

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЛЕВЧЕНКО ОЛЬГА ВІКТОРІВНА

УДК 656.6.052.45

ДИСЕРТАЦІЯ
МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ГІБРИДНОГО
РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ ПОШУКУ НАДВОДНИХ ТА ПІДВОДНИХ
ОБ'ЄКТІВ

Спеціальність: 271 Морський та внутрішній водний транспорт

Галузь знань: 27 Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

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

О.В. Левченко

Науковий керівник: Мельник Ольга Володимирівна
кандидат технічних наук, доцент

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Левченко О.В. Моделі та методи управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 271 – річковий та морський транспорт. – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2024.

У дисертаційній роботі вирішене актуальне наукове завдання з розробки моделей та методів управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів.

Важливим напрямком сучасної науки та технологій є просторовий пошук об'єктів. Дане завдання виникає, коли необхідно визначити місцезнаходження певного об'єкта, що розміщений в деякій області фізичного простору за допомогою пошукових продуктів. При вирішенні завдання пошуку вирішується два завдання управління пошуковими операціями:

- завдання оптимального розподілу пошукових ресурсів у зоні інтересу (завдання призначення);
- завдання оптимізації маршрутів пошуку (завдання маршрутизації).

Сучасні способи організації пошуку потребують автоматизації та інтелектуалізації процесів управління пошуковими операціями. Тому перспективним напрямком організації процесів пошуку об'єктів є групове застосування інтелектуальної робототехніки. Технології робототехніки, на даному етапі дозволяють створювати роботів з високим рівнем автономності, що зумовлює їх використання при вирішенні різномірних завдань на морі. На сучасному етапі розвитку морської робототехніки одним з активно розроблюваних напрямків є створення гібридних роботизованих комплексів. Даний підхід дозволяє сумісне використання груп різномірних автономних

роботів. Це забезпечить розширення функціональності та підвищити ефективність виконання робіт на морі. Завдання групового застосування роботів на поточному етапі потребує розробки моделей та методів організації та управління гібридними роботизованими комплексами. У світовій практиці цей прикладний напрямок робототехніки отримав назву колективні когнітивні апарати-роботи. Аналіз сучасних методів групового застосування роботизованих систем показує, що більшість робіт із їх застосуванням – це проведення пошукових надводних та підводних об'єктів.

Багато існуючих рішень для вирішення пошукових завдань, заснованих на використанні гібридних роботизованих комплексів, або не розглядають складання оптимального плану пошукової операції, або розглядають лише часткові задачі. При цьому часто не враховується і не оптимізується маршрут руху, пройдений кожним апаратом до нового району пошуку та синхронізація між роботизованими системами на кожному етапі пошуку.

Останнім часом розглядаються два основні напрямки автоматизації групового використання гібридних роботизованих комплексів. Перший напрямок пов'язаний з удосконаленням індивідуальних характеристик окремої роботизованої системи як «агента» групи. А другий напрямок стосується безпосереднього управління груповим застосуванням різнорідних роботів.

Ключовими завданнями організації виконання місій групою роботизованих систем є досягнення заданих оперативності й ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів при забезпеченні безпеки в умовах групового переходу або власне виконання завдань. Для вирішення даного завдання необхідна розробка моделей та методів автоматичного управління групою автономних роботизованих комплексів.

Огляд відомих методів підтримки прийняття рішень у завданнях управління для інших предметних областей показав, що існує ряд недостатньо опрацьованих питань розпізнавання навігаційних ситуацій в зоні інтересу при виконанні пошукової операції та синтезу варіантів рішень для формування маршруту руху гібридного роботизованого комплексу між районами пошуку.

Отже, існує об'єктивна невідповідність, обумовлена необхідністю оперативного й обґрунтованого прийняття рішення в процесі виконання пошукової операції, з одного боку, та недостатньо розробленими методами управління гібридним роботизованим комплексом в умовах невизначеності, з іншого. Тому *наукове завдання* з розробки моделей та методів управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів є *актуальним* і дозволить вирішити виниклу проблемну ситуацію.

Вказана постановка завдання є обов'язковою складовою дослідження процесів автоматичного управління групами роботизованих комплексів, груповою поведінкою автономних роботів та глобальної навігації безпілотних літальних апаратів, безекіпажних суден та автономних ненаселених підводних апаратів. Проте, управління рухом гібридного роботизованого комплексу при пошуку надводних та підводних об'єктів є незакінченим питанням, що й обумовлює *актуальність дисертаційного дослідження*.

Метою дослідження є підвищення оперативності та обґрунтованості рішень щодо управління рухом гібридного роботизованого комплексу у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів.

Поставлена мета досягається вирішенням таких часткових завдань:

1. Аналіз методів формалізації і підходів щодо прийняття рішень і реалізації управлінських впливів у процесі пошукової операції надводних та підводних об'єктів.

2. Розробка методу управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом.

3. Розробка моделі комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різнорідних джерел інформації.

4. Розробка методу формалізації процесу комплексування інформації в процесі моніторингу навігаційної обстановки в системі е-навігації.

5. Метод формалізації процесу оцінки та прогнозування навігаційної обстановки в системі e-Navigation.

6. Оцінка ефективності розроблених методів.

За об'єкт дослідження розглядаються процеси аналізу обстановки та підтримки прийняття рішень при пошуку надводних та підводних об'єктів.

Предметом дослідження є моделі та методи управління роботизованими комплексами при виконанні робіт на морі.

Поставлені у дисертаційній роботі завдання вирішені із використанням таких методів дослідження:

- системний аналіз – для аналізу процесів формалізації і прийняття рішень та реалізації управлінських дій у ході проведення пошукової операції надводних та підводних об'єктів;
- методи класичної теорії автоматичного управління – для синтезу системи автоматичного керування;
- методи нечіткої логіки – для синтезу правил управління рухом ГРК;
- методи наукової класифікації – для класифікації методів групового застосування роботизованих систем при виконанні ними спільної пошукової місії;
- теорія матриць – для математичного моделювання процесів функціонування окремих елементів запропонованої системи управління;
- методи комп'ютерного моделювання – для оцінки результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів дисертації полягає в такому:

1. *Вперше розроблено* метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом, який відрізняється формалізацією процесів планування маршруту його руху сплайн-траєкторіями із синхронним поданням інформації, прогнозуванням навігаційної обстановки та вибором стратегії запобігання небезпечних ситуації за рахунок поєднання інтелектуальних та численних методів, що дозволило підвищити ефективність пошуку надводних та підводних об'єктів.

2. *Одержала подальший розвиток* модель комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різномірних джерел інформації, яка, на відміну від відомих, базується на обробці числових рядів значень параметрів спостереження, що надходять від джерел різної фізичної

природи, для створення інформаційного простору в системі е-Навігації, що дозволяє підвищити оперативність та обґрунтованість управління рухом гібридного роботизованого комплексу у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів.

3. *Удосконалено* метод формалізації активності об'єкта моніторингу з використанням нечітких часових рядів у системі моніторингу надводної та підводної обстановки, в якому, на відміну від відомих, тенденції активності об'єкта спостереження за певний інтервал часу визначаються шляхом комплексної обробки інтервальної якісної оцінки значень числового ряду параметрів, що надходять від різномірних джерел інформації, що дозволяють усунути похибки та невизначеність, наявні у процесі моніторингу, й описати різні стани активності, за характеристиками яких виконується класифікація об'єкта моніторингу.

4. *Удосконалено* метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху гібридного роботизованого комплексу, який, на відміну від відомих, базується на адаптивній нечіткій ситуаційній мережі, яка враховує параметри навігаційної ситуації, прогноз її розвитку та рівень комплексної безпеки руху судна в єдиній концепції e-Navigation, що дозволяє підвищити безпеку судноплавства.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується грамотною постановкою наукового завдання дослідження, правильним використанням методів системного аналізу, класичної теорії автоматичного управління, нечіткої логіки, наукової класифікації, комп'ютерного моделювання і математичного апарату теорії матриць на етапах моделювання й аналізу результатів досліджень, збігом отриманих результатів з відомими експериментальними даними у даній області наукових знань, відкритим обговоренням результатів на наукових семінарах і конференціях і їх публікацією у рекомендованих наукових виданнях.

Наукове значення роботи полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ побудови та застосування систем управління гібридними

роботизованими комплексами в процесі виконання пошукової операції.

Практичне значення отриманих результатів полягає у подальшому удосконаленні елементів спеціального математичного та програмного забезпечення систем автоматизованого управління гібридними роботизованими комплексами на базі розроблених моделей і методів, що дозволяють підвищити оперативність та обґрунтованість прийняття рішень у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів.

Запропоновані теоретичні методи мають високий ступінь готовності до використання і доведені до їх практичної реалізації. Застосування розроблених методів дозволяє підвищити своєчасність вироблення рішень порівняно з неавтоматизованим способом – в $1,5 \div 2,4$ рази, порівняно з частковою автоматизацією управління, – в $1,15 \div 1,55$ рази. Збільшення кількості чинників, урахованих й оброблених за допомогою запропонованих методів у порівнянні з відомими, дозволяють за наявний час збільшити коефіцієнт повноти врахування чинників на $14 \div 32\%$. Коректний опис предметної області великою кількістю значущих чинників водночас дозволив підвищити обґрунтованість отриманих рішень.

Реалізація запропонованого в дисертаційній роботі підходу щодо управління рухом гібридного роботизованого комплексу дозволяє:

- планувати маршрут руху гібридного роботизованого комплексу в процесі підготовки до проведення пошукової операції;
- проводити оцінку безпеки проведення пошукової операції в районі інтенсивного судноплавства;
- виконувати комплексування даних від різномірних джерел інформації, отриманих в системі e-Navigation.

Основні результати досліджень, отримані в дисертації, доцільно використовувати при розробці технологій управління гібридними роботизованими комплексами й елементів спеціального математичного та програмного забезпечення автоматизованих систем управління гібридними роботизованими комплексами у процесі пошуку надводних та підводних

об'єктів; у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків удосконалення технологій автоматизованого управління гібридними роботизованими комплексами; у вищих навчальних закладах – для вдосконалення системи підготовки фахівців зі спеціальності морський та внутрішній водний транспорт.

Результати дисертаційного дослідження будуть корисними при удосконаленні існуючого та розробці перспективного спеціального математичного та програмного забезпечення автоматизованих систем управління гібридними роботизованими комплексами.

Результати дослідження використані:

– модель комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різнорідних джерел інформації, що дозволяє підвищити оперативність та обґрунтованість управління рухом гібридного роботизованого комплексу у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів (акт впровадження у навчальному процесі від 28.02.2024 р. № 181/01-11);

– метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху гібридного роботизованого комплексу, що дозволяє підвищити безпеку судноплавства (акт впровадження у Державному підприємстві водних шляхів України «УКРВОДШЛЯХ» від 22.11.2023 року).

В роботі показаний зв'язок роботи з науковими програмами, темами, обґрунтована наукова новизна отриманих результатів, відмічений вклад дисертанта в наукові роботи, які написані у співавторстві.

Ключові слова: судно, судноводіння, навігаційна обстановка, безпека судноплавства, безпека судноводіння, траєкторія руху, автономні підводні апарати, безпілотні підводні апарати, навігаційне забезпечення, надійність, безпека на морі, навігаційна безпека, навігаційне забезпечення, навігаційні системи, безпілотний літальний апарат, система підтримки прийняття рішення, гібридний роботизований комплекс, засіб водного транспорту, річковий та морський транспорт, імітаційна модель, роботизований комплекс, судові радіонавігаційні системи, автоматизовані системи керування.

ABSTRACT

Levchenko O.V. Models and methods of controlling the movement of a hybrid robotic complex to increase the efficiency of searching for surface and underwater objects – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the degree of Doctor of Philosophy in specialty 271 Maritime and Inland Water Transport. – State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2024.

The thesis solves an urgent scientific task of developing models and methods for controlling the motion of a hybrid robotic complex to improve the efficiency of searching for surface and underwater objects.

Spatial search for objects is an important direction of modern science and technology. This task arises when it is necessary to determine the location of a certain object located in some area of physical space with the help of search products. When the search task is solved, two tasks of managing search operations are solved:

- task of optimal distribution of search resources in the area of interest (assignment task);
- search route optimization task (routing task).

Modern methods of search organization require automation and intellectualization of search operation management processes. Therefore, the group application of intelligent robotics is a promising direction for the organization of object search processes. At this stage, robotics technologies allow the creation of robots with a high level of autonomy, which leads to their use in solving various tasks at sea. At the current stage of development of marine robotics, one of the actively developed directions is the creation of hybrid robotic complexes. This approach allows the combined use of groups of heterogeneous autonomous robots. This will ensure the expansion of functionality and increase the efficiency of work at sea. The task of group application of robots at the current stage requires the

development of models and methods of organization and management of hybrid robotic complexes. In global practice, this applied direction of robotics has been called collective cognitive robots. The analysis of modern methods of group application of robotic systems shows that most of the work with their application is the search for surface and underwater objects.

Recently, two main areas of automation of group use of hybrid robotic systems have been considered. The first direction is related to the improvement of individual characteristics of a separate robotic system as an "agent" of the group. The second area concerns the direct management of the group use of heterogeneous robots.

