol. 10, no. 2, p. 203. <https://doi.org/10.3390/jmse10020203>.

105. Zhou, X., Liu, Z., Wu, Z., Wang, F. Quantitative Processing of Situation Awareness for Autonomous Ships Navigation. *TransNav, the International Journal on*

Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2019. Vol. 13, No 1. P. 25-31. DOI:10.12716/1001.13.01.01.

106. Zinchenko S., Ben A., Nosov P., Popovich I., Mamenko P., Mateychuk V. Improving the accuracy and reliability of automatic vessel motion control system. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. № 2. P. 183-195.
<https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-2-19>

107. Zinchenko S., Ben A., Nosov P., Popovich I., Mateichuk V. The vessel movement optimisation with excessive control. *Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics*. 2020. № 3 (99). P. 86–96. DOI:[10.31489/2020Ph3/86-96](https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96)

108. Zinchenko S. M., Nosov P. S., Mateychuk V. M., Mamenko P. P., Grosheva O. O. Automatic Collision Avoidance with multiple targets, including maneuvering ones. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. Vol.4. P. 211-221. DOI:[10.15588/1607-3274-2019-4-20](https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-4-20).

109. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Ben A., Nosov P., Popovich I., Nahrybelnyi Ya. Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* : book series. 2021. Vol. 77. P. 266-281.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82014-5_18

110. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P. , Sapronov O., Tymofeiev K., Petrovskyi A., Ivanov A. Collision avoidance by constructing and using a discrepancy area in on-board controller. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol.1, 2 (69), pp.25-29, 2023: Information and control system. DOI:[10.15587/2706-5448.2023.274296](https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.274296).

111. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovich I., Kobets V., Abramov G. Mathematical support of the vessel information and risk control systems. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2805. P. 335-354.
<http://ceurws.org/Vol-2805/paper25.pdf>

112. Zhou, X., Liu, Z., Wu, Z., Wang, F. Quantitative Processing of Situation Awareness for Autonomous Ships Navigation. *TransNav, the International Journal on*

Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2019 13. 25-31.
DOI:10.12716/1001.13.01.01.

113. Алексейчук М. С. Основные принципы системы принятия оптимального решения при расхождении судов. *Судовождение: Сб. науч. трудов ОГМА*. Вып. 1, 1999. – С. 7-14.

114. Бень А. П. Високоточні інтелектуальні системи управління рухом морських суден. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2017. - С. 81 – 82.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_2017.pdf

115. Бень А. П. Использование теоретико-игровой модели для представления и анализа навигационных ситуаций в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Штучний інтелект*. 2010. № 3. С. 439–443.

<https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/036f6652-7dde-4970-93e2-e05e439a9d6d/download>

116. Бень А. П. Концептуальные основы создания систем поддержки принятия решений в судовождении. *Штучний інтелект*. 2012. № 3. С. 222–227.

<http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/57171>

117. Бень А. П. Людський фактор в автоматизованих системах управління судном та шляхи зниження його впливу. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 2 (7). С. 26–30.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/270/291>

118. Бень А. П. Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений. *Вестник ХНТУ: сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета*. – 2009. – Вып. 1 (34). – С. 429-433.

119. Бень А. П. Методи прийняття рішень з управління рухом суден в інтелектуальних навігаційних інформаційних системах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 2 (29). С. 99-110.

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.2.29.099-110>.

120. Бенъ А. П. Напрямки застосування систем підтримки прийняття рішень в судноплавстві. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2025): матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2025. – С. 12–14.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/05/Матеріали-MINTT-2025-p..pdf>

121. Бенъ А. П. Перспективи розвитку інтелектуальних систем управління рухом суден. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2012): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Том I*, Херсон, 2012. – С. 152-154.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2012_Том1.pdf

122. Бенъ А. П. Перспективні напрямки розвитку систем підтримки прийняття рішень в судноводінні. *Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2024): матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*, Одеса, 2024. С. 63–65.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2024/11/PSDMI-ЗБІРНИК-2024.pdf>.

123. Бенъ А. П. Перспективи розвитку систем підтримки прийняття рішень судноводія. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2012. № 1 (6). С. 12–19. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/219/240>

124. Бенъ А. П. Представление правил МППСС-72 в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011) : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Том I*, Херсон, 2011. – С. 13-15.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/MINTT-11.-Tom-1.pdf>

125. Бенъ А. П. Пріоритетні напрямки застосування систем підтримки прийняття рішень в судноплавстві та перспективи їх подальшого розвитку. *Навігація та керування судном: нові підходи, навчання та моделювання: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2024. – С. 10-13.

<https://drive.google.com/file/d/1fmyFygFKQt--p3cMs-nbgHBIMDJghMsm/view>

126. Бенъ А. П. Пріоритетні напрямки розвитку та шляхи вдосконалення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні. *Судноводіння*. 2025. №37. С. 30–46. DOI: 10.31653/2306-5761.37.2025.30-46.

127. Бенъ А. П. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010) : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Том I*, Херсон, 2010. – С. 8-12.

128. Бенъ А. П. Системи підтримки прийняття рішень в судноводінні: сучасний стан та перспективи подальшого розвитку. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 1 (28). С. 152–162. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.152-162>.

129. Бенъ А. П. Системи підтримки прийняття рішень судноводія – ефективний засіб підвищення безпеки сучасного судноплавства. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015): матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2015. – С. 139-140. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2015.pdf

130. Бенъ А. П. Сучасні підходи до побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2016. – С. 59-60.

131. Бенъ А. П. Сучасні системи підтримки прийняття рішень судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2016. – С. 6-7. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2016.pdf

132. Бенъ А. П. Шляхи підвищення ефективності функціонування сучасних автоматизованих систем управління рухом суден. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013): матеріали*

V Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2, Херсон, 2013. – С. 50-51.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2013_Volume_2.pdf

133. Бенъ А. П., Кошлик Л. А. Автоматизированная система контроля мореходных качеств судов, перевозящих зерновые. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2012): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1, Херсон, 2012. – С. 158-163.*

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2012_Том1.pdf

134. Бенъ А. П. Кошлик Л. А. Анализ влияния свойств зерновых грузов на мореходные качества судов. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії. 2012. № 1 (6). С. 20–25.*

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/220/241>

135. Бенъ А. П., Кошлик Л. А. Разработка модуля «Влияние уровня автоматизации на безопасность управления судном» в учебном курсе «Менеджмент морских ресурсов». *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2, Херсон, 2011. – С. 37-39.*

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/MINTT-11.-Tom-2.pdf>

136. Бенъ А. П., Матейчук В. М. Система підтримки прийняття рішень з вибору маневру судна згідно з вимогами МПЗС-72. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії. 2025. № 1 (30). С. 133-144.*

<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.133-144>.

137. Бенъ А. П., Носов П. С., Паламарчук І. В. Створення систем підтримки прийняття рішень судноводія з урахуванням людського фактору під час позаштатних умов навігації. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2019. – С. 9-10.*

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

138. Бень А. П., Носов П. С., Зінченко С. М. Результати наукових досліджень науково-дослідної лабораторії з розробки систем підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем керування рухом суден Херсонської державної морської академії в 2023 році. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, MPP&O-2024.* – Одеса, 2024. С. 318–322.

https://drive.google.com/file/d/1G2rRItYsQVejaZQCQT2HzQc-pY7HTGh-/view?usp=drive_link

139. Бень А. П., Паламарчук І. В. Вимоги до систем підтримки прийняття рішень судноводія, що забезпечують розходження та маневрування суден з урахуванням МППЗС-72. *Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація : матеріали Науково-технічної конференції*, Одеса, НУ ОМА, 2019. С. 98-100.

140. Бень А. П., Паламарчук І. В. Особливості побудови сучасних високоточних інтелектуальних систем управління рухом суден. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2016. № 1 (14). – С. 4-10.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/723/718>

141. Бень А. П., Паламарчук І. В. Использование интеллектуальной системы планирования транскеанских переходов для снижения затрат топлива. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2013. № 2 (9). – С. 4-8. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/352>

142. Бень А. П., Паламарчук І. В. Методы планирования оптимальной траектории транскеанского перехода. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013): матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2*, Херсон, 2013. – С. 52-54.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2013_Volume_2.pdf

143. Бень А. П., Паламарчук І. В. Интеллектуальная система планирования транскеанских переходов. *Сучасні інформаційні та інноваційні*

технології на транспорті (MINTT-2014): матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, Херсон, 2014. – С. 154-156.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2014.pdf

144. Бенъ А. П., Паламарчук И. В. Оптимизация параметров движения судна при планировании трансокеанских переходов. *Інформаційні управляючі системи та технології : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, Одеса : ОНМУ, 2014. С. 109-111.

145. Бенъ А. П., Паламарчук И. В. Принципы построения систем поддержки принятия решения судоводителя в рамках концепции e-Navigation. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 2 (13). С. 19-24. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/799/796>

146. Бенъ А. П., Паламарчук И. В. Пути повышения эффективности современных морских перевозок. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон : ХДМА, 2017. С. 213-214.

147. Бенъ А. П., Паламарчук И. В. Снижение влияния человеческого фактора в автоматизированных системах управления судна. *Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека : матеріали Науково-технічної конференції*. Одеса: ОНМА, 2012. С. 96-99

148. Бенъ А. П., Паламарчук И. В. Человеческий фактор при принятии решений в судовождении и пути снижения его влияния. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 1 (12). – С. 4-9.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/459/227>

149. Бенъ А. П., Паламарчук И. В., Радин В. К. Снижение влияния человеческого фактора в системах поддержки принятия решений судоводителя. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*, Херсон, 2015. – С. 257-258.

150. Бенъ А. П., Паламарчук И. В., Радін В. К., Півоваров Ю. В., Федоров А. І. Система підтримки прийняття рішень судоводія в критичних ситуаціях.

Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021) : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон : ХДМА, 03–04 листопада 2021. С. 35–37.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/11/PSDMI-2021.pdf>

151. Бенъ А. П., Пелихівський Л. О., Соловей О. С. Сучасні методи запобігання зіткнення суден та їх застосування в управлінні автономними суднами. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2025. № 1 (30). С. 145-156. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.145-156>.

152. Бенъ А. П., Плющ В. Н. Выход в исходную точку поиска в кратчайшее время при осуществлении поисково-спасательных операций. *Науковий вісник ХДМІ*. 2010. № 1 (2). – С. 24-35.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/53/48>

153. Бенъ А. П., Плющ В. Н. Критерии оценки опасности сближения судов. *Науковий вісник ХДМІ*. 2009. № 1 (1). – С. 12-15.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/18/13>

154. Бенъ А. П., Радін В. К., Паламарчук І. В. Шляхи зниження впливу людського фактору в судноводінні. *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2020. С. 69-71.*

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/Матеріали_БЖД_2020.pdf

155. Бенъ А. П., Соколов А. В. Шляхи вдосконалення процесу формування вантажного плану контейнеровозу. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023): матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 2023. – С. 101–103.*

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2023/06/Збірник_MINTT_2023.pdf

156. Бенъ А. П., Соколов А. В. Аналіз сучасного стану методів формування вантажних планів контейнеровозів та шляхи їх подальшого вдосконалення. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2023. №1–2 (26–27). С. 6-16. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2023.1-2.26-27.006-016>.

157. Бенъ А. П., Соколов А. В. Система підтримки прийняття рішень з формування вантажних планів контейнеровозів. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 1 (28). С. 175-184.
<https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.175-184>.

158. Бенъ А. П., Соколов А. В., Соловей О. С. Система підтримки прийняття рішень з формування вантажного плану контейнеровозу. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського флоту Одеського національного морського університету, МРР&О-2024*. – Одеса, 2024. С. 293–295.
https://drive.google.com/file/d/19Uq4DCIUfKlSGyp3zMyIEhMN2cDrHlNs/view?usp=drive_link

159. Бенъ А. П., Соловей А. С. Усовершенствование методов контроля подъемного угла во время проведения грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. – № 1 (16). – С. 4–9.
<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/592/530>

160. Бенъ А. П., Федоров А. І. Формування вантажного плану контейнеровозу при здійсненні мультипортових перевезень. *Судноводіння*. 2019. №29. С. 10–19. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.10-19

161. Бенъ А. П. Формализация правил МППСС-72 в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Штучний інтелект*. 2011. – № 3. – С. 327-331.
<http://dspace.nbuiv.gov.ua/xmlui/bitstream/123456789/59935/1/31-Ben.pdf>

162. Бенъ А. П. Формализация решающих правил в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Судовождение*. 2010. – № 19. С. 8–14.

163. Бенъ А. П., Чернявський В. В., Носов П. С. Системи підтримки прийняття рішень та технології штучного інтелекту – нові реалії розвитку сучасного судноводіння. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2024): матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2024. С. 29–30.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2024/05/Збірник-MINTT-2024-.pdf>

164. Бідюк П. І., Бень А. П. Розробка системи підтримки прийняття рішень (СППР) для прогнозування нестационарних процесів з автоматизацією вибору кращої моделі. *Науковий вісник ХДМІ*. 2010. – № 2 (3). – С. 4-12.

<http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/86/74>

165. Бужбецкий Р. Ю. Совершенствование методов предупреждения столкновения судов с учетом особенностей их взаимодействия: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / Бужбецкий Ростислав Юрьевич. – Одесса, 2016. – 223 с.

166. Бурмака И. А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И. А. Бурмака., Э. Н. Пятаков., А. Ю. Булгаков. – LAMBERT Academic Publishing - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

167. Вагущенко Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении [Электронное учебное пособие] / Л. Л. Вагущенко - Одесса: ОНМА, 2013. – 135с.

168. Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. А. Улучшение поддержки решений по предупреждению столкновений. *Судноводіння*. 2018. – № 28. – С. 24–34. DOI: 10.31653/2306-5761.27.2018.24-34.

169. Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. Л. Поддержка решений по расхождению с судами: Фенікс, 2010. – 229 с.

170. Вагущенко Л. Л. Суднові навігаційно-інформаційні системи. Одеса : НУ “ОМА”, 2016. 238 с.

171. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. – 3-е изд., перераб. и доп. - Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.

172. Вільський Г., Бень А. Удосконалення інформаційної безпеки субстандартного судноплавства // *Безпека інформації*, 2015. – Т. 21, № 3. – С. 309-313. http://nbuv.gov.ua/UJRN/bezin_2015_21_3_14.

173. Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» у Херсонській державній морській академії протягом 2021–2025 рр. Етап 1: Розробка, впровадження та удосконалення моделей та методів керування рухом суден. Звіт про НДР (проміжн.)/ Херсонська державна

морська академія; Керівник роботи А. П. Бень. – № держреєстрації 0121U114703; Інв. № 62п/21. – Херсон, 2021. – 89 с.

174. Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» у Херсонській державній морській академії протягом 2021–2025 рр. Етап 3: Розробка функціональних модулів систем підтримки прийняття рішень та тренажерних комплексів з метою підвищення безпеки судноплавства в державі. Звіт про НДР (проміжн.)/ Херсонська державна морська академія; Керівник роботи А. П. Бень. – № держреєстрації 0121U114703; Інв. № 62п/21. – Херсон, 2023. – 154 с.

175. Габрук Р. А. Методологія динамічного програмування безпеки полієргатичного управління суден в гетерогенних умовах акваторій техноприродних комплексів: дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом. Київ, 2021. – 450 с.

176. Голиков В. А., Голиков В. В. Человеческий фактор в условиях эксплуатации судна. *Судовые энергетические установки: научно-технический сборник ОНМА*. 2008. № 21. – С.78 – 87.

177. Гусак І. Л. Методи системи підтримки прийняття рішення безпеки судноводіння в портовій акваторії : дис. на здобуття наук. ступеня доктора філософії : спеціальність 271 Морський та внутрішній водний транспорт. Київ, 2024. 154 с.

178. Гусак І. Л., Замана А. Методика визначення критеріїв безпечної швидкості суден при експлуатації суден внутрішнім водним транспортом. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2023. Т. 4, № 74. С. 34–39. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2023.4.034>.

179. Дакі О. А., Дорошева А. О., Іваненко В. М., Чебан В. І. Агентоорієнтована модель реалізації системи підтримки прийняття рішення безпеки судноводіння. *Системи озброєння і військова техніка*. 2020. № 3(63). С. 122–30. <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.63.18>.

180. Зінченко С. М. Теоретичні та практичні засади автоматизації процесів керування рухом суден на основі відкритих модульних систем : дис. на

здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спеціальність 05.13.07 – автоматизовані системи керування. Херсон, 2021. 314 с.

181. Зинченко С. Н., Ляшенко В. Г. Расхождение с маневрирующими целями. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. – № 2 (17). – С. 36-43. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/555/499>

182. Зінченко С. М., Товстокорий О. М., Бень А. П., Нагрибельний Я. А. Використання «нульових рухів» для налаштування надлишкових структур виконавчих пристроїв. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту (ДІ НУ «ОМА» – 2022) : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Ізмаїл, 2022, – С.33-37.

DOI: [10.13140/RG.2.2.16687.41120](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16687.41120)

183. Козырь Л. А., Аксютин Л. Р. Управление судами в шторм. Изд. 3-е, испр. и доп. Одесса: Феникс, 2006. 218 с.

184. Мальцев А. С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов. *Судовождение: сб. научн. трудов ОНМА*, 2006, Вып. 11. – С. 74-86.

185. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении./А. С. Мальцев, Е. Е. Тюпиков, И.И. Ворохобин. – Одесса, ОНМА, 2013. – 303 с.

186. Мальцев А. С. Теория и практика безопасного управления судном при маневрировании: дис. докт. техн. наук: 05. 22. 16. Одесса, 2007. 395 с.

187. Мальцев А. С., Бень А. П., Шон Н. Т. Способ оценки опасности столкновения в системах управления движением судов. *Судовождение*. 2009. Вып. 16. – С. 97-107.

188. Мальцев А. С., Бень А. П. Системы поддержки принятия решений по управлению движением судна: монографія. Херсон : Видавництво ХДМА, 2019. 244 с.

189. Матейчук В. М., Бень А. П., Зінченко С. М., Маменко П. П. , Кириченко К. В., Півоваров Л. А. Автоматичне оцінювання навичок керування рухом судна. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту морського*

флоту Одеського національного морського університету, МРР&О-2022.– Одеса, 2022. С. 330–335.

<https://docs.google.com/document/d/184F0Hkd9jsUBws7tlQ1TpTbLzr7BXZTd/edit?usp=sharing&ouid=102375399727177576866&rtpof=true&sd=true>

190. Матейчук В. М., Бенъ А. П., Зінченко С. М., Онишко Д. М. Навчальний тренажер з перевірки знань МПЗЗС–72. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2025): матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2025. – С. 65–67.

<https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/05/Матеріали-MINTT-2025-p..pdf>

191. Менеджмент морських ресурсів : Навчальний посібник / Безлуцька О. П., Бенъ А. П., Колегаєв М. О., Кошелик Л. А., Кулікова Л. Б., Лещенко А. М., Нестеренко В. Б., Перепадя К. В., Тригуб С. М., Ходаковський В. Ф., Цимбал М. М. . – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2012. – 100 с.

https://files.duit.edu.ua/uploads/ktfk/structure/library/electronic-library/Менеджмент-морських-ресурсів-учебник_compressed.pdf

192. Миусов М. В., Торский В. Г. Проблемы обеспечения безопасности судоходства Черного и Азовского морей, *Современные проблемы повышения безопасности судоходства: материалы научно-методической конференции*. – Одесса: «ИздатИнформ», ОНМА, 2009. – С. 76-80.

193. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р.

194. Нікольський В. В., Нікольський М. В., Накул Ю. А. Система підтримки прийняття рішень по завантаженню великотоннажного контейнеровозу. *Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. Серія: “Комп’ютерні технології”*. 2016. Вип. 271. Т. 283. С. 60–63.