The key tasks of organising the execution of missions by a group of robotic systems are to achieve the specified efficiency and effectiveness of searching for surface and underwater objects while ensuring safety in the conditions of group transition or the actual execution of tasks. To solve this problem, it is necessary to develop models and methods for automatic control of a group of autonomous robotic systems.

A review of known methods of decision support in control tasks for other subject areas has shown that there are a number of insufficiently developed issues of recognising navigation situations in the area of interest during a search operation and synthesising decision options to form a route for a hybrid robotic complex to move between search areas.

Thus, there is an objective discrepancy due to the need for prompt and informed decision-making in the process of performing a search operation, on the one hand, and insufficiently developed methods of controlling a hybrid robotic complex under conditions of uncertainty, on the other. Therefore, the scientific task of developing models and methods for controlling the movement of a hybrid robotic complex to improve the efficiency of searching for surface and underwater objects is relevant and will help to solve the problem situation.

This task statement is a mandatory component of the study of the processes of automatic control of groups of robotic complexes, group behaviour of autonomous

robots and global navigation of unmanned aerial vehicles, unmanned vessels and autonomous uninhabited underwater vehicles. However, the motion control of a hybrid robotic complex in the search for surface and underwater objects is an unfinished issue, which determines the relevance of the dissertation research.

The aim of the study is to increase the efficiency and validity of decisions on motion control of a hybrid robotic complex in the process of searching for surface and underwater objects.

This goal is achieved by solving the following partial tasks:

1. Analysis of formalisation methods and approaches to decision-making and implementation of managerial influences in the process of searching for surface and underwater objects.

2. Development of method of managing the search for surface and underwater objects by a hybrid robotic complex.

3. Development of a model for combining information about the location and movement parameters of objects from heterogeneous sources of information.

4. Development of a method for formalising the process of information fusion in the process of monitoring the navigation situation in the e-navigation system.

5. A method for formalising the process of assessing and forecasting the navigation situation in the e-Navigation system.

6. Evaluation of the effectiveness of the developed methods.

The object of research is the processes of situation analysis and decision support in the search for surface and underwater objects.

The subject of the research is the models and methods of controlling robotic systems when performing work at sea.

The tasks set out in the thesis were solved using the following research methods:

- system analysis - to analyse the processes of formalisation and decision-making and implementation of management actions in the course of a search operation for surface and underwater objects;

- methods of classical automatic control theory - for synthesis of the automatic

control system;

- methods of fuzzy logic - for synthesis of rules for controlling the movement of the ROV;
- methods of scientific classification - for classification of methods of group application of robotic systems in the performance of a joint search mission;
- matrix theory - for mathematical modelling of the processes of functioning of individual elements of the proposed control system;
- computer modelling methods - for evaluating research results.

The scientific novelty of the results of the dissertation is as follows:

1. For the first time, a method for controlling the search for surface and underwater objects by a hybrid robotic complex has been developed, which is distinguished by the formalisation of the processes of planning the route of its movement by spline trajectories with synchronous information provision, forecasting the navigation situation and choosing a strategy for preventing dangerous situations through a combination of intelligent and numerical methods, which made it possible to increase the efficiency of searching for surface and underwater objects.

2. The model of combining information about the location and parameters of movement of objects from heterogeneous sources of information was further developed, which, unlike the known ones, is based on the processing of numerical series of values of observation parameters coming from sources of different physical nature to create an information space in the e-Navigation system, which allows to increase the efficiency and validity of motion control of a hybrid robotic complex in the process of searching for surface and underwater objects.

3. The method of formalising the activity of the monitored object using fuzzy time series in the system of monitoring the surface and underwater situation has been improved, in which, unlike the known ones, the trends in the activity of the monitored object for a certain time interval are determined by complex processing of interval qualitative assessment of the values of a numerical series of parameters coming from heterogeneous sources of information, which eliminates errors and

uncertainty in the monitoring process and describes different states of activity, according to the characteristics of which

4. An improved method for assessing and predicting the navigation situation during the movement of a hybrid robotic complex, which, unlike the known ones, is based on an adaptive fuzzy situational network that takes into account the parameters of the navigation situation, the forecast of its development and the level of comprehensive safety of ship movement in a single e-Navigation concept, which allows to increase the safety of navigation.

The validity and reliability of the scientific positions, conclusions and recommendations are confirmed by the competent formulation of the scientific task of the study, the correct use of methods of system analysis, classical automatic control theory, fuzzy logic, scientific classification, computer modelling and mathematical apparatus of matrix theory at the stages of modelling and analysis of research results, the coincidence of the results obtained with the known experimental data in this area of scientific knowledge, open discussion of the results at scientific meetings.

The scientific significance of the work lies in the further development of the theoretical and applied bases of construction and application of control systems for hybrid robotic complexes in the process of performing a search operation.

The practical significance of the results obtained is to further improve the elements of special mathematical and software of automated control systems for hybrid robotic complexes based on the developed models and methods that allow to increase the efficiency and validity of decision-making in the process of searching for surface and underwater objects.

The proposed theoretical methods have a high degree of readiness for use and have been brought to their practical implementation. The application of the developed methods allows to increase the timeliness of decision-making in comparison with the non-automated method - by $1.5 \div 2.4$ times, compared with partial automation of management - by $1.15 \div 1.55$ times. The increase in the number of factors taken into account and processed using the proposed methods

compared to the known ones makes it possible to increase the factor completeness factor by 14÷32% in the available time. The correct description of the subject area by a large number of significant factors at the same time allowed to increase the validity of the decisions obtained.

The implementation of the approach to motion control of a hybrid robotic complex proposed in this thesis allows:

- plan the route of a hybrid robotic complex in preparation for a search operation;
- to assess the safety of a search operation in an area of intensive shipping;
- to combine data from heterogeneous sources of information obtained in the e-Navigation system.

The main research results obtained in the thesis should be used in the development of hybrid robotic complexes control technologies and elements of special mathematical and software of automated control systems for hybrid robotic complexes in the process of searching for surface and underwater objects; in research organisations - to substantiate the directions of improvement of technologies for automated control of hybrid robotic complexes; in higher education institutions - to improve the quality of education.

The results of the dissertation research will be useful in improving the existing and developing promising special mathematical and software for automated control systems of hybrid robotic complexes.

The results of the study were used:

- a model for integrating information about the location and movement parameters of objects from various sources of information, which allows to increase the efficiency and reasonableness of the control of the movement of a hybrid robotic complex in the process of searching for surface and underwater objects (act of implementation in the educational process of 28.02.2024, №. 181 /01-11);

- a method of assessing and forecasting the navigational situation during the movement of a hybrid robotic complex, which allows to increase the safety of

shipping (the act implemented in the State Waterways Enterprise of Ukraine «UKRVODSHLYAH» dated 22.11.2023). The work shows the connection of the work with scientific programmes and topics, substantiates the scientific novelty of the results obtained, and notes the contribution of the dissertator to scientific works written in co-authorship.

Keywords: vessel, navigation, navigation environment, safety of navigation, safety of navigation, trajectory, autonomous underwater vehicles, unmanned underwater vehicles, navigation support, reliability, safety at sea, navigation safety, navigation support, navigation systems, unmanned aerial vehicle, decision support system, hybrid robotic complex, means of water transport, river and sea transport, simulation model, robotic complex, ship radio navigation systems, automated control systems.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

1. Левченко О.В., Боріна М.В. Удосконалення методу управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом. *Вісник приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки.* – № 46. – 2023. С. 137-148. doi: 10.31498/2225-6733.46.2023.288183 https://journals.urau.ua/vesnikpgtu_tech/article/view/288183 (наукове фахове видання України).
2. Левченко О.В. Метод формалізації процесу прийняття рішення щодо запобігання небезпечних ситуацій в системі e-navigation. *Науково-технічний збірник «Судноводіння / Shipping & Navigation»* № 34. – 2023. - с. 117-126. doi: 10.31653/2306-5761.34.2023.115-126 <https://navjournal-nuoma.learnmarine> (наукове фахове видання України).
3. Левченко О.В. Метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху судна. *Збірник наукових праць: Системи управління, навігації та зв'язку.* – № 4 (70). – 2022. – С. 4-9. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.4.004> <http://journals.nupp.edu.ua/sunz/issue/view/96> (наукове фахове видання України).
4. Левченко О.В. Метод формалізації комплексування інформації при моніторингу навігаційної обстановки у системі е-Навігації. *Науково-технічний журнал: Системи озброєння і військова техніка.* - № 1 (69). – 2022. – С. 46-55 <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.69.06> (наукове фахове видання України).
5. Левченко О. В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у суднових СППР. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Водний транспорт..* – К.: ДУІТ, 2021. – Випуск 3(34). – С. 89-99.

<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2021.3.34.10>

<https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article> (наукове фахове видання України).

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Левченко О.В. Застосування методу моніторингу навігаційної обстановки у системі е-навігації. Міжнародна наукова конференція: Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення. Випуск 70 – 2022.

<http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-622/>

7. Левченко О.В., Боріна М.В. Управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом. *Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології: Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців 29-30 листопада 2023р. м. Київ, вид-во: Київський інститут залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, реєстр. УкрІНТЕІ № 396 від 09.10.2023, 2023. Ч.1. 329 с.*

8. Левченко О.В. Оцінка обґрунтованості прийняття рішення в процесі управління гібридним роботизованим комплексом. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XIV Міжн. наук.-практ. конф. Ізмаїл, 8-9 грудня 2023 р. –Запоріжжя : АА ТанDEM, 2023. 449 с.* Оцінка обґрунтованості прийняття рішення в процесі управління гібридним роботизованим комплексом.

https://drive.google.com/file/d/1NObPGGddzTIE1ytFS0hRD5z6_q_FeyQO/view

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	14
ВСТУП.....	22
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ПОШУКОВІ ОПЕРАЦІЇ НАДВОДНИХ ТА ПІДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ЗАВДАННЯ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ГІБРИДНОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ.....	24
1.1 Загальна характеристика пошукових операцій надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом	32
1.2 Структура та функції системи управління гібридного роботизованого комплексу	32
1.3 Архітектура взаємодії апаратів у гібридному роботизованому комплексі	35
1.4 Актуальні завдання автоматизації системи управління пошуковими операціями надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом	39
1.5 Аналіз інтелектуальних методів у системах навігації і планування управління гібридним роботизованим комплексом у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів	41
1.6 Сучасні технології у рамках концепції е-Навігації для автоматизації процесу пошуку надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом	44
1.7 Постановка наукового завдання дослідження. Розробка методології проведення дослідження	49
1.7.1 Аналіз підходів щодо вирішення завдань прийняття рішень управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів на розширених множинах за векторним критерієм	52
1.7.2 Розробка методології проведення дослідження	52

Висновки до розділу 1	64
РОЗДІЛ 2 МЕТОД УПРАВЛІННЯ ПОШУКОМ НАДВОДНИХ ТА ПІДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ГІБРИДНИМ РОБОТИЗОВАНИМ КОМПЛЕКСОМ	66
2.1 Вихідні дані, обмеження, допущення та постановка задачі управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом	66
2.2 Модель функціонування гібридного роботизованого комплексу у процесі пошукової операції	71
2.3 Метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом	74
2.4 Розробка методу вибору стратегії планування траєкторії розходження суден у конфліктній ситуації в єдиній концепції e-Navigation	83
2.4.1 Формалізація процесу планування траєкторії розходження в ситуаціях небезпечного зближення (зіткнення)	83
2.4.2 Розробка методу побудови маршруту розходження гібридного роботизованого комплексу із суднами в районі пошуку	89
Висновки до розділу 2	93
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ І МЕТОДУ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОМПЛЕКСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ МОНІТОРИНГУ НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ В СИСТЕМІ e-НАВІГАЦІЇ	95
3.1 Концепція інформаційного простору e-Навігації в системах управління гібридним роботизованим комплексом	95
3.2 Модель виявлення об'єкту в системі моніторингу надводної та підводної обстановки	100
3.3 Модель комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різномірних джерел інформації	105
3.4 Обробка інформації в системі моніторингу надводної та підводної обстановки на основі часових рядів даних	107

3.5 Обґрунтування необхідності аналізу нечітких тенденцій для обробки часових рядів даних у процесі моніторингу	109
3.6 Метод формалізації активності об'єкта моніторингу з використанням нечітких часових рядів у системі моніторингу надводної та підводної обстановки	113
3.7 Загальні перетворення даних	117
Висновки до розділу 3	119
РОЗДІЛ 4 МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ В СИСТЕМІ e-NAVIGATION	121
4.1 Мета та принципи побудови інтегрованої системи ходового містка в рамках концепції e-Navigation	121
4.2 Модель формалізації системи «судно-судноводій-обстановка».....	126
4.3 Шляхи інтелектуалізації інтегрованої системи ходового містка у рамках концепції e-Navigation з урахуванням невизначеності вихідної інформації	129
4.3.1 Метод ідентифікації та врахування невизначеності вхідної інформації в інтегрованій системі ходового містка	131
4.3.2 Аналіз поняття безпеки під час руху судна	132
4.3.3 Формалізація поняття безпеки руху судна	134
4.3.4 Модель та алгоритм оцінки безпеки руху судна	136
4.3.5 Метод оцінки й прогнозування навігаційної ситуації під час руху судна	139
4.3.6 Управлінські впливи в нечіткій ситуаційній мережі	145
4.4 Оцінка оперативності планування та реалізації пошукової операції надводних та підводних об'єктів	147
4.4.1 Оцінка своєчасності прийняття рішення при плануванні пошукової операції надводних та підводних об'єктів	147
4.4.2 Оцінка обґрунтованості прийняття рішення в процесі управління гібридним роботизованим комплексом	150

	21
Висновки до розділу 3	154
ВИСНОВКИ	156
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	160
Додаток А Список опублікованих праць	179
Додаток Б Акти реалізації	181

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

CoCoRo	– Collective Cognitive Robots – колективні когнітивні апарати-роботи
IALA	– International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities – Міжнародна асоціація морських засобів навігаційного обладнання і маяків
IBS	– Integrated Bridge System – інтегрована система ходового містка
IMO	– Міжнародна морська організація
IRCS	– Integrated Radio Communication System – інтегрована система радіозв'язку, ICP
NIS	– Navigation and Information System – навігаційно-інформаційна система
VDR	– Voyage Data Recorder – реєстратор даних рейсу, РДР
VFH	– Vector field histogram – метод векторної гістограми
АНПА	– автономний ненаселений підводний апарат
БД	база даних
БЗ	– база знань
БПЛА	– безпілотний літальний апарат
БПС	– безекіпажне пошукове судно
БРС	– безпека руху судна
БС	– безекіпажне судно
ГА	– генетичний алгоритм
ГРК	– гібридний роботизований комплекс
ДІ	– джерело інформації
ДУІТ	– Державний університет інфраструктури та технологій
ІІ	– інформаційний простір
КОБ	– оцінка рівня комплексної безпеки

МО	– м'які обчислення
НДР	– науково-дослідна робота
НСМ	– нечітка ситуаційна мережа
НТ	– нечітка тенденція
НЧР	– нечіткий часовий ряд
ОПР	– особа, що приймає рішення
РЛС	– радіолокаційна станція
РП	– район пошуку
СМНПО	– система моніторингу надводної та підводної обстановки
СОМ	– система оцінки та оптимізації мореплавства – Vessel Seaworthiness Assessment and Optimization System
СПЗ	– система попередження зіткнень – Collision Assessment and Avoidance System
СППР	– система підтримки прийняття рішень
СПШ	– система планування та оптимізації шляху – Voyage Planning and Route Optimization System
СУР	– станція управління рухом судна – Maneuvering Control Station
СУРС	– система управління рухом судна
ТТХ	– тактико-технічні характеристики
ЦСМ	– централізована система моніторингу та сигналізації – Centralized Monitoring and Alarm System
ЧР	– часовий ряд
ШІ	– штучний інтелект

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний стан розвитку роботизованих систем зумовлює їх широке застосування в різних галузях діяльності людини. Високий рівень автономності сучасних роботизованих систем зумовлений розвитком інтелектуальних технологій в системах управління. Проте, групове застосування роботизованих комплексів на поточному етапі є завданням групової робототехніки, та залежить від розвитку моделей та методів організації та управління групами роботів. Групи автономних роботів розширюють функціональність та підвищують ефективність виконання завдань в середовищах, довге перебування в яких, є небезпечним для людини [33, 67]. Забезпечення безпеки життя та здоров'я людини на морі завжди було найважливішою проблемою при виконанні нею робіт у водному середовищі. Тому автономні роботизовані комплекси стають важливим інструментом для проведення морських операцій та робіт. Серед важливих класів завдань, що вирішуються роботизованими комплексами, є пошукові операції об'єктів на морі, які виконуватимуться у дуже обмежені проміжки часу.

Під час організації виконання місії групою роботизованих систем (комплексів) важлива роль відводиться забезпеченню оперативності та ефективності проведення пошуку надводних та підводних об'єктів та їх безаварійного руху в режимах групового переходу та групового виконання місії. Для вирішення даного завдання необхідна розробка моделей та методів автоматичного управління групою автономних роботизованих комплексів.

У ході глибокого аналізу, проведеного при вивченні методів підтримки прийняття рішень, встановлено, що недостатньо опрацьовані питання розпізнавання навігаційних ситуацій в зоні інтересу при виконанні пошукової операції та синтезу варіантів рішень для формування маршруту руху гібридного роботизованого комплексу (ГРК) між районами пошуку.

Тому виникає невідповідність між необхідністю оперативного та обґрунтованого прийняття рішення в процесі виконання пошукової операції та недостатньо розробленими науковими методами управління ГРК в умовах

невизначеності. Відсутність напрацювань у подоланні вказаної невідповідності для визначеної предметній області потребує невідкладного вирішення *актуального наукового завдання* щодо розробки моделей та методів управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів.

Вказана постановка завдання є обов'язковою складовою автоматичного управління групами роботизованих комплексів. Дослідження проблеми управління складними роботизованими системами проводили українські і закордонні вчені, зокрема: Бочкарьов О.Ю., Блинцов В.С., Голембо В.А., Еткін Б.В., Збруцький О.В., Калман Р.Е., Кулік А.С., Кунцевич В.М., Куржанський А.Б., Красовський О.А., Кротів В.Ф., Харченко В.П. Значний внесок у вдосконалення системи пошуку на морі зробили Басанець М.Г., Вагущенко Л.Л., Грець І.С., Іванов Б.Г., Колегаєв М.О., Позолотін Л.А., Репетей В.Д., Торський В.Г. Питаннями автоматизації руху груп роботів, що виконують місії під водою, наполегливо займаються колективи зарубіжних вчених під керівництвом А.Р. Aguiar, J. Almeida (Італія), Fossen Т. (Норвегія), Madhevan Balasundaram (Індія), Zhongkui Li та Xin Li (Китай). У наведених роботах досліджуються процеси управління груповою поведінкою автономних роботів та в цілому вирішуюється завдання глобальної навігації безпілотних літальних апаратів (БПЛА), безекіпажних суден (БС) та автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА). Проте, питання управління рухом гібридного роботизованого комплексу в процесі пошуку надводних та підводних об'єктів у повному обсязі в науковій літературі не висвітлені, що й обумовлює актуальність дисертаційного дослідження.

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

Проведені дисертаційні дослідження є логічним продовженням низки теоретичних та прикладних досліджень з питань управління рухом гібридних роботизованих комплексів для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів та пов'язані, відповідно до Тематичного плану наукових досліджень та розробок Державного університету інфраструктури та технологій, з виконанням науково-дослідної роботи (НДР) «Моделі та методи

прогнозування довговічності обладнання засобів річкового та морського транспорту в умовах експлуатації за технічним станом» № ДР 0120U104335.

Обраний напрямок досліджень тісно пов'язаний зі Стратегічним курсом розвитку аеронавігаційної системи України, що визначений Указом Президента України від 11 червня 1998 року № 615/98 "Про затвердження стратегії інтеграції України до Європейського Союзу" та зі Стратегічним планом розвитку авіаційного транспорту до 2020 року, затвердженим Міністерством інфраструктури України від 21.12.2015р. №546.

Мета і завдання дослідження. *Метою* роботи є підвищення оперативності та обґрунтованості рішень щодо управління рухом гібридного роботизованого комплексу у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів.

Поставлена мета досягається вирішенням таких часткових завдань:

1. Аналіз методів формалізації і підходів щодо прийняття рішень і реалізації управлінських впливів у процесі пошукової операції надводних та підводних об'єктів.

2. Удосконалення методу управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом.

3. Розробка моделі комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різномірних джерел інформації.

4. Розробка методу формалізації процесу комплексування інформації в процесі моніторингу навігаційної обстановки в системі е-Навігації.

5. Розробка методу формалізації процесу оцінки та прогнозування навігаційної обстановки в системі e-Navigation.

6. Оцінка ефективності розроблених методів.

Об'єкт дослідження: процеси аналізу обстановки та підтримки прийняття рішень при пошуку надводних та підводних об'єктів.

Предметом дослідження є моделі та методи управління роботизованими комплексами при виконанні робіт на морі.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань використано такі методи дослідження:

- системний аналіз – для аналізу процесів формалізації і прийняття рішень та реалізації управлінських дій у ході проведення пошукової операції надводних та підводних об’єктів;
- методи класичної теорії автоматичного управління – для синтезу системи автоматичного керування;
- методи нечіткої логіки – для синтезу правил управління рухом ГРК;
- методи наукової класифікації – для класифікації методів групового застосування роботизованих систем при виконанні ними спільної пошукової місії;
- теорія матриць – для математичного моделювання процесів функціонування окремих елементів запропонованої системи управління;
- методи комп’ютерного моделювання – для оцінки результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів дисертації полягає в такому:

1. *Вперше розроблено* метод управління пошуком надводних та підводних об’єктів гібридним роботизованим комплексом, який відрізняється формалізацією процесів планування маршруту його руху сплайн-траєкторіями із синхронним поданням інформації, прогнозуванням навігаційної обстановки та вибором стратегії запобігання небезпечних ситуації за рахунок поєднання інтелектуальних та численних методів, що дозволило підвищити ефективність пошуку надводних та підводних об’єктів.

2. *Одержала подальший розвиток* модель комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об’єктів від різномірних джерел інформації, яка, на відміну від відомих, базується на обробці числових рядів значень параметрів спостереження, що надходять від джерел різної фізичної природи, для створення інформаційного простору в системі е-Навігації, що дозволяє підвищити оперативність та обґрунтованість управління рухом гібридного роботизованого комплексу у процесі пошуку надводних та підводних об’єктів.

3. *Удосконалено* метод формалізації активності об’єкта моніторингу з використанням нечітких часових рядів у системі моніторингу надводної та

підводної обстановки, в якому, на відміну від відомих, тенденції активності об'єкта спостереження за певний інтервал часу визначаються шляхом комплексної обробки інтервальної якісної оцінки значень числового ряду параметрів, що надходять від різномірних джерел інформації, що дозволяють усунути похибки та невизначеність, наявні у процесі моніторингу, й описати різні стани активності, за характеристиками яких виконується класифікація об'єкта моніторингу.

4. *Удосконалено* метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху гібридного роботизованого комплексу, який, на відміну від відомих, базується на адаптивній нечіткій ситуаційній мережі, яка враховує параметри навігаційної ситуації, прогноз її розвитку та рівень комплексної безпеки руху судна в єдиній концепції e-Navigation, що дозволяє підвищити безпеку судноплавства.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується грамотною постановкою наукового завдання дослідження, правильним використанням методів системного аналізу, класичної теорії автоматичного управління, нечіткої логіки, наукової класифікації, комп'ютерного моделювання і математичного апарату теорії матриць на етапах моделювання й аналізу результатів досліджень, збігом отриманих результатів з відомими експериментальними даними у даній області наукових знань, відкритим обговоренням результатів на наукових семінарах і конференціях і їх публікацією у рекомендованих наукових виданнях.

Наукове значення роботи полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ побудови та застосування систем управління гібридними роботизованими комплексами в процесі виконання пошукової операції.

Практичне значення отриманих результатів полягає у подальшому удосконаленні елементів спеціального математичного та програмного забезпечення систем автоматизованого управління гібридними роботизованими комплексами на базі розроблених моделей і методів, що дозволяють підвищити оперативність та обґрунтованість прийняття рішень у

процесі пошуку надводних та підводних об'єктів.

Запропоновані теоретичні методи мають високий ступінь готовності до використання і доведені до їх практичної реалізації. Застосування розроблених методів дозволяє підвищити своєчасність вироблення рішень порівняно з неавтоматизованим способом – в $1,5 \div 2,4$ рази, порівняно з частковою автоматизацією управління, – в $1,15 \div 1,55$ рази. Збільшення кількості чинників, урахованих й оброблених за допомогою запропонованих методів у порівнянні з відомими, дозволяють за наявний час збільшити коефіцієнт повноти врахування чинників на $14 \div 32\%$. Коректний опис предметної області (ПО) великою кількістю значущих чинників водночас дозволив підвищити обґрунтованість отриманих рішень.

Реалізація запропонованого в дисертаційній роботі підходу щодо управління рухом гібридного роботизованого комплексу дозволяє:

- планувати маршрут руху гібридного роботизованого комплексу в процесі підготовки до проведення пошукової операції;
- проводити оцінку безпеки проведення пошукової операції в районі інтенсивного судноплавства;
- виконувати комплексування даних від різномірних джерел інформації, отриманих в системі e-Navigation.

Основні результати досліджень рекомендується доцільно використовувати при розробці технологій управління гібридними роботизованими комплексами й елементів спеціального математичного та програмного забезпечення автоматизованих систем управління гібридними роботизованими комплексами у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів; у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків удосконалення технологій автоматизованого управління гібридними роботизованими комплексами; у вищих навчальних закладах – для вдосконалення системи підготовки фахівців зі спеціальності морський та внутрішній водний транспорт.

Результати дисертаційного дослідження будуть корисними при

удосконаленні існуючого та розробці перспективного спеціального математичного та програмного забезпечення автоматизованих систем управління гібридними роботизованими комплексами.