195. Носов П. С., Бенъ А. П., Зінченко С. М., Храмцовський В. О., Гуров А. А. Формальні підходи щодо ідентифікації критичних ситуацій в ергатичних системах управління судном. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на*

транспорті (MINTT-2021) : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 2021. С. 32–36.

https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/09/MINTT_2021.pdf

196. Носов П. С., Бень А. П., Носова Г. В., Карпова С. О. Моделі і принципи розвитку інформаційних інтерфейсів на морському транспорті. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018. – № 1 (18) – С. 76–82. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/527/470>

197. Носов П. С., Бень А. П., Зинченко С. М., Крапивко Г. І., Барильник-Кураков І. Л. Розробка аналізатору психоемоційного стану судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 63-65. http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

198. Носов П. С., Волошинов С. А., Бень А. П., Новиков А. В. Моделювання інтелектуальної діяльності особи що приймає рішення в умовах позаштатних ситуацій при управлінні судном. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. №2 (17). – С. 238-243. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/588/525>

199. Паламарчук І. В. Моделі, методи та інформаційна технологія підтримки прийняття рішень з управління рухом морських суден при маневруванні : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології. Херсон, 2021. 192 с.

200. Паламарчук І. В., Бень А. П. Оцінка навігаційної ситуації в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Shipbuilding & marine infrastructure*, 2019, №1 (11) – С. 105-109. [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).12](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).12)

201. Патент на корисну модель UA № 40401, МПК G08G3/00. Пристрій оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху / А. С. Мальцев, А. П. Бень, Нгуен Тхан Шон; заявл. 10.10.2008, опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7/2009.

202. Патент на корисну модель UA № 97227, МПК G08 G3/00. Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном / О. М.

Товстокорий, С. Е. Мальцев, А. П. Бень; заявл. 27.06.2014, опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5/2015.

203. Патент на корисну модель UA № 100293, МПК G08 G 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення процесу управління судном / О. М. Товстокорий, С. Е. Мальцев, А. П. Бень; заявл. 26.11.2014, опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14/2015.

204. Патент на корисну модель UA № 106043, МПК G08G7/00 B63B43/00, G06Q90/00. Система підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден / А. П. Бень, Г. Б. Вільський, В. Ф. Ходаковський; заявл. 06.11.2015, опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7/2016.

205. Патент на корисну модель UA № 114868 МПК G08G 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна / О. М. Товстокорий, С. Е. Мальцев, А. П. Бень; заявл. 19.09.2016, опубл. 27.03.2017, Бюл. № 6/2017.

206. Патент на корисну модель UA 129699, МПК B63B 49/00. Спосіб розходження з небезпечними цілями/ С. М. Зінченко, В. Г. Ляшенко, В. М. Матейчук. Заявл. 26.04.2018, опубл. 12.11.2018, Бюл. № 2/2018.

207. Патент на корисну модель UA № 133709, МПК G06F8/35 G06Q99/00. Спосіб використання тренажерного обладнання для розробки та тестування систем керування рухом суден / С. М. Зінченко, В. М. Матейчук, В. Г. Ляшенко, А. П. Бень, О. М. Товстокорий, О. О. Грошева; заявл. 20.08.2018, опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8/2019.

208. Патент на корисну модель UA № 132741, МПК A61B 5/00 Аналізатор психоемоційного стану судноводія / П. С. Носов, С. М. Зінченко, В. М. Матейчук, В. Г. Ляшенко, А. П. Бень; заявл. 20.09.2018, опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5/2019.

209. Патент на корисну модель UA № 149191, МПК G08 G3/02. Індикатор відхилення осі бура / А. С. Мальцев, І. Л. Сурінов, А. П. Бень; заявл. 11.12.2020, опубл. 27.10.2021, Бюл. № 43/2021.

210. Петровський А. В., Бень А. П., Ляшенко В. Г., Паламарчук І. В. Концепція системи підтримки прийняття рішень для управління маневром судна

у каналах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2018, №1(18).– С. 186–191. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/528/471>

211. Піпченко О. Д. Розвиток теорії та практики управління ризиками при вирішенні комплексних навігаційних задач : дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом. Одеса, 2021. 286 с.

212. Пипченко А. Д. Анализ аварийности мирового флота 2005-2015. *Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА*, 2017. Вып. 27. – С. 159-168.

213. Положенцев М. А., Шепетуха Ю. М. Применение двухэлементных стратегий расхождения в эргатических системах предупреждения столкновений судов. *Кибернетика и вычислительная техника*. 1987. №76. – С. 19-21.

214. Пятаков Э. Н., Бужбецкий Р. Ю., Бурмака И. А., Булгаков А. Ю. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения. Херсон: Гринь Д. С., 2015. 312 с.

215. Рева О. М., Бень А. П., Ляшенко В. Г. Системні основи кваліметрії впливу людського чинника на прийняття рішень в судноводінні. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2019. – С. 69-71.

http://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/Матеріали_MINTT_2019.pdf

216. Ремез Ю. В. Качка корабля. Л.: Судостроение, 1983. 328 с.

217. Розробка новітніх моделей та програмних засобів для автоматизованих систем керування рухом морських суден цивільного та спеціального призначення: Звіт про НДР (заключ.)/ Херсонська державна морська академія; Керівник роботи А. П. Бень. – № держреєстрації 0121U109680; Інв. № 55п/21. – Херсон, 2022. – 227 с.

218. Розробка програмних засобів для підвищення якості функціонування систем динамічного позиціонування морських суден: , Звіт про НДР (заключ.)/ Херсонська державна морська академія; Керівник роботи А. П. Бень. – № держреєстрації 0119U100948; Інв. № 31п/19. – Херсон, 2020. – 124 с.

219. Розробка систем підтримки прийняття рішень судноводія: Звіт про НДР (заключ.) / Херсонська державна морська академія; Керівник роботи А. П. Бень. – № держреєстрації 0115U002517; Інв. № 9п/15. – Херсон, 2016. – 127 с.

220. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68552, Україна. Комп'ютерна програма «Система високоточного планування шляху переходу морського судна» / А. С. Мальцев, А. П. Бень, О. В. Терещенкова, В. І. Соколенко; заявл. 09.11.2016, опубл. 26.01.2017, Бюл. № 43.

221. Соловей О. С. Вдосконалення автоматизованих систем керування вантажними операціями з великоваговими негабаритними вантажами на морських судах: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.07. Херсон, 2021. 208 с.

222. Створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден військового та цивільного призначення: Звіт про НДР (заключ.) / Херсонська державна морська академія; Керівник роботи А. П. Бень. – № держреєстрації 0117U002176; Інв. № 21п/17. – Херсон, 2018. – 198 с.

223. Тихонов І. В. Методологічні основи поліергатичного забезпечення навігації та управління рухом водних транспортних засобів (цільова технологія безпеки): дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом. Київ, 2018. – 441 с.

224. Федоров А. І. Моделі, методи та інформаційна технологія підтримки процесів керування вантажними операціями контейнеровозів : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.06. Херсон, 2021. 171 с.

225. Федоров А. І., Бень А. П. Формування вантажного плану контейнеровоза згідно з логічними правилами завантаження-вивантаження. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2019, №1 (475) С. 129–134.

[https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).18](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).18)

226. Хойер Г. Х. Управление судами при маневрировании. – М.: Транспорт, 1992. – 101 с.

227. Цымбал Н. Н., Бурмака И. А., Тюпиков Е. Е. Гибкие стратегии расхождения судов. – Одесса, КП ОГТ, 2007, 424 с.

228. Чернявський В. В., Бень А. П., Носов П. С. Підходи ідентифікації проявів фактора людини для забезпечення безпеки на морському транспорті. *Прогресивні технології засобів транспорту : матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції*. Харків-Миргород : УкрДУЗТ, 2021. С.17-18.
<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/11796/1/Прогресивні%20технології%20засобів%20транспорту.pdf>

229. Чернявський В. В., Бень А. П., Паламарчук І. В. Аналіз траєкторії руху судна в системі підтримки прийняття рішень судноводія. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020): матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2020.– С. 5-8. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/04/Матеріали_MINTT_2020.pdf

230. Чернявський В. В., Бень А. П., Товстокорий О. М., Зінченко С. М. Визначення положення центру обертання судна з використанням математичної моделі. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2022): матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон, 2022. – С. 7-11. <https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2025/03/MINTT-2022.pdf>

231. Шерстюк В. Г. Динамическая сценарно-прецедентная интеллектуальная система для управления подвижными объектами. *Штучний інтелект*. 2011, №4. – С. 361-373.
<https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/6216b3b3-0264-484d-9b22-0e8c4baf2d17/download>

232. Шерстюк В. Г., Бень А. П. Гибридная интеллектуальная СППР для управления судном. *Штучний інтелект*. 2008, №3. – С. 490-499.
<https://nasplib.isoftware.kiev.ua/bitstreams/c5842be7-e387-4d43-945e-0f87d26adba9/download>

233. Шерстюк В. Г., Бень А. П. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по управлению судном в условиях неполной и противоречивой информации. *Судовождение*. 2007. Вып. 14. – С. 141-144.

234. Ягер Р. Р. Множества уровня для оценки принадлежности нечетких подмножеств [Текст] // Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: пер. с англ./ под ред. Р. Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – С. 71-78.

235. Якусевич Ю. Г., Тришин В. В., Дорофеева З. Я. Побудова навігаційної системи судна на основі сучасних інформаційних технологій. *Кибернетика та системний аналіз*. №4 (70). 2021. – С. 83–88. <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.70.12>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Акти впровадження результатів дослідження



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Мечникова, 34, м. Одеса, 65029, тел.: (048) 732-17-35, факс: (048) 732-16-21
e-mail: office@onmu.org.ua, сайт: www.onmu.org.ua, код згідно з ЄДРПОУ 01127777

від 27.06 2025 р. № К/0811 На № _____ від _____ 20__ р.

АКТ

про використання результатів дисертаційного дослідження

БЕНЯ Андрія Павловича

«Теоретичні та методологічні засади створення
систем підтримки прийняття рішень в судноводінні»
в освітньому процесі

Одеського національного морського університету

Результати дисертаційної роботи А.П. Беня впроваджені в освітній процес кафедри «Навігація і керування судном» Одеського національного морського університету, а саме:

- методи оцінки рівня небезпеки навігаційних ситуацій та прийняття рішень з управління рухом судна в системах підтримки прийняття рішень судноводія;
- методи оцінки негативного впливу людського фактору на процеси управління рухом судна та заходи щодо його зниження;
- методи автоматизації процесів управління судном при прийнятті рішень в критичних ситуаціях за умов наявності обмежень часу.

Зазначені результати використовуються при викладанні освітніх компонентів «Забезпечення навігаційної безпеки плавання», «Автоматизовані системи управління судном», які входять до нормативної частини освітньо-професійних програм освітнього рівня магістр спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт», а також «Методи організації процесів керування рухом судна», яка входить до вибіркової частини освітньо-професійних програм освітнього рівня доктора філософії вищевказаної спеціальності, та у науково-дослідній роботі аспірантів.

Проректор з НІР



Олександр ШУМИЛО



ЗАТВЕРДЖУЮ

Т.в.о. ректора

Херсонської державної
морської академії

к.пед.н., доцент

 О.О. Нагрибельний

2025 р.



АКТ

про використання результатів дисертаційного дослідження

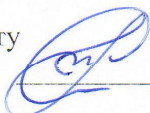
Беня Андрія Павловича

«Теоретичні та методологічні засади створення
систем підтримки прийняття рішень в судноводінні»
в освітньому процесі Херсонської державної морської академії

Ми, що нижче підписалися, Нагрибельний Я.А., Носов П.С., Петровський А.В., склали цей акт в тому, що результати дисертаційного дослідження А.П. Беня впроваджені в освітній процес на факультеті судноводіння, а саме: використовуються в змісті освітніх компонентів «Забезпечення навігаційної безпеки плавання», «Сучасні автоматизовані системи управління рухом суден», «Теорія та практика управління рухом судна», які входять до нормативної частини освітньо-професійних програм освітнього рівня «магістр», а також у науково-дослідній роботі аспірантів.

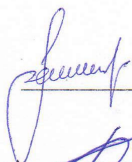
Серед запропонованих методів застосовуються методи підтримки прийняття рішень судноводія з управління рухом суден при вирішенні задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування, методи автоматизації процесів управління судном при прийнятті рішень в критичних ситуаціях за умов наявності обмежень часу, методи оцінки негативного впливу людського фактору на процеси управління рухом судна та заходи щодо його зниження.

Декан факультету
судноводіння,



д.пед.н., професор Ярослав НАГРИБЕЛЬНИЙ

Завідувач кафедри
суднових комп'ютерних
систем та мереж



к.т.н., доцент Павло НОСОВ

Начальник відділу
технічної інформації



к.т.н., доцент Андрій ПЕТРОВСЬКИЙ



Marlow Navigation Ukraine

45 Troitskaya str
65045 Odessa
Ukraine

T: +380 48 7340800
F: +380 482 429383
Email: marlow@marlow.od.ua

АКТ

про практичне застосування результатів дисертаційних досліджень

здобувача наукового ступеня Беня Андрія Павловича

Цим актом підтверджується, що ряд результатів дисертаційної роботи Беня Андрія Павловича «Теоретичні та методологічні засади створення систем підтримки прийняття рішень в судоводінні», використовується у процесі підготовки судноводіїв та експлуатації суден.

Зокрема це:

- методи ідентифікації, оцінки та зниження негативного впливу людського фактору на процеси управління рухом судна;
- метод кількісної оцінки рівня небезпеки зіткнення суден та ситуаційного аналізу навігаційних ситуацій;
- методика розрахунку полюсу повороту судна при здійсненні маневрування у вузькостях та обмежених акваторіях.

Заступник директора з контролю якості



С. Г. Сагло

Master
Saglo Sergiy

17 червня 2025



№ 013-1/ I / 2025 від 08.07.2025

У спеціалізовану вчену раду
Національного університету
«Одеська морська академія»

АКТ

*про впровадження результатів докторської дисертації
Беня Андрія Павловича*

Херсонський морський спеціалізований тренажерний центр (ХМСТЦ) засвідчує, що матеріали докторської дисертаційної роботи Беня А.П. на тему «Теоретичні та методологічні засади створення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні» по застосуванню методів підтримки прийняття рішень судноводія з управління рухом суден при вирішенні задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування, методів автоматизації процесів управління рухом судна для прийняття рішень критичних ситуаціях, методів зниження негативного впливу людського фактору на процеси управління судном, із використанням навігаційного тренажеру Navi Trainer 5000 застосовуються під час проведення занять з інструкторами Морського спеціалізованого тренажерного центру.

Директор ХМСТЦ

Kherson Maritime Specialised Training Centre
at Kherson State Maritime Academy

Address: 20 Nezalezhnosti Avenue (formerly Ushakova Avenue)
Kherson, 73000, Ukraine
tel.: +38 050 672 7685
e-mail: office@kmstc.org



С. В. Дудченко



kmstc.org

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційних досліджень

Цим актом засвідчується, що у Інституті післядипломної освіти «Центр підготовки та атестації плавскладу» Національного університету «Одеська морська академія» були впроваджені у навчальний процес для слухачів курсів підготовки судноводіїв наступні результати дисертаційної роботи Беня А.П. на тему «Теоретичні та методологічні засади створення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні»:

- комплексний метод оцінки рівня небезпеки зіткнення суден;
- методи підтримки прийняття рішень судноводія з управління рухом суден при вирішенні задач розходження, маневрування та динамічного позиціонування;
- методи автоматизації процесів управління рухом судна для прийняття рішень при розходженні, маневруванні, та у критичних ситуаціях.

Директор
ІПО «ЦПАП



21.08.2025

Пономаренко В.В.



АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи
 Беня Андрія Павловича
 на тему «Теоретичні та методологічні засади створення
 систем підтримки прийняття рішень в судноводінні»
 в навчальному процесі університету

Ми, що нижче підписалися, начальник навчального відділу університету Пархоменко М.М., директор навчально-наукового інституту навігації д.т.н., професор Ворохобін І.І., завідувач кафедри управління судном д.т.н., професор Бурмака І.О., гарант освітньої програми освітнього ступеня бакалавра д.т.н., професор Цимбал М.М. склали цей акт в тому, що результати дисертаційної роботи Беня А.П. впроваджені у навчальний процес навчально-наукового інституту навігації НУОМА та застосовуються в освітньо-професійних програмах підготовки бакалавра та магістра за спеціалізацією «Навігація і управління морськими суднами», а саме:

- методи ситуаційного аналізу процесів розходження суден та прийняття рішень з управління рухом судна в системах підтримки прийняття рішень судноводія;
- методи управління рухом судна при маневруванні у вузькостях та обмежених акваторіях;
- методи кількісної оцінки впливу людського фактору на процеси управління рухом судна в системі «судноводій-технічні засоби управління судном».

Начальник
 навчального відділу

Пархоменко М.М.

Директор
 навчально-наукового
 інституту навігації

Ворохобін І.І.

Завідувач кафедри управління
 судном

Бурмака І.О.

Гарант освітньої програми

Цимбал М.М.

ДОДАТОК Б

Реєстраційні картки НДР

Реєстраційна картка НДДКР

Державний реєстраційний номер: 0115U002517

Відкрита

Дата реєстрації: 27-02-2015

Статус виконавця: 17 - головний виконавець



1. Загальні відомості

Підстава для проведення робіт: 34 - договір з МОН, іншими центральними органами виконавчої влади

КПКВК: 2201040

Напрямок фінансування: 2.2 - прикладні дослідження і розробки

Джерела фінансування

7713 - кошти держбюджету

Загальний обсяг фінансування (тис. грн.): 750

У тому числі по роках (тис. грн.):

Рік	Фінансування
2015	210
2016	540

2. Замовник

Назва організації: Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ/ІПН: 00027677

Адреса: пр. Перемоги, 10, м. Київ, Київ, 01135, Україна

Підпорядкованість: Кабінет Міністрів

Телефон: 0442878922

Телефон: 0442878922

Е-mail: mon@mon.gov.ua

WWW: <https://mon.gov.ua/ua>

3. Виконавець

Назва організації: Херсонська державна морська академія

Код ЄДРПОУ/ІПН: 35219930

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Адреса: проспект Ушакова, 20, м. Херсон, Херсонська обл., 73000, Україна

Телефон: 380552495902

Е-mail: ksm@ksma.ks.ua

WWW: <http://www.kma.ks.ua>

4. Співвиконавець

5. Науково-технічна робота

Назва роботи (укр)

Розробка систем підтримки прийняття рішень судноводія

Назва роботи (англ)

Development of decision support systems navigators

Мета роботи (укр)

Розробка новітніх концептуальних підходів до створення систем підтримки прийняття рішень в судноводінні, визначення теоретичних та методологічних засад побудови таких систем та пріоритетних шляхів їх практичного запровадження, що дозволить підвищити безпеку судноплавства.

Мета роботи (англ)

Пріоритетний напрям науково-технічної діяльності: Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:

Вид роботи: 48 - прикладна

Очікувані результати: Технології

Галузь застосування: Н.52.22

6. Етапи виконання

Номер	Початок	Закінчення	Звітний документ	Назва етапу
1	01.2015	12.2015	Проміжний звіт	Дослідження теоретичних та методологічних засад створення СППР судноводія.
2	01.2016	12.2016	Остаточний звіт	Розробка програмного забезпечення СППР та її тестування.

7. Індекс УДК тематичних рубрик НТІ

Коди тематичних рубрик НТІ: 73.34

Індекс УДК: 656.6, 656.61

8. Заключні відомості

Керівник організації:

Ходаковський Володимир Федорович

Керівники роботи:

Бень Андрій Павлович

Відповідальний за подання документів: (Тел.:)

Керівник відділу реєстрації наукової діяльності
УкрІНТЕІ



Юрченко Т.А.

Реєстраційна картка НДДКР

Державний реєстраційний номер: 0117U002176

Відкрита

Дата реєстрації: 06-02-2017

Статус виконавця: 17 - головний виконавець



1. Загальні відомості

Підстава для проведення робіт: 34 - договір з МОН, іншими центральними органами виконавчої влади

КПКВК: 2201040

Напрямок фінансування: 2.2 - прикладні дослідження і розробки

Джерела фінансування

7713 - кошти держбюджету

Загальний обсяг фінансування (тис. грн.): 900

У тому числі по роках (тис. грн.):

Рік	Фінансування
2017	400
2018	500

2. Замовник

Назва організації: Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ/ПН: 00027677

Адреса: пр. Перемоги, 10, м. Київ, Київ, 01135, Україна

Підпорядкованість: Кабінет Міністрів

Телефон: 0442878922

Телефон: 0442878922

E-mail: mon@mon.gov.ua

WWW: <https://mon.gov.ua/ua>

3. Виконавець

Назва організації: Херсонська державна морська академія

Код ЄДРПОУ/ПН: 35219930

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Адреса: проспект Ушакова, 20, м. Херсон, Херсонська обл., 73000, Україна

Телефон: 380552495902

E-mail: ksm@ksma.ks.ua

WWW: <http://www.kma.ks.ua>

4. Співвиконавець

5. Науково-технічна робота

Назва роботи (укр)

Створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден військового та цивільного призначення

Назва роботи (англ)

Creating a high-traffic control intelligent systems of marine vessels, military and civil use

Мета роботи (укр)

Створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом суден військового та цивільного призначення

Мета роботи (англ)

Пріоритетний напрям науково-технічної діяльності: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:

Вид роботи: 57 - науково-технічна розробка

Очікувані результати: Методи, теорії

Галузь застосування: H.52.22

6. Етапи виконання

Номер	Початок	Закінчення	Звітний документ	Назва етапу
1	01.2017	12.2017	Проміжний звіт	Дослідження патентно-кон'юнктурної вітчизняної та зарубіжної наукової бази з побудови високоточних інтелектуальних систем управління рухом судна та визначення базових принципів їх розробки та функціонування.
2	01.2018	12.2018	Остаточний звіт	Розробка методології та моделей контролю за рухом судна. Розробка програмного забезпечення високоточної інтелектуальної системи управління рухом судна військового та цивільного призначення.

7. Індекс УДК тематичних рубрик НТІ

Коди тематичних рубрик НТІ: 73.34.81

Індекс УДК: 656.6:658.012.011.56; 656.6:004, 656.61

8. Заключні відомості

Керівник організації:

Ходаковський Володимир Федорович

Керівники роботи:

Бень Андрій Павлович

Відповідальний за подання документів: (Тел.:)

Керівник відділу реєстрації наукової діяльності
УкрІНТЕІ



Юрченко Т.А.

Реєстраційна картка НДДКР

Державний реєстраційний номер: 0119U100948

Відкрита

Дата реєстрації: 27-02-2019

Статус виконавця: 17 - головний виконавець



1. Загальні відомості

Підстава для проведення робіт: 34 - договір (замовлення) з центральним органом виконавчої влади, академією наук (головними розпорядниками бюджетних коштів на проведення НДДКР)

КПКВК: 2201040

Напрямок фінансування: 2.2 - прикладні дослідження і розробки

Джерела фінансування

7713 - кошти держбюджету

Загальний обсяг фінансування (тис. грн.): 535.429

У тому числі по роках (тис. грн.):

Рік	Фінансування
2019	265.000
2020	270.429

2. Замовник

Назва організації: Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ/ПН: 38621185

Адреса: проспект Берестейський, буд. 10, м. Київ, 01135, Україна

Підпорядкованість: Кабінет Міністрів України

Телефон: 380444813221

E-mail: mon@mon.gov.ua

WWW: <https://mon.gov.ua/ua>

3. Виконавець

Назва організації: Херсонська державна морська академія

Код ЄДРПОУ/ПН: 35219930

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Адреса: проспект Ушакова, буд. 20, м. Херсон, Херсонська обл., 73000, Україна

Телефон: 380552495902

E-mail: ksm@ksma.ks.ua

WWW: <http://www.kma.ks.ua>

4. Співвиконавець

5. Науково-технічна робота

Назва роботи (укр)

Розробка програмних засобів для підвищення якості функціонування систем динамічного позиціонування морських суден

Назва роботи (англ)

Development of software for improving the quality of functioning systems for dynamic positioning sea vessels

Мета роботи (укр)

Метою роботи є створення програмних засобів для підвищення якості функціонування систем динамічного позиціонування морських суден.

Мета роботи (англ)

The purpose of the work is to create software for improving the quality of functioning systems dynamic positioning for sea vessels

Пріоритетний напрям науково-технічної діяльності: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:

Вид роботи: 57 - науково-технічна розробка

Очікувані результати: Технології, Методи, теорії

Галузь застосування: Н.52.22

6. Етапи виконання

Номер	Початок	Закінчення	Звітний документ	Назва етапу
1	01.2019	12.2019	Проміжний звіт	Прикладний метод визначення оптимального динамічного позиціонування судна.
2	01.2020	12.2020	Остаточний звіт	Методика оцінювання якості прийнятого рішення з управління динамічним позиціонуванням судна за критеріями безпеки та економічної ефективності.

7. Індекс УДК тематичних рубрик НТІ

Коди тематичних рубрик НТІ: 55.45.01.29

Індекс УДК: 629.5:001.89, 629.5

8. Заключні відомості

Керівник організації:

Чернявський Василь Васильович (д. пед. н., доц., професор)

Керівники роботи:

Бень Андрій Павлович (к. т. н., доц., професор)

Відповідальний за подання документів: Клементьєва Оксана Юріївна (Тел.: +38 (050) 521-32-42)

Керівник відділу реєстрації наукової діяльності
УкрІНТЕІ



Юрченко Т.А.

Реєстраційна картка НДДКР

Державний реєстраційний номер: 0121U109680

Відкрита

Дата реєстрації: 14-03-2021

Статус виконавця: 17 - головний виконавець



1. Загальні відомості

Підстава для проведення робіт: 34 - договір (замовлення) з центральним органом виконавчої влади, академією наук (головними розпорядниками бюджетних коштів на проведення НДДКР)

КПКВК: 2201040

Напрямок фінансування: 2.2 - прикладні дослідження і розробки

Джерела фінансування

7713 - кошти держбюджету

Загальний обсяг фінансування (тис. грн.): 1290.000

У тому числі по роках (тис. грн.):

Рік	Фінансування
2021	560.000
2022	730.000

2. Замовник

Назва організації: Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ/ПН: 38621185

Адреса: просп. Перемоги, буд. 10, м. Київ, Київська обл., 01135, Україна

Підпорядкованість: Кабінет Міністрів України

Телефон: 380444813221

E-mail: mon@mon.gov.ua

3. Виконавець

Назва організації: Херсонська державна морська академія

Код ЄДРПОУ/ПН: 35219930

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Адреса: проспект Ушакова, буд. 20, м. Херсон, Херсонська обл., 73000, Україна

Телефон: 380552495902

E-mail: ksma@ksma.ks.ua

WWW: <http://www.kma.ks.ua>

4. Співвиконавець

5. Науково-технічна робота

Назва роботи (укр)

Розробка новітніх моделей та програмних засобів для автоматизованих систем керування рухом морських суден цивільного та спеціального призначення

Назва роботи (англ)

Development of the latest models and software for automated traffic control systems for civil and special purpose ships

Мета роботи (укр)

Метою роботи є розробка новітніх моделей та програмних засобів для автоматизованих систем керування рухом морських суден цивільного та спеціального призначення

Мета роботи (англ)

The aim of the work is to develop the latest models and software for automated traffic control systems for civil and special purpose ships.

Пріоритетний напрям науково-технічної діяльності: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:

Вид роботи: 57 - науково-технічна розробка

Очікувані результати: Методи, теорії, Програмні продукти

Галузь застосування: Транспорт

6. Етапи виконання

Номер	Початок	Закінчення	Звітний документ	Назва етапу
1	01.2021	12.2021	Остаточний звіт	Дослідження патентнокон'юнктурної вітчизняної та зарубіжної наукової бази з побудови автоматизованих систем керування рухом морських суден та визначення базових принципів їх розробки та функціонування.

7. Індекс УДК тематичних рубрик НТІ

Коди тематичних рубрик НТІ: 73.47.12

Індекс УДК: 656.07; 656.07:658.012.011.56, 629.5:001.89, 629.5

8. Заключні відомості

Керівник організації:

Чернявський Василь Васильович (д.пед.н., професор)

Керівники роботи:

Бень Андрій Павлович (к. т. н., доц., професор)

Відповідальний за подання документів: Клементьева Оксана Юріївна (Тел.: +38 (050) 521-32-42)

Керівник відділу реєстрації наукової діяльності
УкрІНТЕІ



Юрченко Т.А.

ДОДАТОК В

Патенти на корисну модель України



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114868** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
G08G 3/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 09646	(72) Винахідник(и): Мальцев Станіслав Едуардович (UA), Товстокорий Олег Миколайович (UA), Бень Андрій Павлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 19.09.2016	(73) Власник(и): ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ, просп. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.03.2017	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.03.2017, Бюл.№ 6	

(54) СПОСІБ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАНЕВРУВАННЯ МОРСЬКОГО СУДНА

(57) Реферат:

Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна, в якому розраховують координати полюсу повороту та показують положення полюса повороту на контурі судна. Також розраховують координати полюсу повороту шляхом вимірювання тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах відносно води за допомогою доплерівського лагу з урахуванням швидкості та напрямку течії.

UA 114868 U

Корисна модель належить до способів інформаційного забезпечення управління рухом судна при маневруванні і використовується для визначення положення полюсу повороту, без інформації про внутрішні і зовнішні управляючі сили, для оперативного управління рухом суден при маневруванні і використанні буксирів.

5 Найближчим аналогом по технічній сутті є модель [Товстокорий О.М., Мальцев С.Е., Бень А.П. Патент на корисну модель № 100293 від 27.07.2015 – найближчий аналог], в якій розраховують координати полюсу повороту та показують положення полюсу повороту шляхом вимірювання тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах.

10 Недоліком зазначеного способу є те, що система GPS за своїм фізичним змістом показує швидкість судна відносно ґрунту. Положення ж полюсу повороту на судні потрібно визначати відносно води. Щоб визначити положення ПП відносно води, належить визначити тангенціальні швидкості відносно води, та вже по ним визначити положення ПП, тобто визначити положення полюсу повороту з урахуванням течії.

15 В основу корисної моделі поставлена задача створити спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна, в якому за рахунок технологічних особливостей було б можливим інформаційне забезпечення маневрування в стислих умовах, зниження ризиків виникнення аварійних ситуацій при проводці судна при використанні буксирних суден для забезпечення безпечного маневрування.

20 Поставлена задача вирішується тим, що в запропонованому способі інформаційного забезпечення маневрування морського судна, розраховують координати полюсу повороту, визначають положення точки прикладання рівнодіючої бокових сил та показують положення полюсу повороту і точки прикладання бокових сил на контурі судна, в якому згідно корисної моделі розраховують координати полюсу повороту шляхом вимірювання тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах за допомогою доплерівського лагу та корегуванням їх урахуванням течії.

25 На відміну від найближчого аналогу у запропонованому способі розраховують координати полюсу повороту шляхом вимірювання тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах відносно води без урахування течії, що дозволяє отримати інформаційне забезпечення маневрування в стислих умовах, знизити ризики виникнення аварійних ситуацій при проводці судна при використанні буксирних суден для забезпечення безпечного маневрування.

30 Вимірювання тангенціальних швидкостей точок на носовому та кормовому перпендикулярах діаметральної площини відносно води з урахуванням течії забезпечує вхідні дані для розрахунку положення полюсу повороту, які виникають при маневруванні судна, яке підлягає проводці, забезпечує підвищення інформаційного забезпечення, а саме шляхом високоточного розрахунку положення полюсу повороту і як результат отримання даних для розстановки буксирів при маневруванні і використанні руля і гвинта для управління.

35 Запропонований розрахунок положення полюсу повороту на корпусі при існуючому розташуванні прикладених до корпусу зовнішніх і внутрішніх сил забезпечує своєчасне визначення положення полюсу повороту і точки рівнодіючої бокових сил відносно води з урахуванням течії.

Подача інформації про положення полюсу повороту та його візуальної індикації забезпечує отримання даних для прийняття рішення по оптимальній розстановці буксирів при маневруванні і використанні управляючих сил від руля та гвинта для управління рухом судна.

45 Суть корисної моделі пояснюється кресленням - графічне зображення на корпусі судна 1 шляхом вимірювання тангенціальних швидкостей на носовому 2 та кормовому 3 перпендикулярах схеми способу визначення полюсу повороту 4 і його розташування відносно центра ваги, а також визначення відкоригованого положення полюсу повороту 5 відносно води з урахуванням течії.

50 Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна здійснюють шляхом вимірювання доплерівським лагом швидкостей та напрямків руху на носовому 2, та на кормовому 3 перпендикулярах, швидкості та напрямку течії, розраховують тангенціальні швидкості руху на носовому 2, та на кормовому 3 перпендикулярах відносно води з урахуванням течії. Після цього розраховують координати положення полюсу повороту та координати положення рівнодіючої прикладених до корпусу зовнішніх і внутрішніх сил. Після розрахунку дані про положення полюсу повороту та точки прикладення рівнодіючої сили подаються на індикатор з дисплеєм.

Для розрахунку тангенціальних швидкостей відносно води проводять визначення курсового кута течії q_T за формулою:

60
$$q_T = IK - K_T$$

UA 114868 U

Тангенціальна складова течії буде дорівнювати:

$$V_{TT} = V_T \cdot \sin \alpha_T,$$

де V_T - швидкість течії(м/с); V_{TT} - тангенціальна швидкість течії(м/с).

Виконавши геометричне додавання векторів тангенціальних швидкостей носа та корми з урахуванням їхніх знаків та знака вектору течії, отримують

$$V_{HO} = V_H - V_{TT}$$

$$\bar{V}_{KO} = \bar{V}_K - \bar{V}_{TT}$$

де \bar{V}_H - тангенціальна швидкість точки діаметральної площини на носовому перпендикулярі (м/с); \bar{V}_K - тангенціальна швидкість точки діаметральної площини на кормовому перпендикулярі

(м/с); \bar{V}_{HO} - тангенціальна швидкість точки діаметральної площини на носовому перпендикулярі відносно води з урахуванням течії(м/с); \bar{V}_{KO} - тангенціальна швидкість точки діаметральної площини на кормовому перпендикулярі відносно води з урахуванням течії(м/с);

З'єднують отримані вектори V_{HO} та V_{KO} відтинком прямої. У точці 5 перетину цього відтинку з діаметральною площиною отримують положення полюсу повороту відносно води з урахуванням течії.

Для розрахунку абсциси полюсу повороту по тангенціальним швидкостям носа та корми з урахуванням течії використовують формулу:

$$X_{пп} = \frac{V_{KO} - V_{HO}}{V_{KO} - V_{HO}} (X_B - X_A) + X_A;$$

де $X_{пп}$ - абсциса полюсу повороту з відповідним знаком «+» в сторону носу і «-» в сторону корми відносно центра ваги; $X_B = -0,5 \cdot L_{\perp\perp}$ - координата точки діаметральної площини на кормовому перпендикулярі(м); $X_A = 0,5 \cdot L_{\perp\perp}$ - координата точки діаметральної площини на носовому перпендикулярі(м); $L_{\perp\perp}$ - довжина судна між перпендикулярами(м).

Координати точки прикладання рівнодіючої поперечних $P_{Рів}$ сил \bar{X}_P по наступним формулам.

При віднош. координатах полюсу повороту $\bar{X}_{пп} = (X_{пп} / L_{\perp\perp}) < 0,5$;

$$\bar{X}_P = \frac{\frac{1}{6} \bar{X}_{пп}^4 + \frac{1}{4} \bar{X}_{пп}^3 + \frac{1}{32} \bar{X}_{пп}^2}{\frac{2}{3} \bar{X}_{пп}^3 + \frac{1}{2} \bar{X}_{пп}^2}.$$

При віднош. координатах полюсу повороту $\bar{X}_{пп} = (X_{пп} / L_{\perp\perp}) > 0,5$;

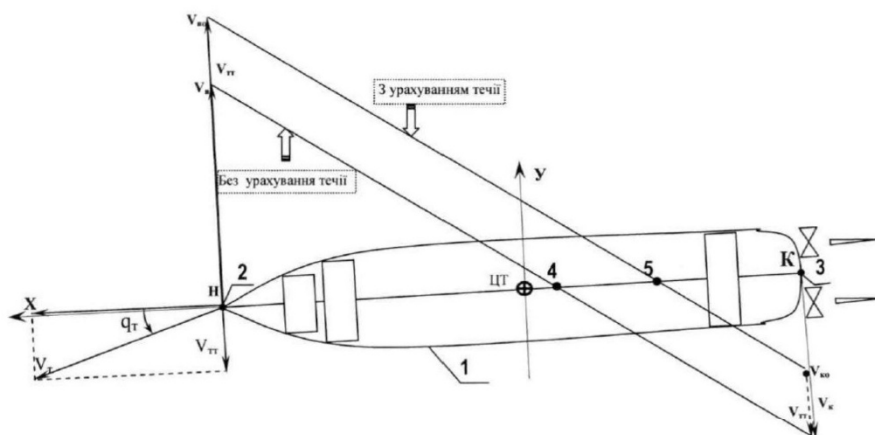
$$\bar{X}_P = \frac{\frac{1}{6} \bar{X}_{пп}^4 + \frac{1}{4} \bar{X}_{пп}^3 + \frac{1}{32} \bar{X}_{пп}^2}{\bar{X}_{пп}^2 + \frac{1}{12}}.$$

Відстеження змін положення полюсу повороту дозволяє отримувати неперервну інформацію стосовно необхідності зміни плану маневрування без затримок, притаманних приладам, що оцінюють відхилення за показниками, що спостерігаються.

Здійснення даного способу дозволить судноводію оперативно управляти рухом судна, шляхом контролю точки полюсу повороту, координати якої визначаються без необхідності вводити дані про режими роботи судових та зовнішніх управляючих сил, що значно прискорює прийняття рішення по управлінню процесом маневрування і зменшує вірогідність виникнення непередбачених ситуацій.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна, в якому розраховують координати полюсу повороту та показують положення полюсу повороту на контурі судна, який відрізняється тим, що розраховують координати полюсу повороту шляхом вимірювання тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах відносно води за допомогою доплерівського лагу з урахуванням швидкості та напрямку течії.