Основні положення дисертаційної роботи реалізовані у навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій (акт впровадження від 28.02.2024 р. № 181/01-11) та у Державному підприємстві водних шляхів України «УКРВОДШЛЯХ» від 22.11.2023 року (Додаток Б):

Акт № 181/01-11 від 28.02.2024 р. використовуються в навчальному процесу факультету судноводіння на кафедрі навігації і управління суднами при викладанні дисциплін «Забезпечення навігаційної безпеки плавання», «Навігаційні інформаційні системи» та «Радіонавігаційні прилади та системи» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт.

– модель комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різнорідних джерел інформації, що дозволяє підвищити оперативність та обґрунтованість управління рухом гібридного роботизованого комплексу у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів (акт впровадження у навчальному процесі 28.02.2024 р. № 181/01-11);

– метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху гібридного роботизованого комплексу, що дозволяє підвищити безпеку судноплавства (акт впровадження у Державному підприємстві водних шляхів України «УКРВОДШЛЯХ» від 22.11.2023 року).

Особистий внесок здобувача. Наукові результати, що становлять основний зміст дисертаційної роботи, опубліковані у роботах [138, 141], одержані автором самостійно або за його безпосередньої участі.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на:

Міжнародній науковій інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення", м.Тернопіль, Україна – м. Переворськ, Польща, 2022 р.

На II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців 29-30 листопада 2023р. *«Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології»*: м. Київ.

На XIV Міжнародній науково-практичній конференції *«Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту»*. Ізмаїл, 8-9 грудня 2023 р.

Публікації. Відповідно до теми дисертаційної роботи опубліковано: 5 наукових статей в українських виданнях, які входять до затвердженого МОН України переліку наукових фахових видань та 3 публікації матеріалів доповідей, які додатково відображають результати роботи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації містить 182 сторінки друкованого комп'ютерного тексту. Основний зміст дисертаційної роботи викладено на 155 сторінках. Робота містить 7 таблиць, 32 рисунків, список використаних джерел із 150 найменувань, що розміщено на 160-178 сторінках, 2 додатки на 3 сторінка.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНІ ПОШУКОВІ ОПЕРАЦІЇ НАДВОДНИХ ТА ПІДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ЗАВДАННЯ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ГІБРИДНОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ

1.1 Загальна характеристика пошукових операцій надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом

Пошукові операції надводних та підводних об'єктів зазвичай проводяться за різними схемами, тому немає чітких інструкцій щодо їх виконання. Пошукова операція може починатися, розвиватися, призупинятися, перериватися, завершуватися і знову починатися, поки не буде досягнуто визначених цілей або поки не буде досягнуто жодного результату.

Пошукову операцію надводних та підводних об'єктів умовно можна поділити на три фази:

- 1) Фаза планування та висування в зону інтересу пошукових груп.
- 2) Фаза пошуків (проведення пошукових робіт).
- 3) Фаза закінчення пошуків.

Процедури, що виконуються протягом першої фази, мають вирішальне значення. Друга фаза – це результат першого етапу. Перша фаза складається з таких етапів:

- надходження перших відомостей про об'єкт пошуку;
- планування пошукової операції;
- підготовчі дії та висування в зону інтересу пошукових груп;

Планування пошукових робіт має на меті визначення переліку заходів щодо виявлення об'єкта пошуків. При початковому плануванні має бути сформований план другої фази пошукової операції. План пошуків може коригуватися при надходженні будь-якої значимої інформації та по закінченні кожного пошукового етапу.

Після отримання первинних відомостей виробляється одна або кілька версій поведінки об'єкту пошуку та розвитку ситуації та відповідно до цих версій визначається зона інтересу та райони пошуку. Основними найбільш значущими даними під час планування є маршрут руху об'єкту пошуку, останнє відоме його місце знаходження, можливі навігаційні небезпеки за маршрутом руху. Враховується розмір, форма та віддаленість зони інтересу та наявні в розпорядженні ресурси для пошуку. При плануванні попередньо визначається:

- порядок висування в зону інтересу;
- місце стоянки судна забезпечення в кожному районі пошуку;
- завдання для кожного засобу пошуку на перший фазу.

Питання необхідної кількості ресурсів є дуже складним під час планування. Тому немає єдиного вирішення завдання визначення потрібної кількості ресурсів, і щоразу рішення приймається з поточного моменту.

Планування та проведення пошукових операцій на морі вимагає постійного підвищення їх ефективності, зменшення витраченого часу та вартості виконання робіт. Методика застосування засобів пошуку для моніторингу вимагають ітераційного підходу, а саме повторення запусків, що складаються з таких етапів:

- оглядової зйомки (акустичної, фото-, електромагнітної та ін.);
- післяобробка отриманої інформації з метою виявлення об'єктів для подальшого обстеження;
- планування подальших пошукових запусків у районах пошуку із уточненими координатами.

Перенесення функцій обробки інформації оглядово-пошукових систем на засоби пошуку та організація адекватної реакції на виявлені в реальному часі об'єкти дозволяє підвищити ефективність пошуку, оскільки значно скорочуються технологічний процес. Даний підхід відкриває можливості щодо коригування плану та управління при виявленні об'єктів пошуку автоматично або з дистанційним залученням особи, що приймає рішення (ОПР).

Завдання пошуково-дослідницького класу набагато складніші і містять виконання місій з пошуку, виявлення та обстеження об'єктів. При цьому місії повинні містити опис пошукової частини траєкторії та поведінку при виявленні об'єкта.

Функції засобів пошуку при здійсненні пошуково-дослідницьких робіт складаються з виявлення, ідентифікації та виконанні дій над об'єктом пошуку. Пошуково-дослідні операції передбачають групове функціонування деякої кількості засобів пошуку, які виконують моніторинг та обстеження [143-145].

Ймовірність виявлення об'єкта пошуку може бути підвищена при комплексному використанні інформації від засобів пошуку. Виявлення та обстеження об'єктів пошуку проводиться на основі неповної та неточної інформації від різномірних джерел інформації. Інформацію з різних джерел необхідно комплексувати та обробляти сумісно. Це дозволить створити модель, що описує середовище, в якому виконується пошук, з урахуванням інформації від бортових навігаційних систем та даних від систем розпізнавання. Дана модель повинна мати оцінку ймовірності знаходження об'єкта у визначених районах пошуку в поточний момент часу.

Побудова маршруту пошуку виконується шляхом формування послідовності обходу точок, визначених у зоні інтересу. Як правило, в якості критерію виступає довжина маршруту. При плануванні пошукової операції маршрут будується замкнутим, що пов'язує всі задані точки, причому через кожен точку засіб пошуку проходить один раз. Таким чином, з математичної точки зору йдеться про трактування задачі маршрутизації руху як задачі комівояжера. При цьому необхідно врахувати можливий вплив вітру та течії на засоби пошуку при його русі маршрутом, оскільки час руху може бути збільшений чи зменшений для фіксованого набору маршрутних точок через вплив факторів навігаційної обстановки.

Мінімізація часу руху за маршрутом пошуку при постійній швидкості досягається мінімізацією протяжності маршруту. Як зазначається в [46], мінімізація часу руху маршрутом при постійній швидкості апарату фактично

означає зниження витрати обмежених енергоресурсів засобу пошуку, а також забезпечує підвищення оперативності виконання визначеного завдання пошуку.

Проте, складність планування, пов'язана із прийняттям управлінських рішень у процесі пошуку на морі, обумовлена такими особливостями:

1) кожен етап процесу управління (початковий, проміжний, кінцевий) ГРК завершується прийнятим рішенням про вибір одного з можливих варіантів опису навігаційної ситуації та переліку можливих у ній альтернатив;

2) надходження даних у режимі он-лайн (реальний масштаб часу);

3) постійне швидке накопичення знань про розвиток реального процесу;

4) можливі неповнота, недостовірність та застарість відомостей і знань, що надходять на обробку, особливо в умовах відкритого або прихованого інформаційного протиборства;

5) для вибору найбільш обґрунтованих управлінських впливів у ГРК проводиться обробка даних спостереження та вимірювання.

Дані положення впливають на особливості побудови структури та виконувані функції системи управління ГРК та вибір математичного апарату, який найбільшою мірою відповідає вимогам функціонування даної системи.

1.2 Структура та функції системи управління гібридного роботизованого комплексу

Роботизовані комплекси відносяться до високоефективного виду морської робототехніки, що широко використовуються для виконання пошукових, обстежувальних та дослідних робіт на всьому діапазоні глибин Світового океану [34]. Збільшення обсягів пошукових підводних та надводних робіт і постійне вдосконалювання технічних характеристик роботизованих комплексів відкрили нову сторінку у розвитку таких систем – одночасне застосування різномірних систем і комплексів у складі груп на великих акваторіях. Це забезпечує найбільшу ефективність робіт – максимальну

продуктивність пошукових операцій і максимальну ймовірність виявлення об'єктів пошуку. Для таких робіт різномірні роботизовані комплекси об'єднуються у гібридний роботизований комплекс. Він призначений для проведення пошукових, науково-дослідних, природоохоронних та інших підводних та надводних операцій групою роботів, що одночасно за спільною програмою виконують збір й обробку інформації про навколишнє середовище для виконання пошуку об'єктів інтересу під водою [102-106].

Слід зазначити, що проблема групового управління – це глобальна проблема, яка є актуальною для багатьох сфер життя. У предметних областях, де є певна група технічних об'єктів, які мають спільними зусиллями виконувати деяку роботу чи вирішувати певне завдання, виникає проблема групового управління чи групової взаємодії.

Групове застосування роботизованих систем у ГРК ускладнено [24,75,110]:

- 1) наявністю вищого ієрархічного рівня управління, що забезпечує реалізацію цільового призначення групи;
- 2) особливостями управління інформаційними потоками всередині групи;
- 3) необхідністю формулювання колективного інтересу, який реалізують системи управління й інформаційного забезпечення кожного учасника групи;
- 4) організацією координованих взаємодій.

Тому, будь-яка технічна система, що складається з окремих керованих вузлів, може розглядатися як об'єкт групового управління.

Групове управління апаратами в гібридному роботизованому комплексі на основі типів взаємодії можна класифікувати так [84, 109]:

1. Безпосередня фізична взаємодія. Апарати безпосередньо з'єднуються між собою і можуть розглядатися як єдине ціле. Але їх рух обмежується залежністю від руху інших засобів пошуку. Мала кількість комплексів дозволяє використовувати як централізовані, так і децентралізовані системи управління при плануванні маршруту руху та уникненні зіткнень апаратів.

2. Формації передбачають, що апарати фізично не з'єднані між собою, але їх відносні положення суворо задані збереженням форми. Планування шляху

для формації з кількох апаратів розглядається як єдине ціле. Запобігання зіткнень між апаратами досягається завдяки децентралізованим алгоритмам управління формою, реалізованим із застосуванням масштабованості.

3. Рої апаратів. Алгоритми взаємодії множини роботизованих комплексів забезпечують колективну поведінку. Результируючий рух групи необов'язково є формацією. Масштабованість стає головною проблемою в цьому підході. Тому використання децентралізованих алгоритмів стає обов'язковою умовою.

4. Кооперація. Рух кожного апарата у групі планується відповідно до індивідуального завдання, які у сукупності забезпечують виконання місії вищого порядку в ієрархії системи управління [60]. Зазвичай траєкторії є геометрично взаємопов'язаними як у разі формацій. Тому розподіл завдань, планування високого рівня, розбиття плану на підзавдання, вирішення конфліктів тощо, вирішуються в інтересах виконання місії більш високого порядку, що передбачає застосовування централізованих та децентралізованих архітектур систем управління.

Загальна структура системи управління гібридним роботизованим комплексом складається з контуру управління та контуру планування. Оскільки ГРК має у своєму складі різноманітні роботизовані апарати, то системи управління базуються на гібридній програмній архітектурі. Відповідно до неї, вся система управління ділиться на три рівні (рис. 1.1). На нижньому рівні управління виконуються елементарні дії. На середньому рівні на основі розбиття плану на елементарні дії розраховується траєкторія, узагальнюється інформація з джерел та передається на верхній рівень управління. На ньому розробляється план дій відповідно до наявного завдання пошукової операції та моделі навігаційного середовища.

Система верхнього рівня має у своєму складі блок планування, який задає райони пошуку та маршрути руху, використовуючи послідовність команд для виконання пошукової операції. Далі ці команди інтерпретуються нижнім рівнем системи керування. У блоці планування відповідно до поставленого завдання визначаються цілі для системи управління нижнього рівня.

Кожен рівень передає команді нижчестоящого, а приймає дані, що відображають поточну обстановку.

Система управління ГРК має забезпечити:

- своєчасне доведення інформації у циклі управління;
- інформаційно-технічну взаємодію;
- ефективне управління при реалізації сучасних принципів, форм та способів виконання пошукових робіт на морі;
- повне використання можливостей роботизованих систем при їх спільному застосуванні у ГРК.