Комп'ютерна верстка М. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **132741** (13) **U**
(51) МПК (2019.01)
A61B 5/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2018 09479**
(22) Дата подання заявки: **20.09.2018**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **11.03.2019**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **11.03.2019, Бюл.№ 5**

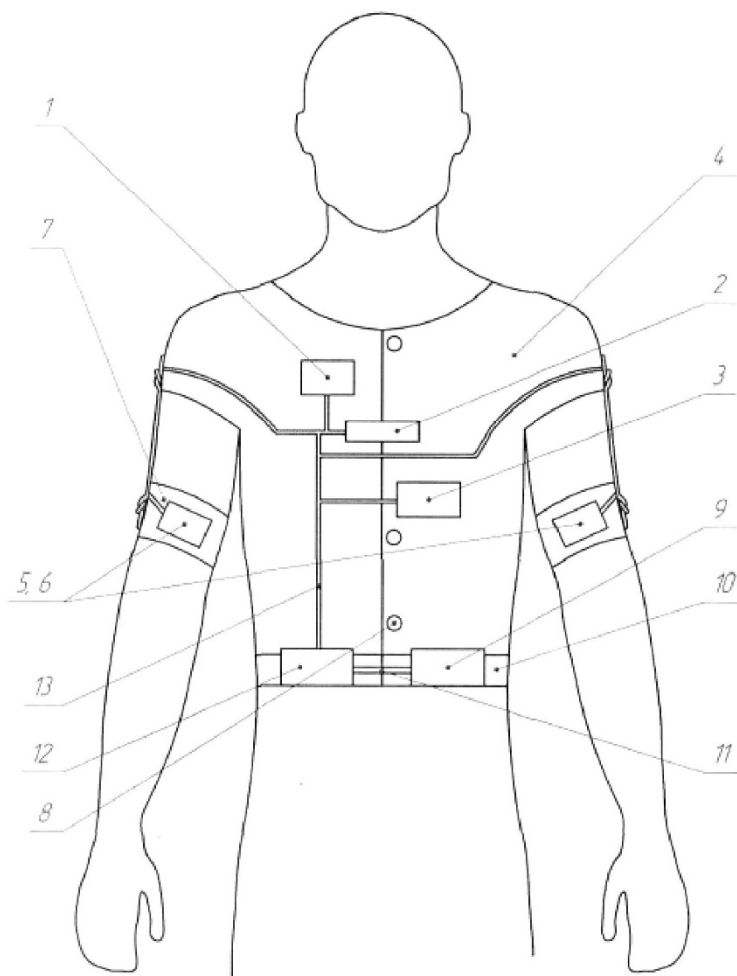
(72) Винахідник(и):
**Носов Павло Сергійович (UA),
Зінченко Сергій Миколайович (UA),
Матейчук Вадим Миколайович (UA),
Ляшенко Валерій Георгійович (UA),
Бень Андрій Павлович (UA)**
(73) Власник(и):
**ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА
АКАДЕМІЯ,
пр. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000 (UA)**

(54) АНАЛІЗАТОР ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ СУДНОВОДІЯ

(57) Реферат:

Аналізатор психоемоційного стану оператора містить датчики температури тіла та частоти пульсу, які прилягають до тіла оператора, датчики артеріального тиску, які прилягають до плечових частин рук оператора. Аналізатор виконаний у вигляді жилету із міцної тканини, який розташований на тілі оператора, манжетів, які закріплені на плечових частинах рук оператора, та поясу, на якому розміщені мікрокомпресор, блок управління та блок живлення. Датчики температури тіла та частоти пульсу розміщені у корпусах, які закріплені вакуумними присосками у гніздах на жилеті, датчики артеріального тиску також розміщені у корпусах, які закріплені вакуумними присосками у гніздах на манжетах, а також встановлені датчик частоти дихання, що прилягає до тіла людини, корпус якого закріплений вакуумною присоскою у гнізді на жилеті, датчики тремору рук, що прилягають до плечових частин рук оператора, корпуси яких закріплені вакуумними присосками у гніздах манжетів. Корпуси датчиків через канали для відкачування повітря з'єднані з мікрокомпресором для відкачування повітря і вакуумної фіксації корпусів датчиків до жилету та манжетів, датчики температури тіла, частоти пульсу, артеріального тиску, частоти дихання, тремору рук електричними та інформаційними дротами з'єднані з блоком управління для передачі даних і оброблення їх у блоці управління, відповідно до заданого алгоритму, для формування попереджувальної звукової і візуальної сигналізації при виявленні критичних показників психоемоційного стану, передачі оброблених даних на віддалений сервер для отримання управлінських рішень та корегування дій оператора.

UA 132741 U



- Корисна модель належить до технічного обладнання для визначення психоемоційного стану по фізіологічним реакціям оператора, зокрема судноводія.
- Аналізатор - це система сприймання, передавання й обробки інформації про явища у внутрішньому і зовнішньому середовищах організму.
- 5 Відомий аналізатор для використання в системі фізіологічної оцінки, що визначає психоемоційний стан оператора з датчиками частоти пульсу, температури тіла, артеріального тиску, частоти дихання, що встановлені на спеціальному жилеті та прилягають до тіла людини [див. патент США патент США N 4572197, кл. A61B 5/04, 1986].
- Недоліки даної системи полягають у тому, що:
- 10 - при аналізі психоемоційного стану не враховується тремор кінцівок рук;
 - відсутня гнучкість системи (неможливість оперативної зміни положень датчиків на тілі оператора та алгоритму обробки даних);
 - відсутній обмін даними з віддаленим сервером для коригування дій оператора відповідно до результатів діагностування.
- 15 Найбільш близькою по технічній суті до корисної моделі, що заявляється, є система управління станом оператора [патент RU 2229672 C1], яка попереджує засипання оператора та підвищує надійність його роботи, контролює стан оператора за рахунок використання голосового зв'язку, датчиків частоти пульсу, температури тіла, артеріального тиску та втрати свідомості (найближчий аналог).
- 20 Недоліки даної системи управління полягають у тому, що:
 - при аналізі психоемоційного стану не враховуються такі важливі параметри як частота дихання та тремор кінцівок рук;
 - обмежена мобільність оператора через наявність електричного та інформаційного дротового зв'язку між датчиками, що кріпляться до тіла оператора, і самою системою управління станом оператора;
- 25 - відсутня гнучкість системи (неможливість оперативної зміни положень датчиків на тілі оператора та алгоритму обробки даних);
 - відсутній обмін даними з віддаленим сервером для коригування дій оператора відповідно до результатів діагностування.
- 30 Задачею корисної моделі є:
 - отримання більш якісних даних про психоемоційний стан оператора;
 - підвищення мобільності системи діагностування;
 - підвищення гнучкості системи діагностування;
 - організація обміну з віддаленим сервером для отримання управлінських рішень для
- 35 коригування дій оператора.
- Поставлена задача вирішується тим, що аналізатор виконаний у вигляді жилету із міцної тканини, який розташований на тілі оператора, манжетів, які закріплені на плечових частинах рук оператора та поясу, на якому розміщені мікрокомпресор, блок управління та блок живлення, датчики температури тіла та частоти пульсу розміщені у корпусах, які закріплені вакуумними присосками у гніздах на жилеті, датчики артеріального тиску також розміщені у корпусах, які закріплені вакуумними присосками у гніздах на манжетах, а також встановлені датчик частоти дихання, що прилягає до тіла людини, корпус якого закріплений вакуумною присоскою у гнізді на жилеті, датчики тремору рук, що прилягають до плечових частин рук оператора, корпуси яких закріплені вакуумними присосками у гніздах манжетів, корпуси датчиків через канали для відкачування повітря з'єднані з мікрокомпресором для відкачування повітря і вакуумної фіксації корпусів датчиків до жилету та манжетів, датчики температури тіла, частоти пульсу, артеріального тиску, частоти дихання, тремору рук електричними та інформаційними дротами з'єднані з блоком управління для передачі даних і оброблення їх у блоці управління, відповідно до заданого алгоритму, для формування попереджувальної звукової і візуальної сигналізації
- 50 при виявленні критичних показників психоемоційного стану, передачі оброблених даних на віддалений сервер для отримання управлінських рішень та корегування дій оператора.
- Розкриваючи причинно-наслідкові зв'язки між сукупністю істотних ознак приладу, який заявляється, і технічним результатом, необхідно відзначити, що:
- 55 - ознака формули «...аналізатор виконаний у вигляді жилету із міцної тканини, який розташований на тілі оператора, манжетів, які закріплені на плечових частинах рук оператора та поясу, на якому розміщені мікрокомпресор, блок управління та блок живлення...» дозволяє підвищити мобільність системи діагностування;
- ознака формули «...датчики температури тіла та частоти пульсу розміщені у корпусах, які закріплені вакуумними присосками у гніздах на жилеті, датчики артеріального тиску також розміщені у корпусах, які закріплені вакуумними присосками у спеціальних гніздах на манжетах,
- 60

а також встановлені датчик частоти дихання, що прилягає до тіла людини, корпус якого закріплений вакуумною присоскою у гнізді на жилеті, датчики тремору рук, що прилягають до плечових частин рук оператора, корпуси яких закріплені вакуумними присосками у гніздах манжетів, корпуси датчиків через канали для відкачування повітря з'єднані з мікрокомпресором для відкачування повітря і вакуумної фіксації корпусів датчиків до жилету та манжетів...» дозволяє підвищити гнучкість системи діагностування у частині легкої зміни положення датчиків за рахунок використання вакуумної фіксації;

- ознака формули «...а також встановлені датчик частоти дихання, що прилягає до тіла людини, корпус якого закріплений вакуумною присоскою у гнізді на жилеті, датчики тремору рук, що прилягають до плечових частин рук оператора, корпуси яких закріплені вакуумними присосками у гніздах манжетів...» дозволяє отримати більш якісні дані про психоемоційний стан оператора за рахунок використання додаткових датчиків частоти дихання та тремору рук;

- ознака формули «...датчики температури тіла, частоти пульсу, артеріального тиску, частоти дихання, тремору рук електричними та інформаційними дротами з'єднують з блоком управління для передачі даних і оброблення їх у блоці управління відповідно до заданого алгоритму для формування попереджувальної звукової і візуальної сигналізації при виявленні критичних показників психоемоційного стану, передачі оброблених даних на віддалений сервер для отримання управлінських рішень та корегування дій оператора...» дозволяє отримати більш якісні дані про психоемоційний стан оператора за рахунок використання у блоці управління більш складного математичного апарату для обробки даних, підвищити гнучкість системи діагностування у частині використання програмного забезпечення, організувати обмін з віддаленим сервером для отримання управлінських рішень та коригування дій оператора;

На кресленні зображено аналізатор психоемоційного стану оператора. Аналізатор містить датчик температури тіла 1, датчик частоти дихання 2, датчик частоти пульсу 3, жилет 4, датчик тремору рук 5, датчик артеріального тиску 6, манжети 7, ґудзики 8, блок управління 9, пояс жилету 10, канал для відкачування повітря 11, мікрокомпресор 12, електричні та інформаційні дроти 13. Жилет 4 виконаний із міцної тканини, має ґудзики 8 для його зручного використання. Датчики 1, 2, 3, 5, 6 з'єднані електричними та інформаційними дротами 13 із блоком управління 9 що розташований на поясі жилету 10. Корпуси датчиків 1, 2, 3, 5, 6 сполучаються через канали для відкачування повітря 11 з мікрокомпресором 12.

Аналізатор працює наступним чином. На тіло людини одягається жилет 4 та застібається ґудзиками 8. Розташування ґудзиків 8 забезпечує достатню надійність функціонування без обмежень у пересуванні при виконанні функцій судноводія. Датчики 1, 2, 3 виставляються на жилеті 4 а датчики 5, 6 на манжеті 7 та прикріплюються до жилету/манжету шляхом відкачування повітря з їх корпусів. Положення манжетів 7 фіксуються пасом до плечових частин рук оператора. При увімкненні блока живлення, дані з датчиків 1, 2, 3, 5, 6 одночасно та безперервно обробляються у блоці управління 9 відповідно до заданого алгоритму та формують попереджувальну звукову і візуальну сигналізацію при виявленні критичних показників психоемоційного стану, через блок управління 9 організують обмін з віддаленим сервером для отримання управлінських рішень та корегування дій оператора.

Налаштування датчиків і виконання необхідних підключень виконує медичний працівник. Він також встановлює програму і визначає критичні показники датчиків.

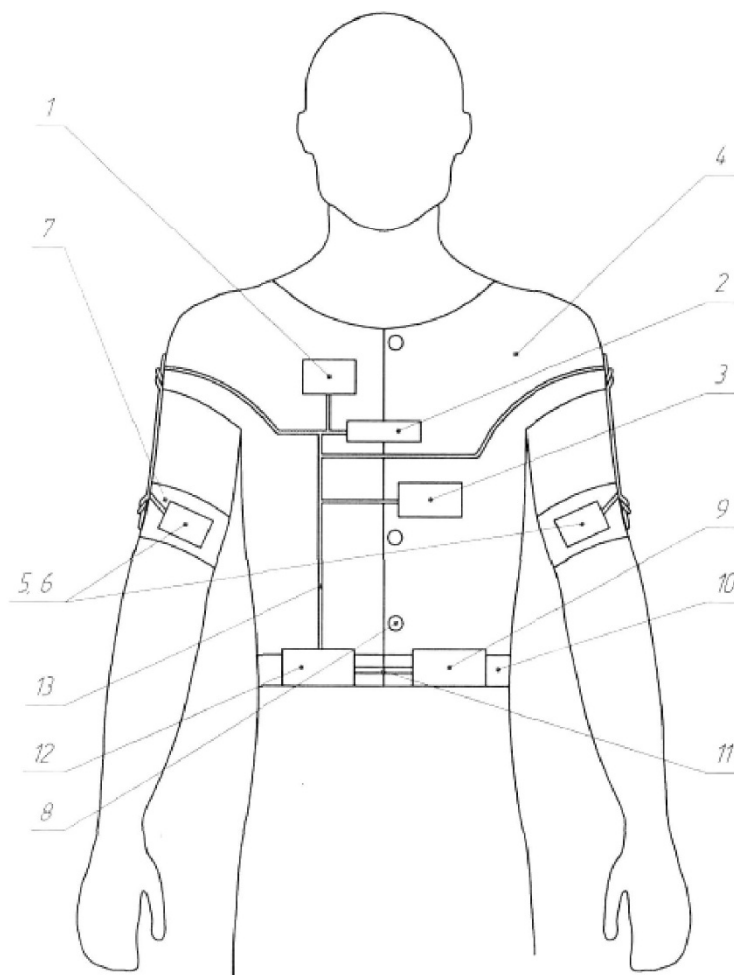
Застосування аналізатору дозволяє визначати психоемоційний стан оператора під час несення вахти, що дає змогу попередити наслідки негативного прояву людського фактору на морському транспорті.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Аналізатор психоемоційного стану оператора, що містить датчики температури тіла та частоти пульсу, які прилягають до тіла оператора, датчики артеріального тиску, які прилягають до плечових частин рук оператора, який **відрізняється** тим, що аналізатор виконаний у вигляді жилету із міцної тканини, який розташований на тілі оператора, манжетів, які закріплені на плечових частинах рук оператора, та поясу, на якому розміщені мікрокомпресор, блок управління та блок живлення, датчики температури тіла та частоти пульсу розміщені у корпусах, які закріплені вакуумними присосками у гніздах на жилеті, датчики артеріального тиску також розміщені у корпусах, які закріплені вакуумними присосками у гніздах на манжетах, а також встановлені датчик частоти дихання, що прилягає до тіла людини, корпус якого закріплений вакуумною присоскою у гнізді на жилеті, датчики тремору рук, що прилягають до плечових частин рук оператора, корпуси яких закріплені вакуумними присосками у гніздах манжетів, корпуси датчиків через канали для відкачування повітря з'єднані з мікрокомпресором

UA 132741 U

- 5 для відкачування повітря і вакуумної фіксації корпусів датчиків до жилету та манжетів, датчики температури тіла, частоти пульсу, артеріального тиску, частоти дихання, тремору рук електричними та інформаційними дротами з'єднані з блоком управління для передачі даних і оброблення їх у блоці управління, відповідно до заданого алгоритму, для формування попереджувальної звукової і візуальної сигналізації при виявленні критичних показників психоемоційного стану, передачі оброблених даних на віддалений сервер для отримання управлінських рішень та корегування дій оператора.



Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **149191** (13) **U**
 (51) МПК
G08G 3/02 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

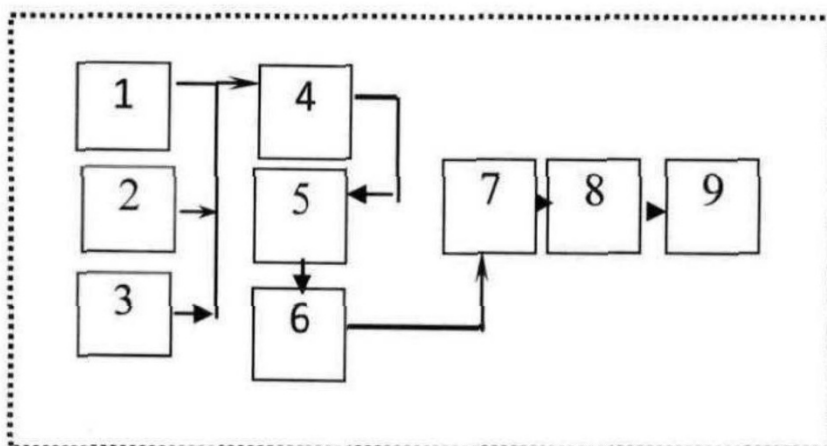
<p>(21) Номер заявки: u 2020 07925</p> <p>(22) Дата подання заявки: 11.12.2020</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 28.10.2021</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 27.10.2021, Бюл.№ 43</p>	<p>(72) Винахідник(и): Мальцев Анатолій Сидорович (UA), Сурінов Ігор Леонідович (UA), Бень Андрій Павлович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ, пр. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000 (UA)</p>
---	---

(54) ІНДИКАТОР ВІДХИЛЕННЯ ОСІ БУРА**(57) Реферат:**

Індикатор відхилення осі бура містить задатчик геодезичних координат точки буріння, задатчик допустимої похибки визначення відхилення осі бура, задатчик допустимої величини відхилення осі бура, блок постійних і перемінних даних про супутникову антену приймача, блок приймача супутникової антени в диференційному режимі, блок перерахунку координат на центр осі бура, блок розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура, блок розрахунку параметрів негативного вектора зміщення осі бура і блок розрахунку параметрів проекцій негативного вектора на опірні ланцюги. Задатчик геодезичних координат точки буріння, задатчик допустимої похибки визначення відхилення осі бура і задатчик допустимої величини відхилення осі бура з'єднані з входом блока постійних і перемінних даних про супутникову антену приймача, вихід якого з'єднано з входом блока приймача супутникової антени в диференційному режимі. Вихід блока приймача супутникової антени в диференційному режимі з'єднано з входом блока перерахунку координат на центр осі бура, вихід якого з'єднано з входом блока розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура. Вихід блока розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура з'єднано з входом блока розрахунку параметрів негативного вектора зміщення осі бура, вихід якого з'єднано з входом блока розрахунку параметрів проекцій негативного вектора на опірні ланцюги.

UA 149191 U

UA 149191 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до засобів автоматизованого динамічного позиціонування осі бура якірної платформи шляхом високоточного контролю вектора відхилення планової позиції точки буріння, визначеної геодезичними способами, виконуючи експертну оцінку поточного негативного вектора відхилення і визначення проєкцій його негативного значення на опірні якірні ланцюги та коригування довжини кожного ланцюга згідно з величиною відповідної проєкції.

Відомо технічне рішення, що містить блок даних про програмне забезпечення, які входять в систему первинної обробки, пов'язану з системою вторинної обробки, що містить електронну обчислювальну машину, зв'язану з індикатором, що має дисплей, блок графічного зображення процесу управління позиціонуванням та блок органів керування. Система первинної обробки інформації працює на підставі інформації, яка надходить з блока математичного моделювання параметрів стану системи позиціонування, який підключено до системи вторинної обробки і графічну індикацію процесу (див. Оценки безопасности функционирования буровых судов на точке: свидетельство об офиц. рег. прогр. для ЭВМ, № 2011610166. Р. Ф./ С.В. Пашенцев, А.В. Барахта, А.Ю. Юдин; правообладатель ФГОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". - №2011610166; зарег. 11.01.2011).

Недоліком зазначеної системи є те, що вона не виконує обов'язків як система підтримки прийняття рішень по позиціонуванню, оскільки вимагає розрахунку параметрів зовнішніх впливів методом математичного моделювання в процесі роботи, що дає значну затримку в виборі оптимальної структури системи коригування управлінням станом осі бура, адекватно навігаційним умовам.

В науково-технічній літературі і патентній документації не знайдено опису індикатора відхилення осі бура.

У зв'язку з наведеним, жодне з відомих технічних рішень, які стосуються процесу управління платформою в заданій точці буріння, не може бути вибрано найближчим аналогом.

В основу корисної моделі поставлена задача створити індикатор відхилення осі бура, який буде використовуватися для обробки інформації про параметри стану системи для забезпечення процесу управління платформою в заданій точці буріння шляхом оперативної експертної оцінки негативного вектора відхилення, відповідно існуючим навігаційним умовам, без визначення параметрів зовнішніх збурень та синтезу адекватного алгоритму керування якірною системою, по проєкціях негативного вектора відхилення, що містить розробку оптимального методу оперативного визначення величини зміщення осі бура, під дією зовнішніх збурень, методом експертної оцінки без розрахунку параметрів впливу і підвищення точності динамічного позиціонування.

Поставлена задача вирішується тим, що індикатор відхилення осі бура містить задатчик геодезичних координат точки буріння, задатчик допустимої похибки визначення відхилення осі бура, задатчик допустимої величини відхилення осі бура, блок постійних і перемінних даних про супутникову антенну приймача, блок приймача супутникової антени в диференційному режимі, блок перерахунку координат на центр осі бура, блок розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура, блок розрахунку параметрів негативного вектора зміщення осі бура і блок розрахунку параметрів проєкцій негативного вектора на опірні ланцюги, при цьому задатчик геодезичних координат точки буріння, задатчик допустимої похибки визначення відхилення осі бура і задатчик допустимої величини відхилення осі бура з'єднані з входом блока постійних і перемінних даних про супутникову антенну приймача, вихід якого з'єднано з входом блока приймача супутникової антени в диференційному режимі, вихід блока приймача супутникової антени в диференційному режимі з'єднано з входом блока перерахунку координат на центр осі бура, вихід якого з'єднано з входом блока розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура, вихід блока розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура з'єднано з входом блока розрахунку параметрів негативного вектора зміщення осі бура, вихід якого з'єднано з входом блока розрахунку параметрів проєкцій негативного вектора на опірні ланцюги.

Корисна модель пояснюється кресленнями, де:

Фіг. 1 - функціональна схема індикатора відхилення осі бура,

Фіг. 2 - зображення екрана індикатора відхилення осі бура,

Фіг. 3 - схема розташування системи управління віссю бура,

Фіг. 4 - схема кріплення ланцюгів на ґрунті і платформі,

Фіг. 5 - функціональна схема системи управління віссю бура.

Індикатор відхилення осі бура містить задатчик геодезичних координат точки буріння 1, задатчик допустимої похибки визначення відхилення осі бура 2, задатчик допустимої величини відхилення осі бура 3, блок постійних і перемінних даних про супутникову антенну приймача 4, блок приймача супутникової антени в диференційному режимі 5, блок перерахунку координат

UA 149191 U

на центр осі бура 6, блок розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура 7, блок розрахунку параметрів негативного вектора зміщення осі бура 8 і блок розрахунку параметрів проекцій негативного вектора на опірні ланцюги 9.

5 Задатчик геодезичних координат точки буріння 1, задатчик допустимої похибки визначення відхилення осі бура 2 і задатчик допустимої величини відхилення осі бура 3 з'єднані з входом блока постійних і перемінних даних про супутникову антену приймача 4, вихід якого з'єднано з входом блока приймача супутникової антени в диференційному режимі 5. Вихід блока приймача супутникової антени в диференційному режимі 5 з'єднано з входом блока перерахунку координат на центр осі бура 6, вихід якого з'єднано з входом блока розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура 7. Вихід блока розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура 7 з'єднано з входом блока розрахунку параметрів негативного вектора зміщення осі бура 8, вихід якого з'єднано з входом блока розрахунку параметрів проекцій негативного вектора на опірні ланцюги 9.

10 Для ілюстрації використання індикатора відхилення осі бура на кресленні (Фіг. 5) показана система управління віссю бура, яка містить індикатор відхилення осі бура, пост управління роботою якірних двигунів і пульт управління системою.

15 Пост управління роботою якірних двигунів містить блок розподілу сигналів між опорними ланцюгами 10, блок перемикання сигналів на блоки управління роботою якірних двигунів 11, контролер якірного двигуна, розташованого на північно східному напрямку відносно платформи (NE) 12, контролер якірного двигуна, розташованого на південно східному напрямку відносно платформи (SE) 13, контролер якірного двигуна, розташованого на північно західному напрямку відносно платформи (NW) 14, контролер якірного двигуна, розташованого на південно західному напрямку відносно платформи (SW) 15, якірний двигун, розташований на північно східному напрямку відносно платформи (NE) 16, якірний двигун, розташований на південно східному напрямку відносно платформи (SE) 17, якірний двигун, розташований на північно західному напрямку відносно платформи (NW) 18, якірний двигун розташований на південно західному напрямку відносно платформи (SW) 19.

20 Перелічені елементи посту управління роботою якірних двигунів з'єднані між собою в наступному порядку: блок розподілу сигналів між опорними ланцюгами 10 з'єднаний з блоком перемикання сигналів на блоки управління роботою якірних двигунів 11, вихід якого з'єднаний з входами контролера якірного двигуна, розташованого на північно східному напрямку відносно платформи (NE) 12, контролера якірного двигуна, розташованого на південно східному напрямку відносно платформи (SE) 13, контролера якірного двигуна, розташованого на північно західному напрямку відносно платформи (NW) 14 і контролера якірного двигуна, розташованого на південно західному напрямку відносно платформи (SW) 15. Вихід контролера якірного двигуна, розташованого на північно східному напрямку відносно платформи (NE) 12, з'єднано з якірним двигуном, розташованим на північно східному напрямку відносно платформи (NE) 16. Вихід контролера якірного двигуна, розташованого на південно східному напрямку відносно платформи (SE) 13, з'єднано з якірним двигуном, розташованим на південно східному напрямку відносно платформи (SE) 17. Вихід контролера якірного двигуна, розташованого на північно західному напрямку відносно платформи (NW) 14, з'єднано з якірним двигуном, розташованим на північно західному напрямку відносно платформи (NW) 18. Вихід контролера якірного двигуна, розташованого на південно західному напрямку відносно платформи (SW) 15, з'єднано з якірним двигуном, розташованим на південно західному напрямку відносно платформи (SW) 19. Якірні двигуни 16, 17, 18 і 19 з'єднані з відповідними входами пульта управління системою управління віссю бура 21.

25 Пульт управління системою управління віссю бура 21 з'єднано з електронно обчислювальною машиною 20.

На Фіг. 3 показані наступні елементи:

50 бурова платформа 22,
якірні ланцюги 23,
якір, розташований на північно східному напрямку відносно платформи 24,
якір, розташований на південно східному напрямку відносно платформи 25,
якір, розташований на південно західному напрямку відносно платформи 26,
55 якір, розташований на північно західному напрямку відносно платформи 27,
система управління віссю бура 28.

Система управління віссю бура 28, в якій використовується індикатор відхилення осі бура, працює в наступному порядку.

60 Після підготовки постійних геодезичних координат точок буріння і введення їх в: задатчик геодезичних координат точок буріння 1, в задатчик допустимої похибки визначення відхилення

осі бура 2, в задатчик допустимої величини відхилення осі бура 3 та постійних і перемінних даних в блок постійних і перемінних даних про супутникову антену приймача 4, в блок приймача супутникової антени в диференційному режимі 5 надходить сигнал для визначення поточних координат платформи, який передається в блок перерахунку координат на центр осі бура 6, а після цього - в блок розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура 7, який передає сигнал управління роботою якірних двигунів в блок розрахунку параметрів негативного вектора зміщення осі бура 8, який розподіляє сигнали на блок розрахунку параметрів проекцій негативного вектора на опірні ланцюги 9, які передаються в блок розподілу сигналів між опорними ланцюгами 10, далі в блок перемикання сигналів на блоки управління роботою якірних двигунів 11 та контролер якірного двигуна, розташованого на північно східному напрямку відносно платформи (NE) 12, для управління роботою якірного двигуна (NE) 16, в контролер (SE) 13 якірного двигуна, розташованого на південно східному напрямку відносно платформи (SE) 17, в контролер (NW) 14 якірного двигуна, розташованого на північно західному напрямку (NW) 18, в контролер (SW) 15 якірного двигуна, розташованого на південно західному напрямку (SW) 19 для компенсації відхилення.

Пульт управління системою управління віссю бура 21 дозволяє коригувати управління станом системи, включаючи візуальний контроль процесу на екрані електронно обчислювальної машини 20 і за допомогою електронно обчислювальної машини 20 отримують графічну схему руху та іншу інформацію по управлінню.

Особливість якірної системи полягає в тому, (див. Фіг. 4), що якірний ланцюг 23 займає форму математичної кривої - ланцюгової лінії, з кінцевими точками в кліззі платформи 22 і в точці дотику якірним ланцюгом 23 ґрунту.

Характерними точками і лініями системи є точки дотику якірного ланцюга до ґрунту та відстань від веретена якоря до точки дотику для кожного якоря $a_{гр}$ - мінімальна довжина якірного ланцюга, при якому веретено якоря лежить на ґрунті; H - глибина моря; $h_{к1}$, $h_{к2}$, $h_{к3}$, $h_{к4}$ - відстань по горизонталі від клізю до точки дотику для усіх ланцюгів до ґрунту.

В залежності від діючих горизонтальних сил і глибини моря H існує мінімальна довжина якірного ланцюга 23, при якій веретено якоря розташовується горизонтально, чим забезпечується максимальне використання сили якоря, яка тримає. Її значення можна розрахувати за формулою:

$$l_{\min} = \sqrt{H^2 + 2 \cdot H \cdot P_{\text{зс}} / q \cdot \mu}, \quad (1)$$

де - $P_{\text{зс}}$ сумарна дія зовнішніх сил на платформу; q - вага одного погонного метра якірного ланцюга у воді; μ - коефіцієнт втрати ваги ланцюга у воді $\mu=0,87$.

З урахуванням Фіг. 3 загальна довжина якірного ланцюга 23 від веретена до клізю l_a буде дорівнювати:

$$l_a = l_{\min} + a_{гр}, \quad (2).$$

Для полегшення роботи оператора по управлінню коригуванням відхилення бура і підвищення наочності процесу управління пульт управління 21 сполучено з електронно обчислювальною машиною 20, на екрані якої відображується відхилення осі бура від геодезичних координат точки буріння.

Планове положення осі бура буде знаходитися в центрі індикатора, з характерними колами, радіус яких буде дорівнювати наступним значенням:

радіальна середньоквадратична похибка визначення положення осі бура - M_b ; допустимий люфт відхилення осі бура M_n ; $d_{\text{доп}}$ відхилення за рахунок зовнішніх впливів, при якому буровий пристрій зберігає свою робочу здатність. При постійному контролі величини $d_{\text{доп}}$, якщо його значення досягає більше $d_{\text{доп}}$, визначають величину вектора відхилення $d_{\text{пот}}$ у відповідному масштабі екрана. Направляють його із знаком мінус та розкладають на напрямки найближчих якірних ліній, отримуючи складові - $d_{\text{потNE}}$ та, - $d_{\text{потSE}}$, як показано на Фіг. 2.

Негативний вектор відхилення - $d_{\text{пот}}$ показує напрям і величину дії сили компенсації зовнішніх збурень, а по кожному якірному пристрою визначає величину якірного ланцюга 23, який потрібно підібрати для видалення кожної складової.

Блоки вхідних даних про постійні параметри засобів управління 1-4 забезпечують визначення підвищеної точності координат осі бура та своєчасного визначення вектора відхилення без аналізу параметрів зовнішніх впливів і, як результат - отримання оптимального управління згідно з відхиленням.

Процес управління позиціонуванням може бути виконано ручним, напівавтоматичним чи автоматичним способами.

Застосування корисної моделі дозволить судноводію оперативно управляти процесом позиціонування шляхом експертної оцінки стану системи проекціями негативного вектора

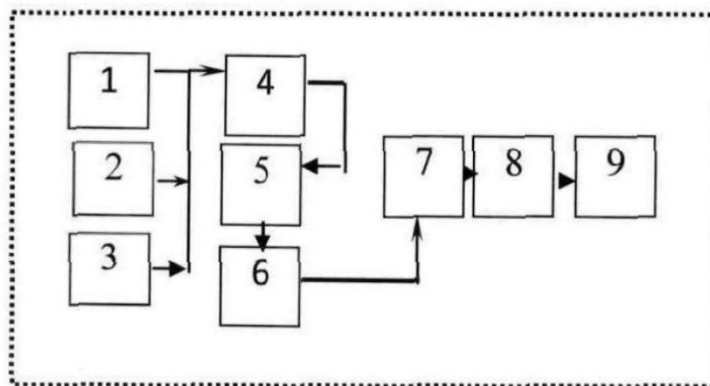
UA 149191 U

відхилення без контролю за зовнішніми впливами і дають можливість скоригувати процеси зміщення осі бура, коли виникають ситуації зміни зовнішніх збурень, і забезпечити адекватно управління станом бура по плановому положенню.

5

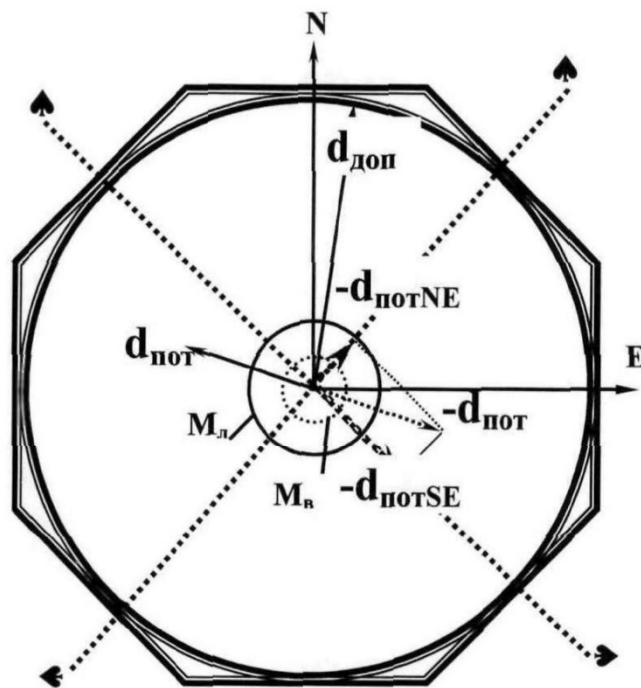
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Індикатор відхилення осі бура, що містить задатчик геодезичних координат точки буріння 1, задатчик допустимої похибки визначення відхилення осі бура 2, задатчик допустимої величини відхилення осі бура 3, блок постійних і перемінних даних про супутникову антену приймача 4, блок приймача супутникової антени в диференційному режимі 5, блок перерахунку координат на центр осі бура 6, блок розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура 7, блок розрахунку параметрів негативного вектора зміщення осі бура 8 і блок розрахунку параметрів проекцій негативного вектора на опірні ланцюги 9, при цьому задатчик геодезичних координат точки буріння 1, задатчик допустимої похибки визначення відхилення осі бура 2 і задатчик допустимої величини відхилення осі бура 3 з'єднані з входом блока постійних і перемінних даних про супутникову антену приймача 4, вихід якого з'єднано з входом блока приймача супутникової антени в диференційному режимі 5, вихід блока приймача супутникової антени в диференційному режимі 5 з'єднано з входом блока перерахунку координат на центр осі бура 6, вихід якого з'єднано з входом блока розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура 7, вихід блока розрахунку параметрів вектора зміщення осі бура 7 з'єднано з входом блока розрахунку параметрів негативного вектора зміщення осі бура 8, вихід якого з'єднано з входом блока розрахунку параметрів проекцій негативного вектора на опірні ланцюги 9.

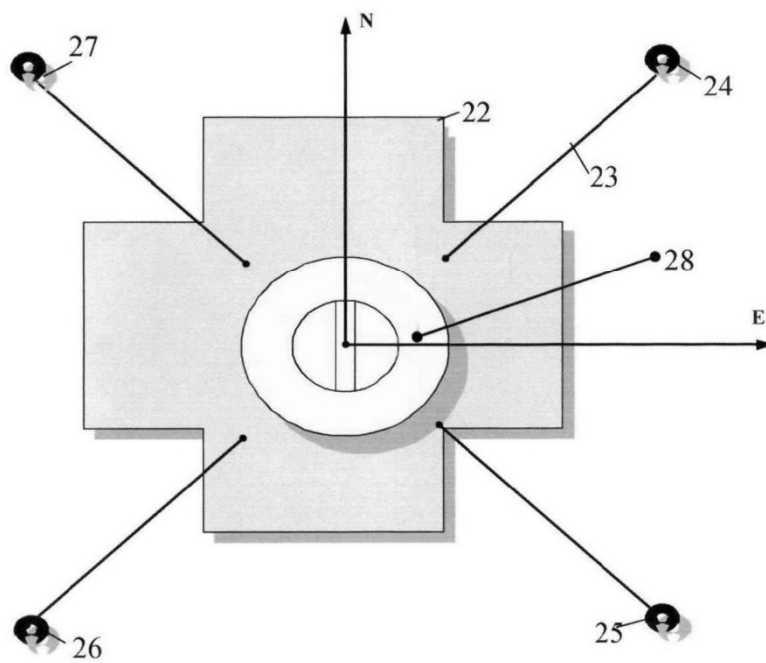


Фиг. 1

UA 149191 U

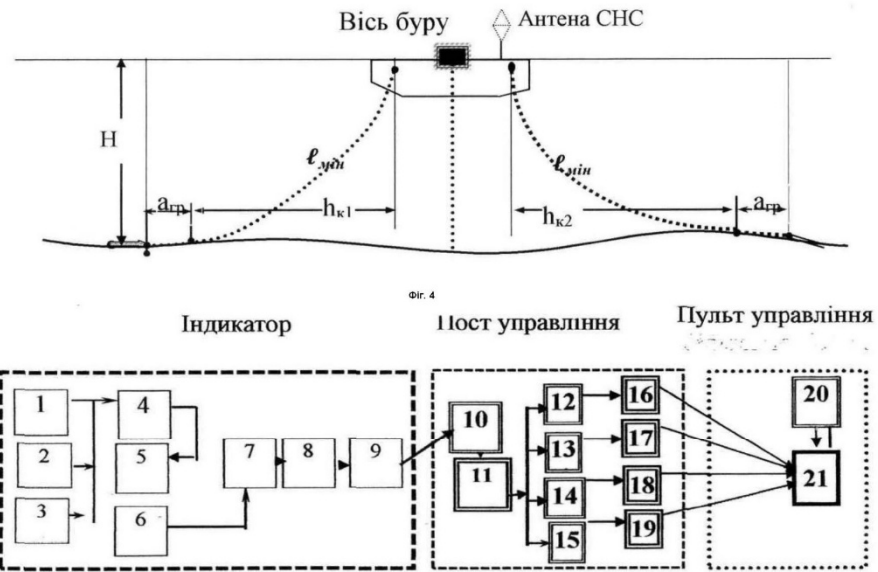


Фиг. 2



Фиг. 3

UA 149191 U



Комп'ютерна верстка М. Мацело

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 97227

(13) U

(51) МПК

G08G 3/02 (2006.01)

B63B 43/02 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2014 07280**(22) Дата подання заявки: **27.06.2014**(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.03.2015**(46) Публікація відомостей **10.03.2015, Бюл.№ 5**
про видачу патенту:

(72) Винахідник(и):

Мальцев Станіслав Едуардович (UA),
Товстокорий Олег Миколаєвич (UA),
Бень Андрій Павлович (UA)

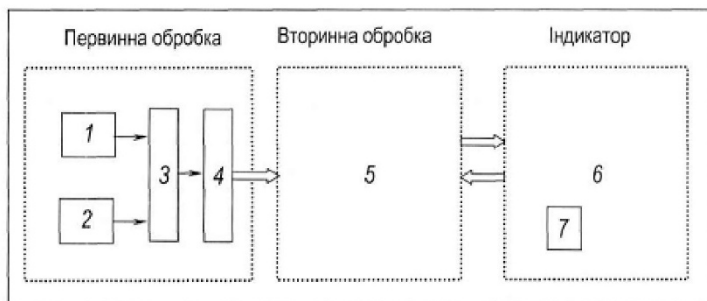
(73) Власник(и):

ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА
АКАДЕМІЯ,
пр. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000 (UA)

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

(57) Реферат:

Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном, містить блок розрахунку координат ПП, блок інформації про положення ПП, блок індикації на контурі судна, а також систему вторинної обробки, що містить електронну обчислювальну машину, зв'язану з індикатором, що має дисплей, блок графічного зображення контуру судна, блок органів керування, а також систему первинної обробки. Система первинної обробки містить блоки неперервного виміру тангенціальних швидкостей та розрахунку координат ПП, блок розрахунку точки прикладання рівнодіючої бокової сили, блок неперервної інформації про положення ПП та його візуальної індикації, який підключено до системи вторинної обробки і неперервної індикації ПП.