1.3 Архітектура взаємодії апаратів у гібридному роботизованому комплексі

Роботизовані апарати у ГРК повинні самоорганізовуватися при виконанні завдань в операціях пошуку надводних та підводних об'єктів. При цьому мають бути враховані архітектура ГРК, розподіл завдань між ними, стратегія пошукової операції, локалізація завдань управління роботизованими апаратами, організація їх групового узгодженого руху.

Аналіз типових пошукових робіт на морі за допомогою ГРК [62, 58, 120] показує, що залежно від організації ГРК, групове управління роботизованими апаратами може бути централізованим і децентралізованим, а також допоміжним – напівдецентралізованим.

До архітектури централізованого управління входить центральний вузол, до якого підключені всі роботизовані системи зі складу ГРК. Кожен апарат підключений до центральний вузла, з якого отримує управлінські команди. Перевагою такої архітектури є:

- відносна стабільність, використання простих алгоритмів маршрутизації і невеликий масштаб (забезпечує взаємодію між елементами ГРК невеликого розміру і зони охоплення пошукової операції при відносно простій постановці завдань);

– при централізованому управлінні протокол обміну даними та командами влаштований простіше, ніж при децентралізованому. Кількість та обсяг повідомлень, що передаються, має значення, оскільки використовуються різноманітні системи зв'язку, що можуть мати низьку пропускну здатність;

– у невеликих групах централізоване планування може бути організовано ефективніше, ніж децентралізоване. При збільшенні чисельності групи ця перевага пропадає через зростаючу складність завдання планування [124]. У цій роботі передбачається використання невеликої групи (5-7) апаратів ГРК.

Проте, зв'язок між елементами ГРК вимагає технічних можливостей центрального вузла для передачі даних. При цьому відстань між роботизованими системами до центрального вузла набагато більша, ніж між ними. Недоліком такої інфраструктури є те, що вся комунікаційна мережа паралізується, як тільки центральний вузол виходить з ладу.

Децентралізована архітектура охоплюватиме великі площі, оскільки елементи ГРК можуть підключаються та відключаються від мережі. У рамках такої архітектури роботизовані апарати здійснюють інтерактивний зв'язок між собою у реальному масштабі часу, без залежності від центрального вузлу зв'язку, що усуває обмеження за дальністю управління.

Напівдецентралізоване керування передбачає локальний зв'язок між апаратами у ГРК, коли здійснюється перехід від централізованої стратегії до децентралізованих [122] із проміжними діями. Даний метод акумулює всі переваги і недоліки як централізованого, так і децентралізованого керування, але, можна сказати, у цілому працює на «користь» ГРК. При напівдецентралізованому керуванні розподіл завдань для інших роботизованих комплексів здійснює на борту ведучого автономного роботу, який генерує рішення своєю системою автоматичного управління.

1.4 Актуальні завдання автоматизації системи управління пошуковими операціями надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом

Системи управління ГРК являють собою складні розподілені системи, які функціонують в умовах невизначеності. Вироблення управлінських впливів для адекватного реагування на зміни в навігаційній ситуації вимагає використання методів штучного інтелекту (ШІ), когнітивного аналізу та синтезу слабо структурованих систем.

Неповнота інформації щодо навігаційної обстановки знижує адекватність прийнятих рішень або взагалі не дозволяє отримувати оптимальні рішення (в ситуаціях небезпечного зближення або зіткнення). Системи, основані на методах ШІ, дозволяють автоматизувати управління за рахунок самонавчання (наприклад, для ситуацій, реакція на які алгоритмічно не була передбачена).

Отримання інформації від різноманітних джерел (ДІ) може привести до інформаційної перенасиченості. Причому надходження великих обсягів інформації, часто низької якості, яка може іноді мати суперечливий характер, потребує нових технічних рішень. Отже, необхідно вдосконалювати методи структуризації, класифікації та формалізації даних в області пошукових операцій надводних та підводних об'єктів для забезпечення подальшого вироблення адекватних рішень при управлінні ГРК в умовах ситуаційної невизначеності. Такі завдання фахівці пропонують вирішувати методами ШІ. Вони базуються на принципах прийняття рішень і навчання, попередньому досвіді й абстрактних концепціях тощо. Тому для широкого кола завдань, що протікають в умовах невизначеності (а саме у таких умовах функціонують ГРК при пошуку надводних та підводних об'єктів), застосування методів ШІ у процесі вироблення рішень може дати найкращі результати.

Процес пошуку надводних та підводних об'єктів є однією з найважливіших сторін морської діяльності. Основною метою пошуку є виявлення різноманітних надводних та підводних об'єктів в обстежуваному

просторі з визначенням їхнього характеру та місцезнаходження. Об'єкти пошуку можуть бути нерухомими (статичними) та рухомими. Завданням автоматизації управління пошуковими операціями є вироблення оптимального плану пошуку, що забезпечує виявлення об'єкта за мінімальних часових або ресурсних витрат [15, 21, 78].

Необхідність у пошуковій операції виникає тоді, коли потрібно визначити місцезнаходження об'єкта пошуку у заданій зоні інтересу (Z_{int}) визначеними пошуковими засобами. Завданням пошуковій операції є вироблення її плану, що забезпечує виявлення об'єкту пошуку за мінімальних часових або ресурсних витрат. Для оптимізації процесу пошуку використовують такі критерії [107]: ймовірність виявлення об'єкту пошуку при заданих обмеженнях на пошукові ресурси або середня тривалості пошуку.

Ймовірність виявлення об'єктів пошуку визначається виразом:

$$P(G_{\text{pot}}) = 1 - e^{-G_{\text{pot}}}, \quad (1.1)$$

де G_{pot} – потенціал засобу пошуку;

Ширина смуги, на якій можливий моніторинг сенсорами засобу пошуку під час його руху за заданим курсом, визначається так:

$$D = \int_{-\infty}^{\infty} x_{P(G_{\text{pot}})} dx, \quad (1.2)$$

де $x_{P(G_{\text{pot}})}$ – потенціал засобу пошуку на відстані x .

Маршрут пошуку в зоні інтересу ділиться на відрізки l , що лежать усередині зони інтересу. Звідси визначаємо пошукове покриття:

$$Q_i = D \cdot l_i. \quad (1.3)$$

Потенціал засобів пошуку має властивість адитивності – при здійсненні пошуку декількома засобами, які переміщуються за тим самим маршрутом або сліднують паралельними курсами, їх пошукові потенціали додаються.

Управління пошуковими операціями надводних та підводних об'єктів потребує вирішення двох основних завдань:

1) виконання дискретного пошуку. Зона інтересу розбивається на райони пошуку, а процес пошуку представляється як чергування обстеження даних районів виділеними засобами пошуку. Вирішення даного завдання потребує комбінаторної оптимізації;

2) оптимізація маршрутів пошуку. У структурі розбиття зони інтересу на райони пошуку не враховується взаємне розташування цих районів та переходи між ними. Необхідна побудова моделей для опису дискретних процесів пошуку статичних та рухомих об'єктів пошуку та формалізації задачі оптимізації маршрутів пошуку.

Вирішення цих завдань при управлінні пошуковими операціями надводних та підводних об'єктів потребує автоматизації процесів планування та моніторингу пошукових операцій, виконуваних гібридним роботизованим комплексом. У зв'язку з цим системи пошуку повинні розглядатися як особливий клас ергатичних інформаційно-керуючих систем.

Розвиток автоматизованих систем пошуку на базі мобільної робототехніки неможливий без методів й інструментальних засобів штучного інтелекту [19, 26], причому для завдань групового пошуку об'єктів особливий інтерес представляють агентні технології.

Агент – програмно-апаратна (робот) або програмна (софбот) сутність, що здатна діяти автономно та цілеспрямовано у динамічному середовищі для виконання поставленого завдання [44].

Гібридний роботизований комплекс є системою агентів, що взаємодіють між собою. Агрегована поведінка агентної системи проявляється у вигляді локальних взаємодій окремих агентів. Управління пошуковими операціями надводних та підводних об'єктів ГРК потребує розбиття функціональних

завдань на типові підзавдання, що виконуються окремим агентом чи групою агентів. Для цього здійснюється функціональна спеціалізація агентів та утворюється ієрархія рівнів (нижній – сенсорні агенти, агенти-виконавці, інтерфейсні агенти; середній – агенти-процеси; верхній – агенти-менеджери тощо). Їх головними функціями є забезпечення:

- спостереження за певним квадратом акваторії;
- вибору безпечного маршруту руху;
- підтримки необхідного запасу заряду батарей (кількості палива);
- сеансів зв'язку з базою;
- ідентифікації для кожного засобу пошуку визначених цілей із переліку

завдань.

Таким чином, автоматизація процесу виконання дискретного пошуку та оптимізації маршрутів пошуку дозволить промислове використання гібридних роботизованих комплексів для пошуку надводних та підводних об'єктів.

1.5 Аналіз інтелектуальних методів у системах навігації і планування управління гібридним роботизованим комплексом у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів

Основна мета інтелектуальної підтримки прийняття рішень полягає у тому, щоб допомогти ОПР у певній предметній області оцінити ситуацію, що виникла, та спланувати дії відповідно до відомих умов.

Необхідність підтримки прийняття рішень виникає на важко формалізованих етапах прийняття рішень [119]. Тому за основу для її реалізації доцільно використовувати інтелектуальні інформаційні технології.

Система підтримки прийняття рішень (СППР) – це спеціалізована інформаційна система, призначена для допомоги в роботі ОПР [2]. Для вироблення рішень у СППР використовуються методи з різних областей знань, у тому числі розроблені в рамках концепції інформаційної системи. У разі,

якщо в якості бази СППР закладені методи ШІ, то говорять про інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень [10].

Найбільш розповсюджені системи навігації та планування, засновані на методах ШІ. Вони призначені для агентів ГРК, здатних виконувати кілька поставлених перед ними завдань [27]. Такий підхід ґрунтується на адаптивному реагуванні на локальну обстановку навколо засобу пошуку. Сенсорна система засобів пошуку працює лише у локальному середовищі. Отже, якщо оточення постійно змінюється, то ускладнюється процес розпізнання та контролю руху для агента ГРК, що впливає на успішність виконання пошукової операції.

У дослідженні [25] запропоновано систему планування ГРК на основі традиційного ШІ з використанням баз знань (БЗ), що накопичена агентом ГРК для оцінки стану, прийняття рішень та реалізації їх у фізичному середовищі. На рис. 1.2 зображено апарат Girona 500, під час роботи якого було випробувано цей алгоритм.

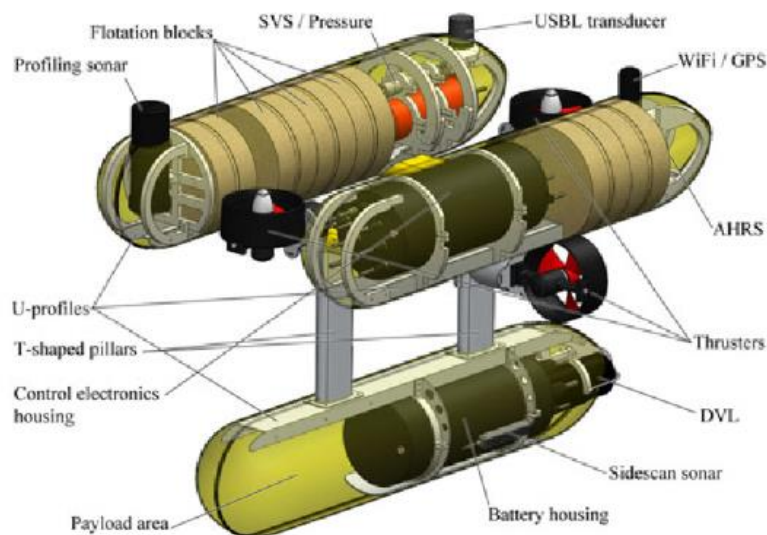


Рисунок 1.2 – Girona 500 реконфігурований автономний підводний апарат (AUV)

(Джерело: [25])

Основними недоліками підходів щодо планування на основі ШІ є:

- централізоване управління;
- високі вимоги до обчислювальних ресурсів, спричинені великою кількістю станів;
- відсутність модуля оптимізації, що часто ускладнює роботу при виникненні ситуацій потрапляння в локальний мінімум;
- неможливість проходження між близькими перешкодами.

Для вирішення цих проблем доцільна розробка стратегії управління, яка б забезпечувала вирішення завдання планування управління ГРК у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів. Одним з підходів для розробки стратегії управління є використання алгоритмів, що копіюють поведінку соціальних істот, а саме ройові алгоритми. Засновані на роевих алгоритмах системи є децентралізованими, кожен агент в яких діє за певним алгоритмом. Однак узгоджена взаємодія дає змогу приймати рішення, що демонструють інтелект [19]. Ознаками роевої системи є:

- складання рою з однорідних автономних агентів з обмеженими функціональними можливостями, який не має ознак інтелектуальності;
- автономні агенти децентралізовано взаємодіють з навколишнім середовищем та між собою для вирішення спільного завдання;
- загальне завдання ефективно вирішується лише сукупністю агентів.

Відомі декілька ефективних ройових алгоритмів.

Дуже ефективним показав себе мурашиний алгоритм пошуку маршруту. Його суть полягає у такому. Чим більше агентів проходить конкретним шляхом, залишаючи «феромон», тим «привабливішим» він стає для інших [20].