Фиг. 1

UA 97227 U

Корисна модель належить до пристроїв інформаційного забезпечення управління рухом судна при маневруванні і використовується як засіб неперервного автоматичного визначення положення ПП, без інформації про внутрішні і зовнішні управляючі сили, для оперативного управління рухом суден при маневруванні і використанні буксирів.

- 5 Найбільш близьким по технічній сутності є формалізована модель (Вильский Г.Б., Мальцев А.С., Бездольный В.В., Гончаров Е.И. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов / Под ред. А.С. Мальцева, Г.Б. Вильского. - Одесса-Николаев: Феникс, 2007. - 456 с. - прототип), що містить блок розрахунку координат ПП, блок інформації про положення ПП, блок індикації на контурі судна, а також систему вторинної обробки, що містить електронну обчислювальну машину, зв'язану з індикатором, що має дисплей, блок графічного зображення контуру судна, блок органів керування, а також систему первинної обробки.

- 10 Недоліком зазначеного пристрою є необхідність введення плеча і вектору кожної сили і розрахунок положення плеча рівнодіючої сили та абсциси ПП. При зміні розташування зовнішніх сил і режиму руху та перекладки руля потрібно виконувати введення нових значень сил та перерахунок указаних параметрів, що затримує процес прийняття рішення по маневруванню і виникає загроза безпеці управлінню судном.

- 15 В основу корисної моделі поставлено задачу створити пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном, в якому за рахунок конструктивних особливостей було б можливим інформаційне забезпечення маневрування в стислих умовах шляхом удосконалення системи первинної обробки та індикатора положення ПП для зниження ризиків виникнення аварійних ситуацій при проводці судна в стислих умовах при використанні буксирних суден для забезпечення безпечного маневрування.

- 20 Це досягається тим, що пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном, що містить блок розрахунку координат ПП, блок інформації про положення ПП, блок індикації на контурі судна, а також систему вторинної обробки, що містить електронну обчислювальну машину, зв'язану з індикатором, що має дисплей, блок графічного зображення контуру судна, блок органів керування, а також систему первинної обробки, система первинної обробки містить блоки неперервного виміру тангенціальних швидкостей та розрахунку координат ПП, блок розрахунку точки прикладання рівнодіючої бокової сили, блок неперервної інформації про положення ПП та його візуальної індикації, який підключено до системи вторинної обробки і неперервної індикації ПП.

- 30 На відміну від прототипу у запропонованому пристрої система первинної обробки містить блоки неперервного виміру тангенціальних швидкостей та розрахунку координат ПП блок розрахунку точки прикладання рівнодіючої бокової сили блок неперервної інформації про положення ПП та його візуальної індикації, який підключено до системи вторинної обробки і індикації ПП.

Зв'язок між сукупністю ознак корисної моделі і технічним результатом, що досягається, полягає у наступному.

- 40 Блок неперервного вимірювання тангенціальних швидкостей точок на носовому та кормовому перпендикулярах ДП забезпечує вхідні дані для розрахунку положення ПП, які виникають при маневруванні судна, яке підлягає проводці, забезпечує підвищення інформаційного забезпечення, а саме шляхом неперервного високоточного розрахунку положення ПП і як результат отримання даних для розстановки буксирів при маневруванні і використання руля і гвинта для управління.

- 45 Блок розрахунку положення ПП на корпусі при існуючому розташуванні прикладених до корпусу зовнішніх і внутрішніх сил забезпечує своєчасне визначення положення ПП і точки прикладання рівнодіючої сили.

- Блок неперервної інформації про положення ПП та його візуальної індикації забезпечує неперервне отримання даних для прийняття рішення по оптимальній розстановці буксирів при маневруванні і використання управляючих сил від руля та гвинта, для управління рухом судна.

- 50 Суть корисної моделі пояснюється кресленнями. На Фіг. 1 - блок-схема пристрою; Фіг. 2 - графічне зображення схеми способу визначення ПП і його розташування відносно центра ваги G.

- 55 Пристрій для інформаційного забезпечення проводки морського судна має систему первинної обробки, що містить блок неперервного вимірювання тангенціальних швидкостей точок 1 на носовому, та блок неперервного вимірювання тангенціальних швидкостей точок 2 на кормовому перпендикулярах, які з'єднані з блоком розрахунку координат положення ПП 3 який з'єднаний з блоком розрахунку рівнодіючої прикладених до корпусу зовнішніх і внутрішніх сил 4, які підключено до системи вторинної обробки 5. Система вторинної обробки 5 містить

електронну обчислювальну машину (далі - ЕОМ), зв'язану з індикатором, що має дисплей 6, блок органів керування 7.

Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном працює наступним чином.

- 5 При плануванні маневрування у системі первинної обробки від датчиків блоку неперервного вимірювання тангенціальних швидкостей точок 1 на носовому, та блоку неперервного вимірювання тангенціальних швидкостей точок 2 кормовому перпендикулярах дані надходять у блок розрахунку координат положення ПП 3, а з нього на блок розрахунку рівнодіючої прикладених до корпусу зовнішніх і внутрішніх сил 4. Після цього сигнал надходить на ЕОМ 5 і на дисплей 6 індикатора отримують необхідну інформацію по координатам положення ПП і точки прикладання рівнодіючої прикладених до корпусу зовнішніх і внутрішніх сил і з допомогою блоку органів керування 7 проводиться оптимальна розстановка буксирів.

- 10 Положення ПП та точки прикладання рівнодіючої поперечної сили розраховують по наступним залежностям (Фіг. 2):

$$15 \quad X_{np} = \frac{V_k - V_n}{V_k} (X_B - X_A) + X_A, \quad (1)$$

- де X_{np} - абсциса ПП з відповідним знаком + в сторону носа и - в сторону корми відносно центра ваги; V_n - тангенціальна швидкість точки ДП на носовому перпендикулярі (м/с); V_k - тангенціальна швидкість точки ДП на кормовому перпендикулярі (м/с); $X_B = -0,5 \cdot L_{\perp}$ - координата точки ДП на кормовому перпендикулярі (м); $X_A = 0,5 \cdot L_{\perp}$ - координата точки ДП на носовому перпендикулярі (м); L_{\perp} - довжина судна між перпендикулярами (м).

- 20 Координати точки прикладання рівнодіючої поперечних P_{piv} сил \bar{X}_p розраховуємо по наступним формулам [1].

При відносних координатах ПП $\bar{X}_{np} = (X_{np}/L_{\perp}) < 0,5$

$$\bar{X}_p = \frac{2}{3} \bar{X}_{np}^3 + \frac{1}{2} \bar{X}_{np} \quad (2)$$

25 При відносних координатах ПП $\bar{X}_{np} = (X_{np}/L_{\perp}) > 0,5$

$$\bar{X}_p = \bar{X}_{np}^2 + \frac{1}{12} \quad (3)$$

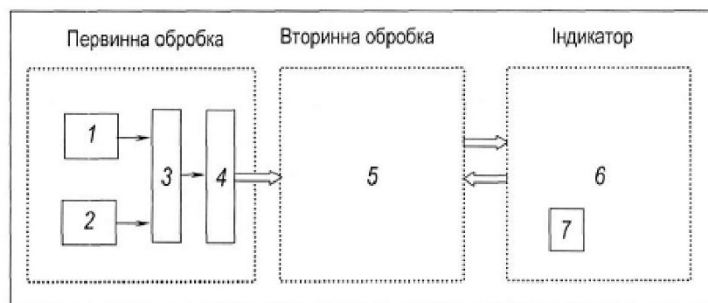
- Відстеження змін положення ПП дозволяє отримувати неперервну інформацію стосовно необхідності зміни плану маневрування без затримок, притаманних приладам, що оцінюють відхилення за показниками, що спостерігаються.

- 30 Застосування даного пристрою дозволить судноводію оперативно управляти рухом судна, шляхом контролю точки ПП, координати якої визначаються без необхідності вводити дані про режими роботи суднових та зовнішніх управляючих сил, що значно прискорює прийняття рішення по управлінню процесом маневрування і зменшує вірогідність виникнення непередбачених ситуацій.

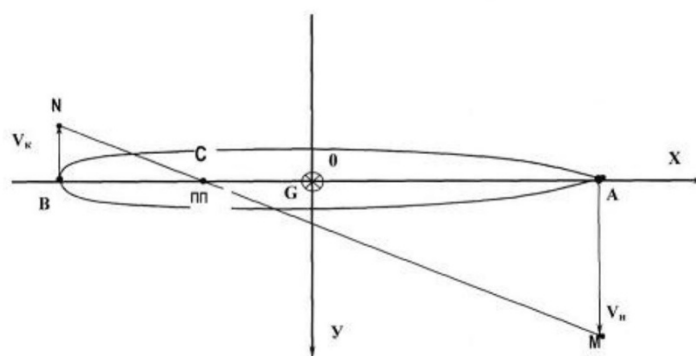
35 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном, що містить блок розрахунку координат ПП, блок інформації про положення ПП, блок індикації на контурі судна, а також систему вторинної обробки, що містить електронну обчислювальну машину, зв'язану з індикатором, що має дисплей, блок графічного зображення контуру судна, блок органів керування, а також систему первинної обробки, яка відрізняється тим, що система первинної обробки містить блоки неперервного виміру тангенціальних швидкостей та розрахунку координат ПП, блок розрахунку точки прикладання рівнодіючої бокової сили, блок неперервної інформації про положення ПП та його візуальної індикації, який підключено до системи вторинної обробки і неперервної індикації ПП.

UA 97227 U



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

(19) UA (11) 40401 (13) U
(51) МПК (2009)
G08G 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕКИ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН ЗА КУРСОВИМ КУТОМ ЛІНІЇ ВІДНОСНОГО РУХУ

1

(21) u200812021

(22) 10.10.2008

(24) 10.04.2009

(46) 10.04.2009, Бюл. № 7, 2009 р.

(72) МАЛЬЦЕВ АНАТОЛІЙ СИДОРОВИЧ, UA,
БЕНЬ АНДРІЙ ПАВЛОВИЧ, UA, НГУЕН ТХАН
ШОН, UA

(73) ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ
ІНСТИТУТ, UA

(57) Пристрій оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху, що містить датчики пеленга, дальності, курсу і швидкості, систему первинної обробки, блок визначення всіх параметрів на загальні прямокутні координати, блок перетворення полярних координат на прямокутні координати, зв'язаний з береговою радіолокацій-

2

ною станцією, а також систему вторинної обробки, що містить електронну обчислювальну машину, зв'язану з індикатором, що має дисплей, блок графічного зображення для оцінки і вирішення задачі розходження між суднами, блок органів керування, який відрізняється тим, що система первинної обробки містить блок розрахунку курсових кутів лінії відносного руху суден на підставі інформації, яка надходить з блока визначення всіх параметрів і блока перетворення полярних координат на прямокутні координати, блок оцінки змін курсових кутів ліній відносного руху суден, який підключено до системи вторинної обробки, яка містить блок розрахункових даних з вибору безпечного маневру.

Корисна модель відноситься до засобів автоматизованого керування суднами і може бути використана як засіб автоматичної радіолокаційної прокладки курсу для запобігання зіткнення суден при прямолінійному і криволінійному русі.

Найбільш близьким по технічній сутності є пристрій для запобігання зіткнення суден [декларацийний патент на винахід №62275, Україна – прототип] який містить датчики пеленга, дальності, курсу і швидкості, систему первинної обробки, яка містить блок визначення всіх параметрів на загальні прямокутні координати, зв'язаний з автоматичною ідентифікаційною системою, блок перетворення полярних координат на прямокутні координати, зв'язаний з береговою радіолокаційною станцією, блок заданого алгоритму, що визначає параметри руху суден, підключений до автоматичної ідентифікаційної системи, блок порівняння розрахованих значень з припустимими, підключений до блоків визначення всіх параметрів на загальні прямокутні координати, перетворення полярних координат на прямокутні і заданого алгоритму, а також систему вторинної обробки, що містить електронну обчислювальну машину, зв'язану з індикатором, що має дисплей, блок графічного зображення для оцінки і вирішення задачі роз-

біжності між суднами, блок графічного зображення для вибору для вибору виду маневру безпечного розходження суден, блок органів керування.

Недоліком зазначеної системи є те, що оцінка небезпеки зіткнення суден здійснюється за параметрами руху, що спостерігаються, що дає певну затримку в оцінці динаміки їх змін, і, як наслідок, затримку в прийнятті необхідних рішень з маневрування.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення пристрою оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху, шляхом порівняння його з курсовим кутом судна, у якому передбачено блок розрахунку курсових кутів лінії відносного руху суден та блок оцінки змін курсових кутів лінії відносного руху суден, що дозволяє розв'язувати задачу безпечного розходження суден і забезпечує безпеку мореплавства.

Поставлена задача досягається тим, що пристрій оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху, що містить датчики пеленга, дальності, курсу і швидкості, систему первинної обробки, блок визначення всіх параметрів на загальні прямокутні координати, блок перетворення полярних координат на прямокутні координати зв'язаний з береговою радіолокаційною

U
(13)
40401
(11)
UA
(19)

3

40401

4

станцією, а також систему вторинної обробки, що містить електронну обчислювальну машину, зв'язану з індикатором, що має дисплей, блок графічного зображення для оцінки і вирішення задачі розходження між суднами, блок органів керування, причому система первинної обробки містить блок розрахунку курсових кутів лінії відносного руху суден на підставі інформації, яка поступає з блоку визначення всіх параметрів і блоку перетворення полярних координат на прямокутні координати, блок оцінки змін курсових кутів лінії відносного руху суден, який підключено до системи вторинної обробки, яка містить блок розрахункових даних з вибору безпечного маневру.

На Фіг.1 – блок-схема пристрою оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху.

Пристрій оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху має систему первинної обробки, що містить блок визначення всіх параметрів на загальні прямокутні координати 1, зв'язаний з блоком розрахунку курсових кутів лінії відносного руху суден 2, блок перетворення полярних координат на прямокутні координати 3, зв'язаний з береговою радіолокаційною станцією 4. Блок оцінки змін курсових кутів лінії відносного руху суден 5 підключено до блоку розрахунку курсових кутів лінії відносного руху суден 2. Система вторинної обробки містить електронну обчислювальну машину 6, зв'язану з індикатором, що має дисплей 7, блок графічного зображення для оцінки і рішення задачі розходження суден 8, блок вибору маневру безпечного розходження між суднами 9, блок розрахункових даних з вибору безпечного маневру 10, блок органів керування 11.

Пристрій оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху судна працює наступним чином. У системі первинної обробки сигнали від датчиків пеленгу, дальності, курсу, швидкості надходять у блок визначення параметрів на загальні прямокутні координати 1. Сигнали (пеленги і дистанції) від берегової радіолокаційної станції 4 надходять у блок перетворення полярних координат на прямокутні координати, 3. Блок роз-

рахунку курсових кутів лінії відносного руху суден 2 отримує інформацію від блоку визначення параметрів на загальні прямокутні координати 1 та блоку перетворення полярних координат на прямокутні координати, 3. У системі вторинної обробки за допомогою електронної обчислювальної машини 6 обчислюють кути небезпечної зміни курсу судна. Для оцінки небезпечності зіткнення суден, через дисплей 7 вибирають судна, які необхідно супроводжувати. Після цього сигнал надходить на ЕОМ 6 і на індикаторі одержують необхідну інформацію з безпечного розходження з іншими судами, що висвітлюється в блоках 8, 9, 10. Контроль режиму роботи системи здійснюється за допомогою блоку органів керування 11.

Принцип дії приладу засновано на відслідковуванні характеру змін ліній відносного руху суден, зіткнення з якими необхідно уникнути (суден - цілей). Зміна курсового кута лінії відносного руху є важливим показником для оцінки небезпеки зіткнення суден, який розраховується за кількома показниками руху, що спостерігаються. Відслідковування змін курсового кута лінії відносного руху дозволяє за рахунок конструктивних особливостей приладу отримувати інформацію стосовно необхідності маневрування без затримок, притаманних приладам, що оцінюють небезпеку зіткнення за показниками, що спостерігаються.

Характер зміни лінії відносного руху залежить від трьох факторів:

- 1) Положення інших суден відносно курсу власного судна (праворуч або ліворуч);
- 2) Величини курсового кута між лінією відносного руху та діаметральною площиною власного судна ($\alpha < 90^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha > 90^\circ$);
- 3) Положення лінії відносного руху відносно власного судна (перетинає курс по носу, проходить через власне судно, перетинає курс по кормі).

Відповідно до зазначених факторів зміни лінії відносного руху, всього існує 18 типових ситуацій зближення суден, табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація ситуацій зближення суден

Судна	Курсовий кут лінії відносного руху	№№ пп.	Характеристика проходження лінії відносного руху
Праворуч	$\alpha < 90^\circ$	1	Лінія перетинає курс по носу
	$\alpha < 90^\circ$	2	Лінія проходить через нас
	$\alpha < 90^\circ$	3	Лінія перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha = 90^\circ$	4	Лінія перетинає курс по носу
	$\alpha = 90^\circ$	5	Лінія проходить через нас
	$\alpha = 90^\circ$	6	Лінія перетинає курс по кормі
	$\alpha > 90^\circ$	7	Лінія перетинає курс по носу
	$\alpha > 90^\circ$	8	Лінія проходить через нас
	$\alpha > 90^\circ$	9	Лінія перетинає лінію курсу по кормі

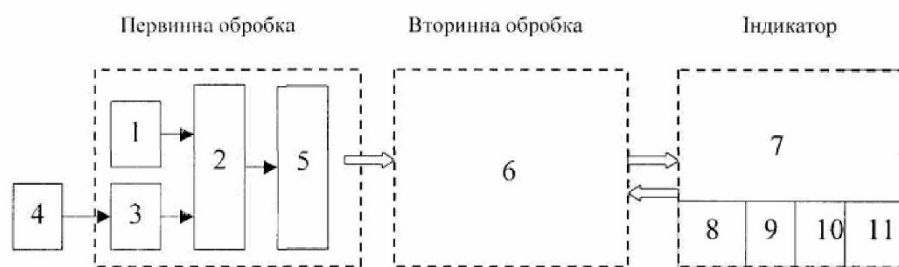
Продовження таблиці 1

Ліворуч	$\alpha < 90^\circ$	10	Лінія перетинає курс по носу
	$\alpha < 90^\circ$	11	Лінія проходить через нас
	$\alpha < 90^\circ$	12	Лінія перетинає лінію курсу по кормі
	$\alpha = 90^\circ$	13	Лінія перетинає курс по носу
	$\alpha = 90^\circ$	14	Лінія проходить через нас
	$\alpha = 90^\circ$	15	Лінія перетинає курс по кормі
	$\alpha > 90^\circ$	16	Лінія перетинає курс по носу
	$\alpha > 90^\circ$	17	Лінія проходить через нас
	$\alpha > 90^\circ$	18	Лінія перетинає лінію курсу по кормі

Метою маневру розходження суден для кожної із зазначених ситуацій є необхідність того, щоб лінія відносного руху віддалялась від судна.