Згідно з бджолиним ройовим алгоритмом, спочатку в зону інтересу запускають "агентів розвідників", а потім вже інших агентів [21].

Прикладом роевої морської робототехніки може бути проект Collective Cognitive Robots (CoCoRo) [146]. В рамках даного проекту було розроблено гетерогенну групу з 40 морських роботів, які здатні діяти злагоджено. Група складалась з 20 підводних роботів-розвідників та 20 роботів, що здійснюють

зв'язок між розвідниками та базовою станцією, яка була представлена катамараном, що знаходився на поверхні.

Алгоритм клональної селекції (є одним із різновидів алгоритмів штучної імунної системи) був реалізований для побудови інтелектуальної навігаційної системи в завданнях побудови акваферм [51, 22]. У цій системі агент виконує функцію спостереження за фізичними параметрами (температура, розчинений кисень і кислотність) великої акваторії, на якій розташована акваферма. Це рішення дозволяє побудувати навігаційну систему з ГРК, що функціонують у заданій зоні інтересу. Навігаційні буї забезпечують агентам ГРК можливість уточнювати своє положення, усуваючи похибки інерціальної навігаційної системи. Для обмежених пошукових районів проведено моделювання поведінки рою АНПА, розподілених на замкнутій ділянці моря [95]. Рій починає своє функціонування з єдиної відправної точки. Кожен агент групи в даному випадку має невисокий децентралізований інтелект. Проте система в цілому успішно вирішує завдання рівномірного розподілу за акваторією, що досягається шляхом постійного зв'язку агентів системи один з одним.

Також в інтелектуальних системах навігації і планування управління ГРК у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів знаходять застосування методи м'яких обчислень (МО). За їх допомогою можна отримувати обґрунтовані рішення з мінімальними затратами обчислювального ресурсу. М'які обчислення є альтернативним рішенням деяких із згаданих вище проблем планування. На відміну від методів ІШ, методи МО дозволяють приймати рішення в умовах неточності, невизначеності, часткової істини та наближених даних. Можливість працювати в невизначеному середовищі, що змінюється, зробила ці алгоритми придатними для управління агентами ГРК і вирішення завдань навігації.

Ефективним рішенням для планування руху групи агентів є нечітка логіка. Її застосування дозволяє розробити систему, яка може користуватися такими поняттями, як, наприклад, "дуже далеко", "далеко", "близько", "дуже близько", що дозволяє зробити управління більш гнучким [81].

В умовах неточного, динамічного та неструктуроване середовища, яким є морська акваторія, для агентів РГК необхідно розпізнавати та класифікувати локальне оточення, щоб досягти визначених завдань, уникаючи навігаційних перешкод. Нейронні мережі дозволяють побудувати адаптивну систему планування [13] завдяки таким характеристикам, як здатність до обробки, розпізнавання, навчання та інтерпретації даних. Проте основним недоліком нейронних мереж є збитковість та повторення навчальних даних, що часто призводить до дуже довгого процесу навчання. Крім цього, вибір методу навчання також відіграє істотну роль. В роботі [43] показано результати застосування системи планування та управління ГРК в реальному часі на основі динамічної біоінспірованої нейронної мережі. На рис. 1.3 зображено результати моделювання руху підводного апарату та структура нейронної мережі, що використовується як система навігації та планування.

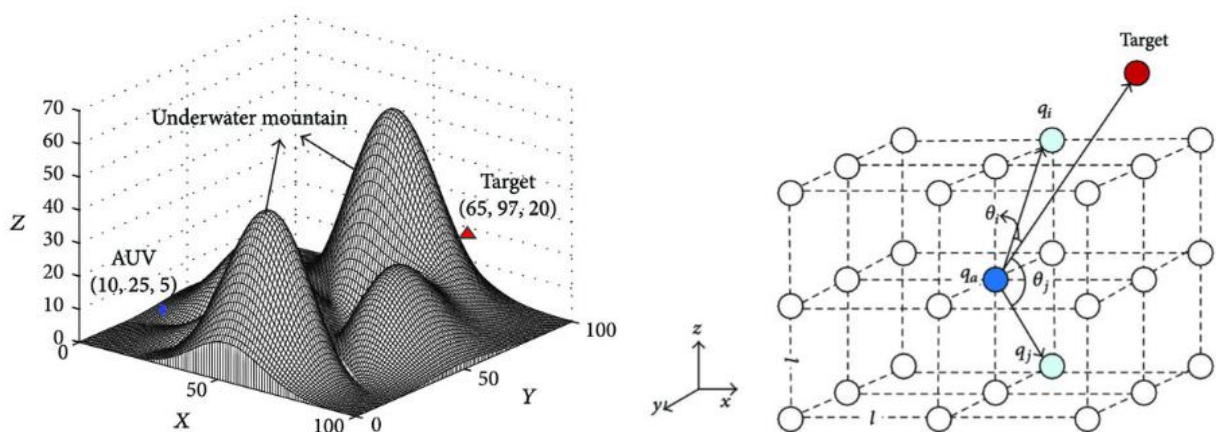


Рисунок 1.3 – Результати моделювання руху підводного апарату та структура нейронної мережі
(Джерело: [43])

Даний підхід дозволяє реалізувати управління апаратом в недетермінованому середовищі, у великих акваторіях при цільовій позиції, що постійно змінюється. Проте результати розпізнавання та прийняття рішень необхідно оптимізувати, особливо при спробі визначити оптимальне значення цільової точки маршруту.

Одним з ефективних методів оптимізації є генетичні алгоритми (ГА) [17]. Вони також можуть вирішити проблеми, які притаманні традиційним методам оптимізації (наприклад, градієнтним методам): висока обчислювальна складність, великі обсяги пам'яті та витрати часу. Проте, такі недоліки ГА, як складність створення глобального оптимального рішення та повільна збіжність, не дозволяють в повній мірі реалізувати ГА у навігації ГРК.

Еволюційний алгоритм забезпечує відмінну продуктивність у процесі оптимізації, що знайшло своє застосування у великій кількості існуючих рішень. Алгоритм імітує спосіб еволюції, дозволяючи покращити продуктивність контролерів або адаптувати їх до різних ситуацій. Однак генетичні алгоритми засновані на випадковому процесі, який є імовірнісним, локально оптимальним та має повільну збіжність.

Проведений аналіз показує, що інтелектуальні технології навігації та планування знайшли широке застосування в автоматизації управління пошуковими операціями надводних та підводних об'єктів. Але не всі алгоритми в повній мірі можуть вирішувати завдання навігації та планування дій агентів РГК у пошукових операцій. Проте об'єднання та комбінування алгоритмів дозволяють підвищити ефективність рішення, доповнюючи переваги та перекриваючи недоліки один одного.

1.6 Сучасні технології у рамках концепції е-Навігації для автоматизації процесу пошуку надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом

Для підвищення ефективності та безпеки судноплавства та проведення робіт на морі Міжнародною морською організацією (ІМО) запропоновано концепцію e-Navigation (е-Навігація). Концепція передбачає створення єдиного інформаційного простору, в якому узгоджено виконується збір, обробка, обмін, та аналіз інформації про навігаційну обстановку на основі єдиних стандартів та алгоритмів [46, 27].

Основними передумовами створення концепції е-Навігації стали:

- постійно зростаючі обсяги, точність і структура передаваної навігаційної інформації для забезпечення безпеки мореплавання;
- недостатня швидкість обміну навігаційною інформацією через відсутність єдиних стандартів і протоколів для комплектів берегового та суднового навігаційного обладнання, відсутність узгоджених універсальних процедур їх застосування, недосконалість існуючих технологій навігації та управління судноплавством, що знижує його безпеку й ефективність;
- зростаюча залежність безпеки навігації від людського фактора при одночасно протікаючих взаємозалежних процесах: поглиблення рівня автоматизації управління, з одного боку, відсутність єдиної програмно-технічної основи суднового та берегового комплектів навігаційного обладнання для суден і берегових структур, з другого, та відсутність загальних правил застосування цих комплексів, з третього [51, 115].

ІМО спільно з Міжнародною асоціацією морських засобів навігаційного обладнання і маяків (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA)) сформулювали головні цілі е-Навігації:

1. Підвищення рівня безпеки мореплавання та судноплавства за більш повного врахування навігаційної, гідрографічної та метеорологічної інформації.
2. Удосконалення спостереження за суднами, моніторингу та управління рухом суден з боку берегових служб.
3. Підвищення рівня достовірності, доступності, цілісності даних та безперервності обміну ними у системах забезпечення безпеки мореплавання.
4. Попередження навігаційних аварій, підвищення ефективності заходів щодо запобігання надзвичайним подіям.
5. Розвиток систем зв'язку для зручного обміну даними між суднами, судном та берегом, береговими об'єктами та іншими користувачами.
6. Підвищення ефективності перевезень та логістики.
7. Підвищення ефективності служб пошуку та порятунку у процесі пошукової операції.

8. Інтегрування інформаційних систем на суднах та березі, зростання якості подання інформації для мінімізації помилок персоналу у процесі прийняття управлінських рішень.

9. Узгодження стандартів щодо сумісності обладнання, систем і символіки.

10. Підвищення ефективності процесів навчання персоналу.

В архітектурі централізованого управління як судно забезпечення у ГРК може застосовуватися безекіпажне судно. При цьому безекіпажне судноплавство безпосередньо залежить від стану інфраструктури та впровадження технологій е-Навігації. Безекіпажне судноплавство та е-Навігація є найперспективнішими напрямками застосування інноваційних технологій у галузі морського та річкового транспорту. Вони знаходяться на вістрі тенденції до автоматизації управління транспортом, створення інтелектуальних транспортних систем та безпілотних транспортних засобів та морських роботизованих систем.

Імплементація концепції е-Навігації як основи для розробки морських навігаційних технологій дозволяє безпечно та ефективно використовувати та експлуатувати сучасну інфраструктуру водних шляхів та проводити пошукові операції надводних та підводних об'єктів ГРК. Організація та проведення пошукових операцій надводних та підводних об'єктів ГРК вимагає опрацювання питання щодо створення безпілотної зони для практичної реалізації технології е-Навігації в зоні інтересу.

Створення безпілотної зони е-Навігації спільно із застосуванням технологій супутникової навігації та передачі даних відіграє ключову роль у підвищеній оперативності й ефективності проведення пошукових робіт на морі.

1.7 Постановка наукового завдання дослідження. Розробка методології проведення дослідження

1.7.1 Аналіз підходів щодо вирішення завдань прийняття рішень управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів на розширених множинах за векторним критерієм

При розробці механізмів прийняття рішень щодо управління рухом гібридного роботизованого комплексу необхідно враховувати, що їх ефективність оцінюється множиною показників (критеріїв). Кожен окремий показник характеризує певний аспект функціонування комплексу та має свою одиницю виміру, що унеможливорює зведення їх до єдиного критерію. Суперечливість локальних критеріїв приводить до того, що покращення будь-якого критерію приводить до погіршення іншого та навпаки. Вирішення цієї суперечливості досягається введенням допустимої області показників, що комплексно враховує всі вимоги, що висувуються.

Отже, проблема векторної оптимізації виникає кожного разу, коли вироблення маршруту руху гібридного роботизованого комплексу маємо оцінювати за декількома параметрами, що не зводяться один до одного і є суперечливими. Крім того, аналогічна задача виникає у разі вибору варіанту рішення при побудові траєкторії розходження в конфліктній ситуації в умовах неповної вихідної інформації. Відомо, що точно оптимізувати векторний функціонал за декількома показниками якості у більшості випадків неможливо, що вимагає прийняття компромісного рішення.

Отже, для розв'язання задач векторної оптимізації потрібно враховувати фактори складності та зводити поставлені задачі до більш простих задач скалярної оптимізації. Вибравши єдине з множини Парето-оптимальних рішень, здійснюється згортка векторного критерію шляхом:

1) побудови області Парето і надання ОПР, можливості вибору єдиного з Парето-оптимальних рішень. Тобто для задачі $E^{(q)}(\mathbf{x}) \rightarrow \max, \mathbf{x} \in X^{(f)}, q = \overline{1, L}$ вибирається Парето-оптимальне рішення $\mathbf{x}^n \in X^f$, таке, що серед множини рішень \mathbf{x}^n не знайдеться такої варіації $\delta(\mathbf{x})$, що $\forall q = \overline{1, L}$ будуть виконані умови:

$$E^{(q)}(\mathbf{x}^n + \delta\mathbf{x}) \geq E^{(q)}(\mathbf{x}^n), \quad q = \overline{1, L}. \quad (1.1)$$

Отже, рішення з області Парето, неможливо одночасно покращити за всіма скалярними критеріями. Важливо, що необхідна додаткова інформація для вибору єдиного з множин Парето-оптимальних рішень;

2) застосування методів скаляризації, тобто введення пріоритетів з призначенням або без призначення поступок для скалярних критеріїв з їх подальшою послідовною оптимізацією.

У методах послідовного досягнення часткових цілей і послідовних поступок критерії спочатку упорядковуються за важливістю $E^{(1)} > E^{(2)} > E^{(3)} > \dots > E^{(q)} > \dots > E^{(L)}$. Знак $>$ показує, що критерій $E^{(q)}$ важливіший за критерій $E^{(q+1)}$. Після цього виконується поетапне розв'язання задач векторної оптимізації, коли на кожному етапі вибирається рішення, пов'язане з одним компонентом векторного критерію [149]:

$$E^{(q)}(\mathbf{x}) \geq \bar{E}^{(q)}, \quad (1.4)$$

де $\bar{E}^{(q)}$ – мінімально допустиме значення $E^{(q)}$.

Далі розв'язується задача максимізації критерію $E^{(1)}$, знаходиться оптимальне рішення $E^{(1)*}$ і призначається поступка $\Delta E^{(1)}$, що може бути допущена для максимізації інших компонентів векторного критерію:

$$E^{(2)}(x) \rightarrow \max, \quad E^{(1)}(x) \geq E^{(1)*} - \Delta E^{(1)}.$$

Далі призначають поступку $\Delta E^{(2)}$, максимізують критерій $E^{(3)}$ при обмеженнях на критерії $E^{(1)}$ та $E^{(2)}$ і т. д.

У загальному випадку метод послідовних поступок навіть при невеликих значеннях поступок $\Delta E^{(q)}$ забезпечує широкий діапазон пошуку рішень. Але даний метод є мало придатним для задач прийняття оперативних рішень і при невдалому виборі пріоритетів чи поступок;

3) оптимізації на основі введених компромісних відношень. Зазвичай для компромісного рішення встановлюються вагові співвідношення між локальними критеріями або допустимі значення всіх локальних критеріїв, крім головного. Найчастіше скаляризація полягає у формуванні загального критерію у вигляді завершеної суми:

$$E(x) = \sum_{q=1}^L \lambda_q E^{(q)}(x) \rightarrow \max, \quad \sum_{q=1}^L \lambda_q = 1, \quad (1.5)$$

де λ_q – вагові коефіцієнти важливості критеріїв, для знаходження яких застосовують експертні методи.

Доведено, що отримане із застосуванням критерію (1.5) рішення одночасно є Парето-оптимальним.

При рішень управління рухом гібридного роботизованого комплексу умови роботи об'єкта дозволяють достатньо легко сформулювати допустимі значення всіх скалярних критеріїв $E^{(q)}$. Відомі значення $E^{(q)}$ дозволяють знайти рішення, що задовольняє обмеженням

$$E^{(q)}(x) \geq \overline{E^{(q)}}, \quad q = \overline{1, L}. \quad (1.6)$$

Але отримане таким шляхом рішення не завжди є Парето-оптимальним. Тому здійснюється перехід до задачі порогової оптимізації, особливо при побудові обчислювальних процедур прийняття оперативних рішень. У даному випадку з всієї множини виділяють єдиний найважливіший або довільно взятий критерій, а інші зводяться у систему обмежень

$$\begin{aligned} E^{(1)}(\mathbf{x}) &\rightarrow \max, \\ E^{(q)}(\mathbf{x}) &\geq E^{(q)}, \quad q = \overline{2, L}, \end{aligned} \quad (1.7)$$

розв'язання якої належить до області Парето;

4) оптимізації шляхом введення ідеального (утопічного) рішення у просторі L максимізуємих критеріїв утопічної точки з координатами $E^{(1)*}, E^{(2)*}, \dots, E^{(q)*}, \dots, E^{(L)*}, (q = \overline{1, L})$ і на наближенні до цього ідеального рішення за нормою

$$\left\{ \sum_{q=1}^L \left| \left[E^{(q)}(\mathbf{x}) / E^{(q)*} \right] - 1 \right|^p \right\}^{1/p}, \quad (1.8)$$

де $E^{(q)*}$ – максимальне значення q -го критерію, отримане без врахування інших критеріїв, а p залежить від складності конкретної задачі.

Введення утопічної точки з максимальним значенням q -го критерію $\bar{E}^{(q)}, q = \overline{1, L}$, отримане без врахування інших критеріїв, вимагає спочатку визначення оптимальних значень кожного скалярного критерію незалежно від інших критеріїв (задачі лінійного програмування). Далі розв'язується задача мінімізації відхилення від сформованої таким чином утопічної точки за критерієм (1.6) (задачі квадратичного програмування) [150]. Наближення до

ідеального рішення застосовується при прийнятті оперативних рішень на розширених множинах.

Єдине оптимальне рішення є оптимізацією у точці. Наявність векторних показників ефективності видає не оптимальні, а допустимі рішення, що є оптимізацією в області. Для отримання Парето-оптимального рішення використовують концепцію прийняття рішень на розширених множинах та оцінки складності [150].

Якщо існує множина оптимальних рішень задачі порогової оптимізації

$$E^{(1)}(x) \rightarrow \max, \quad E^{(q)}(x) \geq \bar{E}^{(q)}, \quad q = \overline{2, L}, \quad (1.9)$$

то на множині цих рішень існує хоч би одне Парето-оптимальне.

Формування векторного критерію при прийнятті рішень управління рухом ГРК для підвищення ефективності пошуку об'єктів є суб'єктивним. Це визначається суб'єктивним характером вибору вагових коефіцієнтів та співставлення різнорідних за своєю фізичною сутністю показників. Векторний критерій дорівнює максимальній кількості скалярних критеріїв, що описують керуючі і вихідні параметри процесу. Додавання нового критерію до обраної системи означає, як правило, не зміни раніше знайдених рішень, а зміни, зв'язані з призначенням вагових коефіцієнтів або порогів.

При постановці задачі двокритеріальної оптимізації (рис. 1.4):

$$\begin{aligned} E^{(1)} &\rightarrow \max, \quad E^{(2)} \geq \bar{E}^{(2)}, \\ E^{(2)} &\rightarrow \max, \quad E^{(1)} \geq \bar{E}^{(1)}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

маємо два рішення (точки D і C для першої і другої задачі відповідно). У загальному випадку для вибору Парето-оптимальних рішень використовують застосовують принцип мінімальної складності. Так, якщо друга задача розв'язується простіше, то:

$$E^{(2)}(x) \rightarrow \max, \quad E^{(1)}(x) \geq E^0 + k\Delta E^{(1)}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (1.11)$$

де E^0 – початкове значення порогу по $E^{(1)}$;

k – поточний множник;

$\Delta E^{(1)}$ – приріст першого критерію.

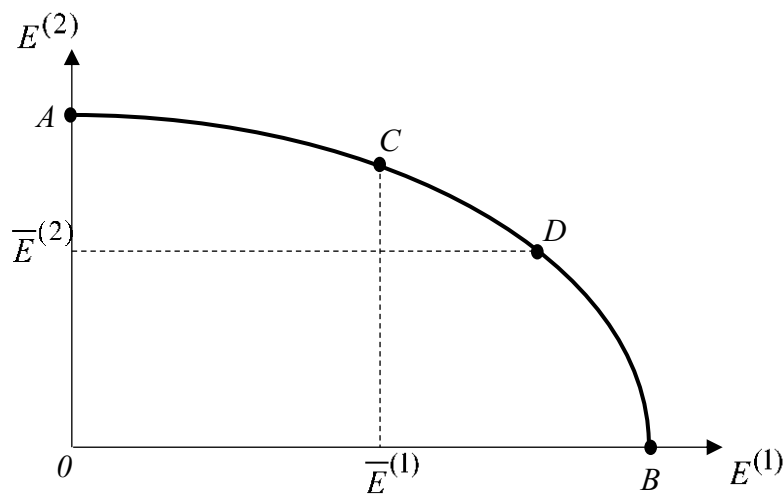


Рисунок 1.4 – Графічна інтерпретація розв'язання пов'язаних задач
(Джерело: розроблено автором)

Складність розв'язання кожної пов'язаної задачі дозволяє побудувати дискретну шкалу складності

$$W_t = \left\{ W_t^{(q)} : W_t^{(q)} \leq W_t^{(q+1)}; \quad q = \overline{1, L} \right\} \quad (1.12)$$

і розв'язувати задачі оптимізації типу (1.4) і задачі порогової оптимізації (1.10), задавши початкове значення порогу оптимізуемого критерію E^0 , його приріст $\Delta E^{(1)}$, і отримати очікуєму оцінку для граничного числа ітерацій k .

Якщо є обмеження на час побудови шкали складності при прийнятті рішень за якісно змінюваною інформацією, вводять оцінки часу побудови:

$$W_t = \{W_t^C, W_{t(a)}\}, \quad (1.13)$$

де W_t^C – час для побудови шкали і розв'язання мінімально складної задачі;

$W_{t(a)}$ – час отримання задовільного рішення деяким базовим алгоритмом.

Якщо рішення розглянутих задач має задану похибку, особливого значення набувають процедури векторної оптимізації на основі принципу складності при прийнятті рішень на розширених множинах альтернатив.

Розглянемо постановку задачі прийняття рішень на розширених множинах за векторним критерієм.

Нехай кортеж $\langle P, G, D, y^0, U^f, H \rangle$ визначає задачу пошуку задовільних рішень, де P – початкова (вихідна) функція, що визначає структуру і зміст задачі прийняття рішень; G – оціночна функція, що відображає прийняті рішення на множині оцінок; D – функція допустимості, що визначає граничні значення якості рішення; y^0 – конкретний елемент $y^0 \in Y$ з множини Y , який у подальшому приводить до отримання рішення з конкретними числовими параметрами; U^f – підмножина допустимих управлінь (дій), що можуть привести до розв'язання задачі; H – множина невизначеностей, в якій кожен елемент $h \in H$ характеризує ступінь незнання параметрів задачі або властивість діючих випадкових збурень.

Нехай для множини вхідних параметрів Y і множини вихідних параметрів X існують певна множина оціночних функцій

$$G^{(q)} : Y \times H \times U \times X \rightarrow E^{(q)}, \quad q = \overline{1, L}, \quad (1.14)$$

і функція допустимості:

$$D^{(q)} : Y \times H \rightarrow E^{(q)}, \quad q = 1, 2, \dots; \quad q \leq L. \quad (1.15)$$

Тобто, кортеж $\langle P, G, D, y^0, U^f, H \rangle$ перетворився на сукупність:

$$\langle P, G^{(q)}, D^{(q)}, y^0, U^f, H \rangle. \quad (1.16)$$

Введення додаткових критеріїв (1.12) перетворює задачі прийняття рішень на розширених множинах у задачі багатокритеріальної оптимізації і вимагає розв'язання проблеми скаляризації векторного критерію залежно від співвідношення між кількістю функцій толерантності й оціночних.

Випадок 1. Якщо кількість функцій (1.13) дорівнює кількості функцій (1.12), то розв'язується задача мінімізації складності на оцінках $Z(P', G', D', Y', U^{f'}, H') \ R \ Z(P, G, D, Y, U^f, H)$ (де Z – показник, що описує складність процедури прийняття рішень; R – відношення порядку на оцінках Z) і формуються L пов'язаних задач для вибору мінімально складної.

Випадок 2. Якщо кількість оціночних функцій (1.12) більша кількості функцій толерантності (1.13) на одиницю, то допустимою є постановка задачі мінімальної чи обмеженої складності залежно від обраного основного критерію.

Випадок 3. Якщо кількість оціночних функцій (1.12) більша кількості функцій толерантності (1.13), то при розв'язанні задача скаляризації векторного критерію допустимими є всі раніше розглянуті підходи.

Випадок 4. Якщо функції толерантності не задані, то після введення первинних показників якості типу $q_V \in Q_V$, де Q_V – допустимі області, переходимо до випадку 3.

Нехай у задачі прийняття рішень за векторним критерієм на розширених множинах задані первинні показники якості $q_V \in Q_V$ і кортеж, в якому всі множини є розширеними:

$$\langle P, G^{(q)}, D^{(q)}, Y, U, H \rangle. \quad (1.18)$$

Поставимо задачу: знайти підмножини $Y' \in Y$, $U^{f'} \in U$, $H' \in H$, $G^{(q)'} \in G$, $D^{(q)'} \in D$ й елемент $P' \in P$, що для будь-яких елементів $y' \in Y'$ і $h' \in H'$ знайдеться елемент $u' \in U^{f'}$ і відповідний u' елемент x' , при яких трійка $\langle y', u', x' \rangle \in S$, тобто виконуються первинні показники якості $q_V \in Q_V$ й умова

$$Z(P', G^{(q)'}, D^{(q)'}, Y', U^{f'}, H') \ R \ Z(P, G^{(q)}, D^{(q)}, Y, U^f, H). \quad (1.17)$$

Дана задача узагальнює задачу при прийнятті рішень управління рухом гібридного роботизованого комплексу в умовах нечітких початкових умов сумісно з критерієм оцінки $Z(G', D') R_{g,D} Z(G, D)$, де $Z(G', D')$ – показник ефективності вибору критерію та його допустимого значення, що враховує складність реалізації процедури прийняття рішення.

Дана задача розв'язується складніше, але у такій постановці можна отримати більш ефективні рішення шляхом розширення множини розглянутих альтернатив і мінімізувати складність шляхом використання процедур векторної оптимізації.

1.7.2 Розробка методології проведення дослідження

Прийняття рішень щодо управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів – це процес, що характеризується багатокритеріальністю, ітераційністю, розгалуженістю і складається з:

- генерування альтернативних варіантів рішень;
- їх оцінки за заданим критерієм ефективності;
- вибору найкращого варіанту.