Застосування пристрою оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху дозволить зменшити рівень навігаційної аварійності суден, яка обумовлена хибним керу-

ванням рухом судна при маневруванні в районах інтенсивного судноплавства, вузькостях, складних навігаційних умовах. Це дозволить - істотно знизити ризики виникнення людських жертв та техногенних катастроф, пов'язаних із забрудненням морського середовища.



Фіг.1



УКРАЇНА

(19) UA (11) 106043 (13) U

(51) МПК (2016.01)

G08G 7/00

B63B 43/00

G06Q 90/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2015 10867**
 (22) Дата подання заявки: **06.11.2015**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **11.04.2016**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **11.04.2016, Бюл.№ 7**

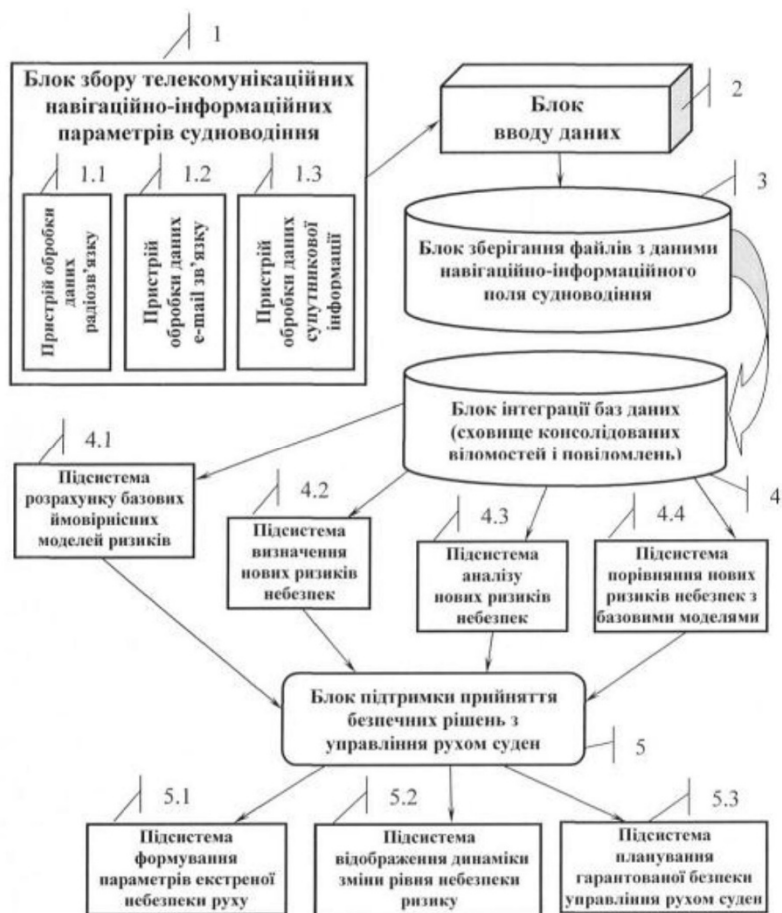
(72) Винахідник(и):
**Бень Андрій Павлович (UA),
 Вільський Геннадій Борисович (UA),
 Ходаковський Володимир Федорович (UA)**
 (73) Власник(и):
**ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА
 АКАДЕМІЯ,
 пр. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000 (UA)**

(54) СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ БЕЗПЕЧНИХ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН

(57) Реферат:

Система підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден включає блоки збору, введення, зберігання, сховища даних і підтримки прийняття рішень. Крім цього, система забезпечена п'ятьма блоками, перший з яких - збору телекомунікаційних навігаційно-інформаційних параметрів судноводіння, другий - введення даних, третій - зберігання файлів з даними навігаційно-інформаційного поля судноводіння, четвертий - інтеграції баз даних в сховище консолідованих відомостей і повідомлень і п'ятий - підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден, які взаємопов'язані між собою, при цьому інформаційний вихід блока збору телекомунікаційних навігаційно-інформаційних параметрів судноводіння, що складається з трьох пристроїв, які доповнюють один одного, з яких перший - обробки даних радіозв'язку, другий - обробки даних e-mail зв'язку, третій - обробки даних супутникової інформації, з'єднаний зі входом блока введення даних, вихід якого - вхід блока зберігання файлів з даними навігаційно-інформаційного поля судноводіння, а вихід - вхід блока інтеграції баз даних в сховище консолідованих відомостей і повідомлень, який містить чотири підсистеми, перша з яких - розрахунку базових імовірнісних моделей ризиків судна, друга - визначення нових ризиків небезпек, третя - аналізу нових ризиків небезпек і четверта - порівняння нових ризиків небезпек з базовими моделями ризиків судна, виходи яких пов'язані з входами блока підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден, який містить, в свою чергу, три підсистеми.

U
106043
UA



Корисна модель належить до морської транспортної галузі, а саме до управління безпекою судноплавства, і може бути використана на постах регулювання рухом суден.

Відома система надання інформаційно-аналітичних послуг з організації безпечного руху на водних шляхах, що містить центр керування судноплавством, забезпечений засобами радіозв'язку і засобами обробки та перетворення інформації, з'єднаних з електронно-обчислювальними машинами, та пости регулювання рухом суден, які мають засоби радіолокації та радіозв'язку між собою і з суднами [див. А.С. Баскин, Г.И. Москвин. Береговые системы управления движением судов. – М.: Транспорт, 1986. – С. 63-70 – аналог].

Ознаками, які збігаються з істотними ознаками системи, що заявляється, є наступні:

- 10 - центр керування судноплавством, забезпечений засобами радіозв'язку і засобами обробки та перетворення інформації, які мають електронно-обчислювальні машини;
- пости регулювання рухом суден, на яких установлені радіолокаційні станції і засоби радіозв'язку.

Причини, що перешкоджають одержанню необхідного технічного результату такі. Технічні засоби центру керування судноплавством не передбачають можливість прогнозування і аналізу ситуації руху, своєчасне реагувати на виникнення загроз і ризиків при наближенні і розбіжності суден.

Найбільш близькою за технічної суттю є система керування рухом суден [Пат. 5127 UA, МПК 7 G08G7/00, B63B43/00. Система керування рухом суден [Текст] / Бездольний В.В., Романов Г.С., Гончаров Є.І., Вільський Г.Б., Мальцев А.С.; заявник Державне підприємство "Дельта-лоцман". - № 20040705479; заявл. 07.07.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2. – прототип], що включає блоки збору, введення, зберігання, сховища даних і підтримки прийняття рішень, яка оптимізована для інтеграції даних з пристроїв зв'язку, створення файлів з параметрами навігаційного поля, виконання аналізу місця розташування зони безпечного руху суден. Дана система виконує функції з проведення аналізу та візуалізації даних в реальному часі, що складає потужний механізм для підтримки прийняття рішень з управління рухом суден. Ознаками, які збігаються з істотними ознаками системи, що заявляється, є наступні:

- оперативний контроль і оцінка місця розташування судна;
- рекомендації щодо виконання безпечних маневрів при розбіжності суден;
- 30 - прийом та передача даних по мережі радіо- та супутникового зв'язку.

Причини, що перешкоджають одержанню необхідного технічного результату, такі. Згадана система управління рухом суден (СУРС) не дозволяє планувати роботу містка судна, з урахуванням імовірного прогнозування небезпек і ризиків на маршруті в реальному масштабі часу.

Недоліками даної технічної системи є необхідність її адаптування під навігаційні умови, які динамічно змінюються при плаванні в обмежених водах, що є досить трудомістким процесом, оскільки параметри обстановки на водному шляху є багато специфічними та стохастичними і вимагають формування нових підходів до відпрацювання системою завдань, особливо для завдань щодо підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден.

40 Задача, на вирішення якої спрямовано заявлене технічне рішення, полягає в розробці автоматизованої системи підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден, призначеної для багатоаспектного аналізу безпеки, результати якого надходять на борт суден у вигляді інформації про небезпеки на водному шляху і може використовуватися для прийняття командних рішень на містку судна.

45 Дана задача вирішується тим, що система підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден, що включає блоки збору, введення, зберігання, сховища даних і підтримки прийняття рішень, вона забезпечена п'ятьма блоками, перший з яких - збору телекомунікаційних навігаційно-інформаційних параметрів судноводіння, другий - введення даних, третій - зберігання файлів з даними навігаційно-інформаційного поля судноводіння, 50 четвертий - інтеграції баз даних в сховище консолідованих відомостей і повідомлень і п'ятий - підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден, які взаємопов'язані між собою, при цьому інформаційний вихід блока збору телекомунікаційних навігаційно-інформаційних параметрів судноводіння, що складається з трьох пристроїв, які доповнюють один одного, з яких перший - обробки даних радіозв'язку, другий - обробки даних e-mail зв'язку, 55 третій - обробки даних супутникової інформації, з'єднаний зі входом блока введення даних, вихід якого - вхід блока зберігання файлів з даними навігаційно-інформаційного поля судноводіння, а вихід - вхід блока інтеграції баз даних в сховище консолідованих відомостей і повідомлень, який містить чотири підсистеми, перша з яких - розрахунку базових імовірнісних моделей ризиків судну, друга - визначення нових ризиків небезпек, третя - аналізу нових ризиків 60 небезпек і четверта - порівняння нових ризиків небезпек з базовими моделями ризиків судна,

виходи яких пов'язані з входами блока підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден, який містить, в свою чергу, три підсистеми, перша - формування параметрів екстреної небезпеки руху, друга - відображення динаміки зміни рівня небезпек ризиків і третя - планування гарантованої безпеки управління рухом суден.

5 Технічним результатом є створення автоматизованої системи підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, на якому зображена блок-схема системи підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден.

10 Система містить: блок збору телекомунікаційних навігаційно-інформаційних параметрів судноводіння 1, блок вводу даних 2, блок зберігання файлів з даними навігаційно-інформаційного поля 3, що являє собою сукупність баз файлів контенту судноводіння; блок інтеграції баз даних 4, що являє собою сховище консолідованих відомостей і повідомлень; блок підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден 5.

15 Блок збору телекомунікаційних навігаційно-інформаційних параметрів судноводіння 1 призначений для зберігання даних, які стосуються обстановки на маршруті слідування судна, зібраних за результатами відпрацювання обладнання е-навігації та інших технічних засобів зв'язку суден, включає три пристрої:

- пристрій обробки даних радіозв'язку 1.1. Цей пристрій являє собою електронну комп'ютеризовану компоненту для ранжування та систематизації даних, що надходять від 20 пов'язаних з ним: апаратурою глобальної берегової телексої системи NAVTEX, від якої отримують координовану передачу навігаційних попереджень, метеорологічних зведень та здійснюють автоматичний контентний прийом з безпеки на морі за допомогою вузької смугової букводрукувальної телеграфії; апаратурою цифрового вибіркового виклику для встановлення зв'язку і передачі інформації з іншою станцією або групою станцій; УКХ-апаратурою 25 двостороннього радіотелефонного зв'язку, між судном і системами управління рухом суден; апаратурою КОСПАС - САРСАТ, для випадків порятунку суден, які терплять лихо;

- пристрій обробки даних e-mail зв'язку 1.2. Цей пристрій являє собою електронне обладнання для реалізації інтернет-технологій, призначене для персоналізованого уявлення 30 суднам даних з параметрами безпечного руху із неодмінним зворотним зв'язком, метою яких є збір обов'язкової і поточної інформації з суден, що перебувають в русі та на якірних стоянках.

- пристрій обробки даних супутникової інформації 1.3, являє собою автоматизований комплекс приладів разом з електронно-обчислювальною машиною, призначений для збору 35 даних з: супутникових систем пакетної передачі в цифровому вигляді (телексої, факсимільних повідомлень, комп'ютерних); мовної супутникової радіотелефонії з використанням цифрової передачі повідомлень; диференціальних станцій глобальних навігаційних супутникових систем типу ГЛОНАС / GPS, з високоточним визначенням місця розташування суден та отриманням їх відповідної автоматичної класифікації, яка проводиться наступними способами:

- агрегативним методом, коли кожне морське повідомлення на початку аналізу представляється окремими елементами кластерів, на підставі матриці заходів подібності 40 проводиться їх групування, обчислюються центри кластерів, при цьому кожному повідомленню присвоюється свій номер для подальшого використання в автоматизованих розрахунках;

- дивізімним методом, в якому проводиться розчленування кластерів на окремі об'єкти;

- ітеративним методом, коли передбачається формування з повідомлень кластерів виходячи 45 з поставлених умов градації, які можуть бути змінені операторами системи управління рухом суден для досягнення бажаної якості потоків даних, необхідних для безпечного управління судном;

- результатами спостережень і експериментів.

Блок введення даних 2 призначений для збору кількісних і якісних показників інформаційної безпеки на водному шляху, перетворення отриманих даних в єдиний формат небезпек по 50 передумовах загроз і ризиках на шляху руху судна та їх підготовки для подальшого збереження.

Блок зберігання файлів з даними небезпек навігаційно-інформаційного поля судноводіння 3, що являє собою сукупність баз даних, отриманих за результатами обробки зібраних телекомунікаційних параметрів судноводіння, який призначений для зберігання, та подальшої 55 обробки і використання даних оперативним персоналом постів управління (регулювання) рухом суден.

Блок інтеграції баз даних, що являє собою сховище консолідованих відомостей і повідомлень 4, призначений для підготовки до проведення ідентифікації і аналізу загроз та ризиків небезпеки руху суден, включає чотири підсистеми:

60 - підсистема розрахунку базових імовірнісних моделей ризиків 4.1 призначена для побудови строгих математичних моделей інформаційної безпеки ділянок водного шляху адекватних

- динаміці зміни місця розташування судна і обстановки на маршруті, що відображають небезпеки судноводінню у вигляді імовірнісних поверхонь або стовпчастих характеристик ризиків аварійності, з метою підготовки даних для формування гарантованої безпеки управлінських рішень при маневруванні і розбіжності суден на основі змістовних моделей можливого прогнозу аварійності;
- 5 - підсистема визначення нових ризиків безпеки 4.2 - здійснює аналіз інформаційних потоків на водних шляхах, формує різну мовну і візуальну звітність за параметрами нових небезпек з консолідованих відомостей і повідомлень, які надійшли з суден. Дана звітність подається в блок підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден і
- 10 призначається для лоцманів-операторів системи і судноводіям;
- підсистема аналізу нових ризиків безпеки 4.3 - призначена для роботи з аналітичними даними, що утворилися від нових небезпечних факторів, з метою формування скоригованих параметрів для побудови нових моделей ризиків інформаційного простору після їх передачі у відповідний кластер блока банку базових моделей для подальшого використання в прийнятті
- 15 рішень з управління рухом суден;
- підсистема порівняння нових ризиків безпеки з базовими моделями 4.4 призначена для формування результатів моніторингу параметрів з сховища консолідованих відомостей і повідомлень за результатами пошуку раніше створених моделей ризиків інформаційної безпеки судна, заснованих на вирішенні завдань методами математичної статистики і імовірнісного
- 20 моделювання. Отримані результати про небезпеки, після глибокої перевірки, піддаються первісному порівняльному аналізу шляхом порівняння кількісних та якісних показників ризиків, здійснюється поверхневий пошук порушення цілісності, достовірності та конфіденційності навігаційного контенту. Усі завдання, в даній підсистемі, умовно розбиваються на чотири класи: класифікація, аналіз рангу, кластер, ієрархія. Отримані дані дозволяють описувати нові зв'язки
- 25 між властивостями, пророкувати значення одних ознак на основі інших, виявляти нетривіальні, практично корисні інтерпретації знань, необхідні для прийняття рішень на містках суден.
- Класифікація дозволяє формувати велику кількість отриманих відомостей, повідомлень та інших параметрів за спостереженням на апіорно задані групи, названі класами, всередині яких вони передбачаються схожими один на одного, мають приблизно однакові показники та ознаки.
- 30 При цьому порівняння виходить на основі аналізу ознак.
- Аналіз рангу необхідний для знаходження і встановлення найважливіших небезпечних факторів загроз, упорядкування пріоритетності наступаючих ризиків судноводінню, що вносить істотний вплив на прискорення прийняття рішень на містку судна.
- Кластер формує сукупність морських даних в непересічні групи (кластери) на основі
- 35 близькості значень їх ознак на основі: відбору вибірки морських повідомлень; визначення простору ознак; обчислення значень тієї чи іншої міри подібності між об'єктами, створення груп схожих об'єктів та перевірки достовірності результатів. В результаті схожі за заданими критеріями кластери забезпечують прискорений аналіз інформаційних потоків водних шляхів та оперативне вирішення завдань судноводіння в умовах загроз і ризиків.
- 40 Ієрархія, відповідно до критеріїв екстра і внутрішньо процесуальної значущості, забезпечує опис різних системних тенденцій і явищ у навігаційно-інформаційному полі, порівняння базових моделей ризиків з об'єктної дійсної небезпекою на водному шляху, і взаємодії з низкою інших, суміжних систем і підсистем морської безпеки, що призводить до "спільного знаменника" відомих інновацій в процесах, що відбуваються в системах управління рухом суден.
- 45 Блок підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден 5 включає три підсистеми:
- підсистему формування параметрів екстреної безпеки руху 5.1, яка виконує аналіз, вибір, відображення рівня надзвичайних ситуацій з їх мовною і візуальною демонстрацією;
- підсистему відображення динаміки зміни рівня безпеки ризиків 5.2, яка призначена для
- 50 формування оптимальних форм графічного представлення кількісних і якісних показників ризиків небезпек в управлінні рухом суден;
- підсистему планування гарантованої безпеки управління рухом суден 5.3, завдяки якій будуються процедури командних дій на початок і закінчення маневрування і розходження в умовах невизначеності небезпек при плаванні в прибережних водах за наступними напрямками:
- 55 - побудові алгоритму плану руху за маршрутом;
- формуванню плану руху суден на поточний день;
- розбиттю і деталізації плану руху на морських, підхідних каналах та в акваторіях портів;
- побудові алгоритму контролю руху суден;
- коригуванню контенту судноводіння;
- 60 - виявленню та інформуванню про неузгодженість дій;

- побудові процедур коригування планів переходів;
- відокремленню нових небезпек на маршруті і при розбіжності суден;
- виробленню та наданню рекомендацій щодо прийняття рішень на небезпечних ділянках шляху;

5 Використання запропонованої системи дозволяє підвищити ефективність надання інформаційних послуг за рахунок безперервного спостереження за прогнозованими можливими ситуаціями небезпеки руху, зближенням і розходженням суден. Здатність технічного забезпечення підсистем і блоків виявляти надмірне приближення суден до зони небезпеки, виконання фільтрації відомих загроз і ризиків на водному шляху, аналізування нових

10 небезпек з порушення навігаційно-інформаційного поля показує суттєві інноваційні переваги системи. Застосування системи покращує моніторинг судноплавства, знижує аварійність суден, гарантує безпеку життя екіпажам і суднам за рахунок передбачення небезпечних ситуацій на ділянках водного шляху.

15 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

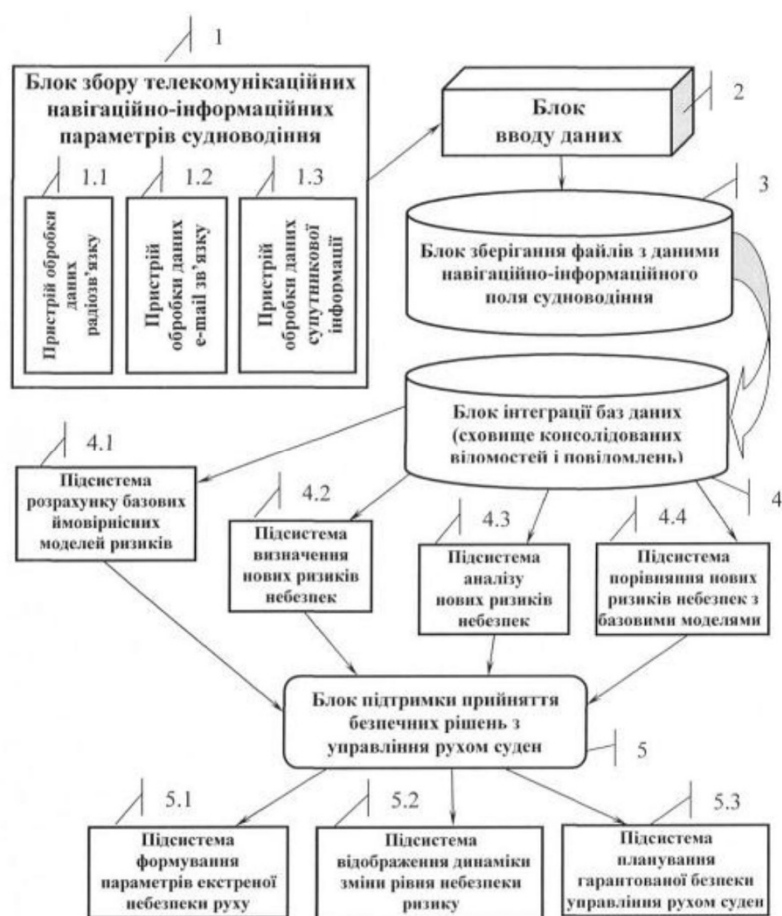
Система підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден, що включає блоки збору, введення, зберігання, сховища даних і підтримки прийняття рішень, яка **відрізняється** тим, що система забезпечена п'ятьма блоками, перший з яких - збору телекомунікаційних

20 навігаційно-інформаційних параметрів судноводіння, другий - введення даних, третій - зберігання файлів з даними навігаційно-інформаційного поля судноводіння, четвертий - інтеграції баз даних в сховище консолідованих відомостей і повідомлень, і п'ятий - підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден, які взаємопов'язані між собою, при цьому інформаційний вихід блока збору телекомунікаційних навігаційно-інформаційних

25 параметрів судноводіння, що складається з трьох пристроїв, які доповнюють один одного, з яких перший - обробки даних радіозв'язку, другий - обробки даних e-mail зв'язку, третій - обробки даних супутникової інформації, з'єднаний зі входом блока введення даних, вихід якого - вхід блока зберігання файлів з даними навігаційно-інформаційного поля судноводіння, а вихід - вхід блока інтеграції баз даних в сховище консолідованих відомостей і повідомлень, який

30 містить чотири підсистеми, перша з яких - розрахунку базових імовірнісних моделей ризиків судна, друга - визначення нових ризиків небезпек, третя - аналізу нових ризиків небезпек, і четверта - порівняння нових ризиків небезпек з базовими моделями ризиків судна, виходи яких пов'язані з входами блока підтримки прийняття безпечних рішень з управління рухом суден, який містить, в свою чергу, три підсистеми, перша - формування параметрів екстреної

35 небезпеки руху, друга - відображення динаміки зміни рівня небезпек ризиків, і третя - планування гарантованої безпеки управління рухом суден.





МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **133709** (13) **U**

(51) МПК (2019.01)

G06F 8/35 (2018.01)

G06Q 99/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2018 08851	(72) Винахідник(и):	Зінченко Сергій Миколайович (UA), Матейчук Вадим Миколайович (UA), Ляшенко Валерій Георгійович (UA), Бень Андрій Павлович (UA), Товстокорий Олег Миколайович (UA), Грошева Ольга Олексіївна (UA)
(22) Дата подання заявки:	20.08.2018	(73) Власник(и):	ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ, пр. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.04.2019		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.04.2019, Бюл.№ 8		

(54) СПОСІБ ВИКОРИСТАННЯ ТРЕНАЖЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ СУДЕН

(57) Реферат:

Спосіб використання тренажерного обладнання для розробки та тестування систем керування рухом суден полягає у виборі із бази даних моделей районів плавання, моделей власних суден, моделей оснащення суден, моделей цілей, моделей оточуючих обставин, моделей погодних умов, моделей функціонування командних приладів та виконавчих органів, моделей відмов командних приладів та виконавчих органів, створенні тренажерних вправ, призначенні вибраних власних суден на віртуальні містки, запуску тренажерних вправ, отриманні у процесі виконання тренажерних вправ візуальної та слухової інформації про рух судна та оточуючі обставини з каналів візуалізації та візуальної і слухової інформації з моделей командних приладів. У локальну обчислювальну мережу тренажера додатково вводять один або кілька персональних комп'ютерів з модулями системи керування рухом судна. Дані з моделей командних приладів по локальній обчислювальній мережі подають у модулі системи керування рухом судна безпосередньо у цифровому вигляді та обробляють там відповідно до алгоритму вирішення функціонального завдання для визначення управляючих сигналів, які далі передають у цифровому вигляді по локальній обчислювальній мережі на виконавчі органи моделі власного судна для врахування їх впливу на рух судна.

UA 133709 U

Корисна модель належить до області розробки та тестування систем керування рухом суден з використанням інформаційних систем моделювання.

Відомий спосіб функціонального тестування (див., наприклад Півень А.А., Скорин Ю.И. Тестування програмного забезпечення // Системи обробки інформації, 2012, випуск 4(102), том 1), до якого можна віднести числове моделювання систем керування у замкнутій схемі з об'єктом керування, який дозволяє, по результатах проведеного моделювання, провести налаштування систем керування для забезпечення необхідної стійкості, перехідних характеристик та заданої точності керування.

Даний спосіб використовує об'єкт керування, командні прилади та виконавчі органи не як об'єктно-орієнтовані моделі, а як систему диференціальних рівнянь; не візуалізує об'єкт керування, командні прилади та виконавчі органи, ефективність керування оцінюється виключно аналізом числових даних; не дозволяє контролювати наскрізну полярність систем керування через відсутність реального об'єкта керування, командних приладів та виконавчих органів або їх об'єктно-орієнтованих моделей.

Відомий також спосіб системного тестування програмного забезпечення (див., наприклад Півень А.А., Скорин Ю.И. Тестування програмного забезпечення // Системи обробки інформації, 2012, випуск 4(102), том 1) з використанням повної інтегрованої системи (реального об'єкту керування). Недоліком такого способу є висока вартість та підвищений ризик пошкодження або втрати об'єкта керування.

Найближчим аналогом є спосіб використання тренажерного обладнання для тестування навиків управління судном. (див. Navi-Trainer Professional 5000, в.5.35, Навігаційний місток, Transas MIP LTD, жовтень 2014 р., 542 ст.).

Даний спосіб полягає у виборі моделей районів плавання, моделей власних суден, моделей оснащення суден, моделей цілей, моделей оточуючих обставин, моделей погодних умов, моделей функціонування командних приладів та виконавчих органів, моделей відмов командних приладів та виконавчих органів, створенні тренажерних вправ для відпрацювання навиків ручного управління, призначенні вибраних власних суден на віртуальні містки, виконанні тренажерних вправ, отриманні у процесі виконання тренажерних вправ візуальної та слухової інформації про рух судна та оточуючі обставини з каналів візуалізації та візуальної і слухової інформації з командних приладів, використанні отриманих візуальних та слухових даних для прийняття рішення оператором, реалізації ручного управління - ручного переміщення телеграфу для зміни швидкості судна та керма для зміни курсу судна, або використанні автопілота для автоматизованої підтримки заданого курсу або траєкторії руху.

У відомому способі:

- тренажерне обладнання використовують лише для відпрацювання навиків ручного управління моделями власних суден (або автоматизованого з автопілотом) для різних моделей району плавання, моделей власних суден, моделей оснащення суден, моделей цілей, моделей оточуючих обставин, моделей погодних умов, моделей функціонування командних приладів та виконавчих органів, моделей відмов командних приладів та виконавчих органів.

Задачею корисної моделі є створення способу, який дозволяє би отримати нові можливості - використовувати наявне тренажерне обладнання також для розробки та тестування систем керування рухом суден.

Поставлена задача вирішується у способі використання тренажерного обладнання для розробки та тестування систем керування рухом суден, що полягає у виборі із бази даних моделей районів плавання, моделей власних суден, моделей оснащення суден, моделей цілей, моделей оточуючих обставин, моделей погодних умов, моделей функціонування командних приладів та виконавчих органів, моделей відмов командних приладів та виконавчих органів, створенні тренажерних вправ, призначенні вибраних власних суден на віртуальні містки, запуску тренажерних вправ, отриманні у процесі виконання тренажерних вправ візуальної та слухової інформації про рух судна та оточуючі обставини з каналів візуалізації та візуальної і слухової інформації з моделей командних приладів, у локальну обчислювальну мережу тренажера додатково вводять один або кілька персональних комп'ютерів з модулями системи керування рухом судна, дані з моделей командних приладів по локальній обчислювальній мережі подають у модулі системи керування рухом судна безпосередньо у цифровому вигляді та обробляють там відповідно до алгоритму вирішення функціонального завдання з метою визначення управляючих сигналів, які далі передають у цифровому вигляді по локальній обчислювальній мережі на виконавчі органи моделі власного судна для врахування їх впливу на рух судна. Розкриваючи причинно-наслідкові зв'язки між сукупністю істотних ознак способу, який заявляється, і технічним результатом необхідно відзначити, що: ознака формули "...у локальну обчислювальну мережу тренажера додатково вводять один або кілька персональних

комп'ютерів з модулями системи керування рухом судна, дані з моделей командних приладів по локальній обчислювальній мережі подають у модулі системи керування рухом судна безпосередньо у цифровому вигляді та обробляють там відповідно до алгоритму вирішення функціонального завдання з метою визначення управляючих сигналів, які далі передають у

5 тренажерного обладнання також для розробки та тестування систем керування рухом суден.

Спосіб здійснюється за допомогою схеми управління, наведеної на кресленні. Наявне тренажерне обладнання зображене над локальною обчислювальною мережею (ЛОМ) і включає

10 моделі командних приладів: ПК1 - модель електронної картографічної навігаційної інформаційної системи (ЕКНІС), ПК2 - модель радіолокатора та засобів автоматизованої радіолокаційної прокладки (РЛС/ЗАРП), ПК3 - модель вимірювача лінійної швидкості (ЛАГа), ПК4 - модель гірокомпаса, ПК5 - модель Coning, ПК6 - робоче місце Інструктора, ПК7, 8, 9, 10, 11 - моделі каналів візуалізації, ПК12, 13 - моделі динаміки. Під ЛОМ зображене додаткове

15 обладнання ПК14, 15, 16 з модулями системи керування рухом судна, що, відповідно до даної заявки на корисну модель, використовується для автоматичного управління рухом судна. Усі ПК об'єднані між собою ЛОМ для обміну інформацією.

Система функціонує наступним чином:

З робочого місця Інструктора ПК6 вибирають модель району плавання, моделі власних

20 суден, моделі оснащення суден, моделі цілей, моделі оточуючих обставин, моделі погодних умов, моделі функціонування командних приладів та виконавчих органів, моделі відмов командних приладів та виконавчих органів, створюють тренажерну вправу, вибрані власні судна призначають на віртуальні містки, запускають тренажерну вправу, у моделях динаміки ПК12, 13 моделюють рух власних суден, цілей, оточуючих обставин, погодних умов, результати моделювання через ЛОМ подають у канали візуалізації ПК7, 8, 9, 10, 11 для відображення на

25 екрані та у моделі командних приладів ПК1, 2, 3, 4, 5 для моделювання роботи ЕКНІС, РЛС/ЗАРП, ЛАГа, Гірокомпаса, Coning'a та відображення даних моделювання на своїх дисплеях, одночасно, дані з моделей командних приладів ПК1, 2, 3, 4, 5 по локальній обчислювальній мережі подають у модулі системи керування рухом судна ПК14, 15, 16

30 безпосередньо у цифровому вигляді та обробляють там відповідно до алгоритму вирішення функціонального завдання для визначення управляючих сигналів на виконавчі органи, які далі передають у цифровому вигляді по ЛОМ на моделі динаміки ПК12, 13 для врахування їх впливу на рух судна.

Використання даного способу дозволяє розробляти та відпрацьовувати системи керування

35 рухом суден, призначених для вирішення різноманітних функціональних задач, для різних районів плавання, моделей власних суден, моделей оснащення суден, моделей цілей, моделей оточуючих обставин, моделей погодних умов, моделей функціонування командних приладів та виконавчих органів, моделей відмов командних приладів та виконавчих органів.

40 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

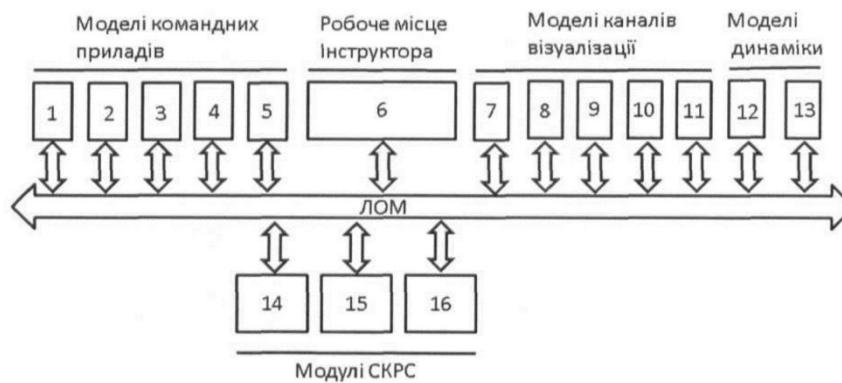
Спосіб використання тренажерного обладнання для розробки та тестування систем керування рухом суден, що полягає у виборі із бази даних моделей районів плавання, моделей власних суден, моделей оснащення суден, моделей цілей, моделей оточуючих обставин, моделей

45 погодних умов, моделей функціонування командних приладів та виконавчих органів, моделей відмов командних приладів та виконавчих органів, створенні тренажерних вправ, призначенні вибраних власних суден на віртуальні містки, запуску тренажерних вправ, отриманні у процесі виконання тренажерних вправ візуальної та слухової інформації про рух судна та оточуючі обставини з каналів візуалізації та візуальної і слухової інформації з моделей командних

50 приладів, який відрізняється тим, що у локальну обчислювальну мережу тренажера додатково вводять один або кілька персональних комп'ютерів з модулями системи керування рухом судна, а дані з моделей командних приладів по локальній обчислювальній мережі подають у модулі системи керування рухом судна безпосередньо у цифровому вигляді та обробляють там

55 відповідно до алгоритму вирішення функціонального завдання для визначення управляючих сигналів, які далі передають у цифровому вигляді по локальній обчислювальній мережі на виконавчі органи моделі власного судна для врахування їх впливу на рух судна.

UA 133709 U



Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **100293** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
G08G 3/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2014 12711	(72) Винахідник(и): Товстокорий Олег Миколаєвич (UA), Мальцев Станіслав Едуардович (UA), Бень Андрій Павлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 26.11.2014	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.07.2015	(73) Власник(и): ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ, пр. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.07.2015, Бюл.№ 14	

(54) СПОСІБ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАНЕВРУВАННЯ МОРСЬКОГО СУДНА

(57) Реферат:

Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна, при якому розраховують координати полюса повороту, визначають положення точки прикладання рівнодіючої бокових сил та показують положення полюса повороту і точки прикладання бокових сил на контурі судна. Розраховують координати полюса повороту шляхом вимірювання тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах.

UA 100293 U

Корисна модель належить до способів інформаційного забезпечення управління рухом судна при маневруванні і використовується для визначення положення полюса повороту, без інформації про внутрішні і зовнішні управляючі сили, для оперативного управління рухом суден при маневруванні і використанні буксирів.

5 Найближчим аналогом є формалізована модель (Вильский Г.Б., Мальцев А.С., Бездольный В.В., Гончаров Е.И. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов/Под ред. А.С. Мальцева, Г.Б. Вильского. - Одесса-Николаев: Феникс, 2007. - 456 с. - найближчий аналог), в якій розраховують координати полюса повороту, визначають положення точки прикладання рівнодіючої бокових сил та показують положення полюса повороту і точки прикладання бокових сил на контурі судна шляхом розрахунку на базі виміру бокових сил та визначення точок їх прикладання.

Недоліком зазначеного способу є необхідність введення плеча і вектора кожної сили і розрахунку положення плеча рівнодіючої сили та абсциси полюса повороту. При зміні розташування зовнішніх сил і режиму руху та перекладки руля потрібно виконувати введення нових значень сил та перерахунок указаних параметрів, що затримує процес прийняття рішення по маневруванню і виникає загроза безпеці управлінню судном.

15 В основу корисної моделі поставлено задачу створити спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна, в якому за рахунок технологічних особливостей було б можливим інформаційне забезпечення маневрування в стислих умовах, зниження ризиків виникнення аварійних ситуацій при проводці судна при використанні буксирних суден для забезпечення безпечного маневрування.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі інформаційного забезпечення маневрування морського судна, при якому розраховують координати полюса повороту, визначають положення точки прикладання рівнодіючої бокових сил та показують положення полюса повороту і точки прикладання бокових сил на контурі судна, згідно з корисною моделлю, розраховують координати полюса повороту шляхом вимірювання тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах.

25 На відміну від найближчого аналога у запропонованому способі розраховують координати полюса повороту шляхом вимірювання тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах, що дозволяє отримати інформаційне забезпечення маневрування в стислих умовах, знизити ризики виникнення аварійних ситуацій при проводці судна при використанні буксирних суден для забезпечення безпечного маневрування.

30 Вимірювання тангенціальних швидкостей точок на носовому та кормовому перпендикулярах діаметральної площини забезпечує вхідні дані для розрахунку положення полюсу повороту, які виникають при маневруванні судна, яке підлягає проводці, забезпечує підвищення інформаційного забезпечення, а саме шляхом високоточного розрахунку положення полюса повороту і як результат отримання даних для розстановки буксирів при маневруванні і використання руля і гвинта для управління.

40 Запропонований розрахунок положення полюсу повороту на корпусі при існуючому розташуванні прикладених до корпусу зовнішніх і внутрішніх сил забезпечує своєчасне визначення положення полюсу повороту і точки прикладання рівнодіючої бокових сил.

Подача інформації про положення полюса повороту та його візуальної індикації забезпечує отримання даних для прийняття рішення по оптимальній розстановці буксирів при маневруванні і використанні управляючих сил від руля та гвинта для управління рухом судна.

45 Суть корисної моделі пояснюється кресленням - графічне зображення схеми способу визначення полюса повороту і його розташування відносно центра ваги G.

Спосіб інформаційного забезпечення маневрування морського судна здійснюють шляхом вимірювання GPS приймачем швидкостей та напрямків руху точки А на носовому та точки В на кормовому перпендикулярах, розраховують тангенціальні швидкості в точках А та В. Після цього розраховують координати положення полюса повороту та координати положення рівнодіючої прикладених до корпусу зовнішніх і внутрішніх сил. Після розрахунку дані про положення полюса повороту та точки прикладання рівнодіючої сили подаються на індикатор з дисплеєм.

Положення полюса повороту та точки прикладання рівнодіючої поперечної сили розраховують по наступним залежностям:

$$55 \quad X_{пп} = \frac{V_k}{V_k - V_n} (X_B - X_A) + X_A, \quad (1),$$

де $X_{пп}$ - абсциса полюса повороту з відповідним знаком + в сторону носа і - в сторону корми відносно центра ваги; V_n - тангенціальна швидкість точки діаметральної площини на