Тому важливими етапами виконання роботи є вибір апарату формалізації для розпізнавання навігаційних ситуацій в зоні інтересу при виконанні пошукової операції, визначення меж предметної області та реалізація технології автоматичного управління рухом різнотипних засобів комплексу. На теперішній час відсутня відпрацьована технологія ефективного управління рухом гібридного роботизованого комплексу для пошуку надводних та підводних об'єктів. Перспективна технологія враховуватиме тенденції розвитку роботизованих систем і комплексів, питання розпізнавання навігаційних ситуацій у районі пошуку та формування маршруту руху ГРК між районами пошуку [99, 149, 150].

Отже, з одного боку, для потреб суспільства, оборони і бізнеса необхідно здійснювати оперативне та обґрунтоване прийняття рішення у процесі виконання пошукової операції. З іншого боку, недостатньо розроблені методи і моделі управління рухом гібридного роботизованого комплексу в умовах невизначеності. Це обумовлено невідповідністю в науці, яка полягає у необхідності оперативного й обґрунтованого управління складовими гібридного роботизованого комплексу при виконанні пошукової операції та недостатньо розробленими методами управління елементами ГРК в умовах невизначеності, що відповідають потребам практики.

У дисертаційній роботі дана невідповідність усувається шляхом вирішення актуального наукового завдання, яке полягає у розробці моделей та методів управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів.

Вирішення цього наукового завдання дозволить формалізувати основні етапи прийняття рішення у процесі виконання пошукової операції надводних та підводних об'єктів; формалізувати етапи комплексування інформації, оцінки та прогнозування навігаційної обстановки в системі e-Navigation; обґрунтувати технологію управління рухом апаратів гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів.

Метою дисертаційної роботи є підвищення оперативності та обґрунтованості рішень щодо управління рухом гібридного роботизованого комплексу у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів.

Для досягнення мети дослідження необхідно розв'язати такі часткові наукові завдання (рис. 1.5).

1. Проаналізувати підходи щодо формалізації і подальшого вирішення завдань прийняття рішення та реалізації управлінських дій у процесі пошукової операції надводних та підводних об'єктів.

2. Вперше розробити метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом.

3. Розробити модель комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різнорідних джерел інформації.

4. Розробити метод формалізації процесу комплексування інформації в процесі моніторингу навігаційної обстановки в системі е-Навігації.

5. Розробити метод формалізації процесу оцінки та прогнозування навігаційної обстановки в системі e-Navigation.

6. Оцінити ефективність розроблених методів.

За результатами рішення першого часткового завдання надано загальну характеристику пошукових операцій надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом; проведено оцінку структури та функцій системи управління гібридного роботизованого комплексу і розглянуто особливості взаємодії апаратів у ньому; обґрунтовані напрямки автоматизації системи управління пошуковими операціями та проаналізовані сучасні технології у рамках концепції е-Навігації для автоматизації процесу пошуку надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом й інтелектуальні методи у системах навігації і планування управління ГРК; здійснено постановку наукового завдання дослідження.

У результаті вирішення другого часткового завдання вперше розроблено метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом.

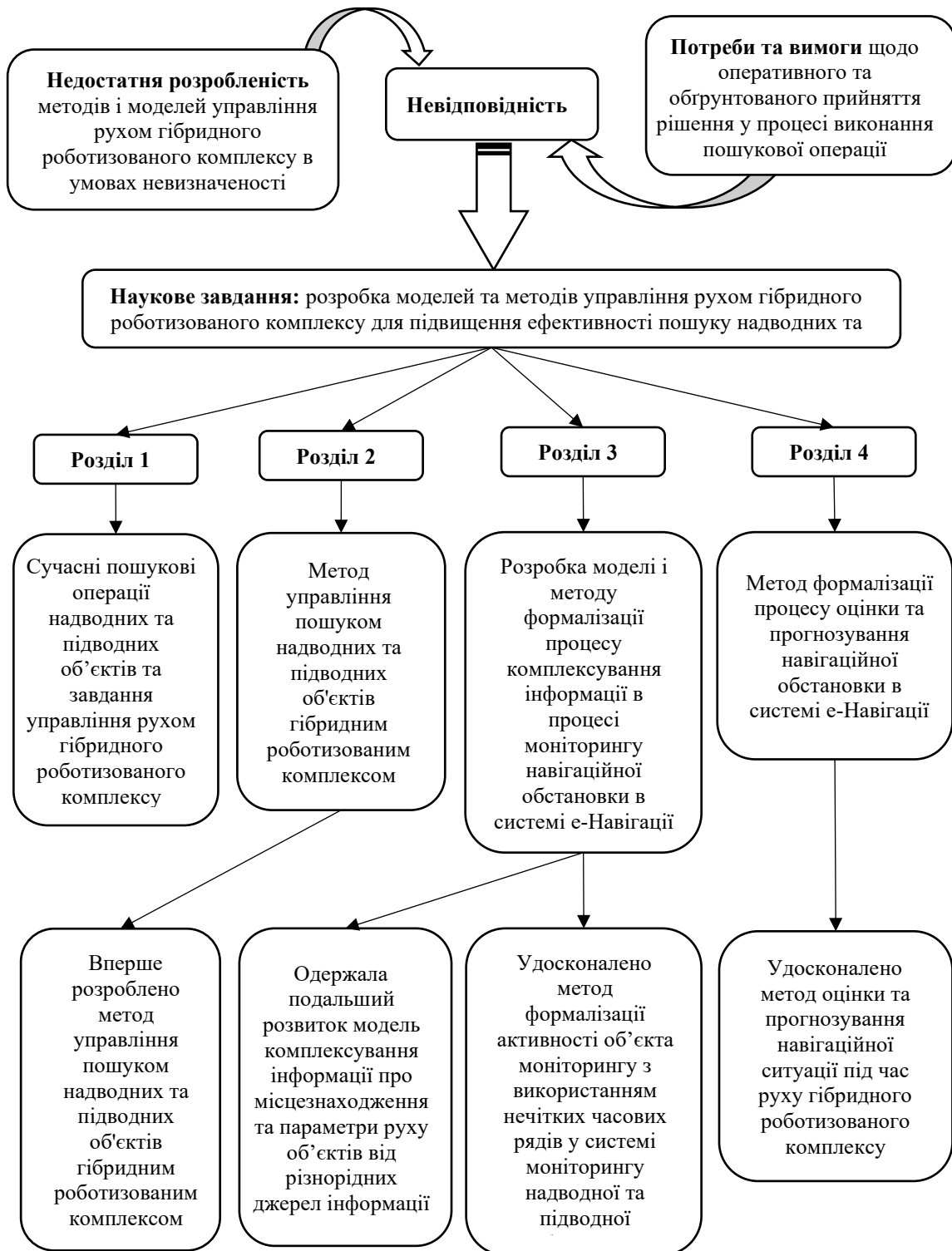


Рисунок 1.5 – Схема проведення дослідження

(Джерело: розроблено автором)

Необхідність у вирішенні третього часткового завдання пов'язана з розробкою моделі комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різнорідних джерел інформації.

Результатом вирішення четвертого часткового завдання є удосконалений метод формалізації активності об'єкта моніторингу з використанням нечітких часових рядів у системі моніторингу надводної та підводної обстановки.

При вирішенні п'ятого часткового завдання отримано удосконалений метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху гібридного роботизованого комплексу.

Рішення шостого часткового завдання дозволяє оцінити ефективність розроблених методів.

Висновки до розділу 1

1. Результати аналізу сучасного стану у галузі морської робототехніки показали, що одним з напрямків підвищення ефективності пошуку надводних і підводних об'єктів на морі є застосування гібридних роботизованих комплексів.

2. Дослідження сучасних методів управління ГРК у процесі пошуку надводних і підводних об'єктів демонструють дві основні концепції автоматизації групового використання морських роботизованих апаратів:

- автоматизація окремого засобу пошуку як "агента" ГРК;
- автоматизація групового управління роботизованими апаратами у ГРК.

Управління гібридними роботизованими комплексами організується за централізованим, децентралізованим і напівдецентралізованим способами.

3. Перспективним напрямком вважається розробка моделі роботи ГРК з потенціалом для виконання широкого спектру пошукових завдань. Показано, що загальне наукове завдання автоматизації процесів управління ГРК розпадається на чотири часткових завдання:

- формулювання кінцевої мети пошукової операції, яку виконує ГРК;

- розробка плану пошукової операції (стратегії управління);
- групове управління апаратами у ГРК відповідно до розробленого плану;
- автоматичне управління окремим автономним апаратом як «агентом» ГРК.

4. Виявлена невідповідність у питанні розпізнавання навігаційних ситуацій в зоні інтересу при виконанні пошукової операції та синтезу варіантів рішень для формування маршруту руху гібридного роботизованого комплексу між районами пошуку. Вона викликана необхідністю оперативного та обґрунтованого прийняття рішення в процесі виконання пошукової операції, з одного боку, і недостатньою розробкою наукових методів управління гібридними роботизованими комплексами в умовах невизначеності, з іншого.

5. Для усунення цієї невідповідності сформульоване актуальне наукове завдання, яке полягає у розробці моделей та методів управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів. Здійснена математична постановка завдання дослідження. Розроблена методологія проведення дослідження.

6. Сформульовано головні завдання дисертаційного дослідження:

- проаналізувати підходи щодо формалізації і подальшого вирішення завдань прийняття рішення та реалізації управлінських дій у процесі пошукової операції надводних та підводних об'єктів.
- вперше розробити метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом.
- розробити модель комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різнорідних джерел інформації.
- розробити метод формалізації процесу комплексування інформації в процесі моніторингу навігаційної обстановки в системі е-Навігації.
- розробити метод формалізації процесу оцінки та прогнозування навігаційної обстановки в системі e-Navigation.
- оцінити ефективність розроблених методів.

Основні результати розділу надруковані у роботах [141].

РОЗДІЛ 2

МЕТОД УПРАВЛІННЯ ПОШУКОМ НАДВОДНИХ ТА ПІДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ГІБРИДНИМ РОБОТИЗОВАНИМ КОМПЛЕКСОМ

Аналіз сучасних методів управління пошуком надводних та підводних об'єктів роботизованими апаратами в пошукових роботах, наукових та природоохоронних дослідженнях, моніторингу, інспекційних та воєнних підводних роботах свідчить про необхідність застосування ГРК.

2.1 Вихідні дані, обмеження, допущення та постановка задачі управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом

Аналіз процесу проведення пошуку надводних і підводних об'єктів показує, що одним перспективних напрямків підвищення ефективності та безпеки є групове застосування роботизованих апаратів різних типів (БПЛА, безкіпажних пошукових суден (БПС), АНПА). На теперішній час швидко розвивається напрям робототехніки – "Collective Cognitive Robots, CoCoRo" (колективні когнітивні апарати-роботи), що потребує автоматизації на трьох основних рівнях:

- базовому рівні (автоматизація окремого роботизованого апарату);
- локальному рівні (групове управління роботизованими апаратами);
- глобальному рівні (автоматизація пошукової операції).

Для реалізації принципів CoCoRo на глобальному рівні необхідним є застосування концепції e-Navigation для автоматизації процесу збору, обробки та видачі інформації у процесі пошукової операції для підвищення оперативності та безпеки проведення робіт.

Роботизовані комплекси стають важливим інструментом для морських операцій з пошуку надводних та/або підводних об'єктів [1]. Досягнення високої продуктивності виконання надводних та підводних робіт досягається

шляхом групового застосування АНПА, БПС та БПЛА. Тому одним з основних напрямків підвищення продуктивності пошуку надводних та/або підводних об'єктів в умовах жорстких обмежень на час виконання місії стає створення гібридних роботизованих комплексів. У даних комплексах передбачається групове застосування АНПА, БПС та БПЛА, які одночасно виконують спільну місію. Варіант схеми гібридного роботизованого комплексу зображено на рис. 2.1.

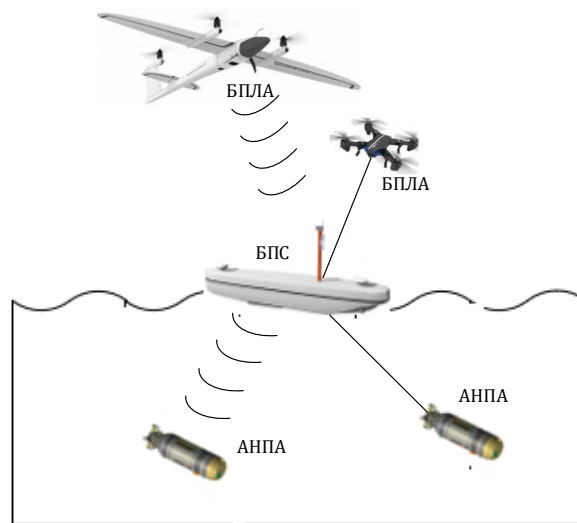


Рисунок 2.1 – Варіант схеми гібридного роботизованого комплексу

(Джерело: розроблено автором)

Головними перевагами гібридного роботизованого комплексу є [82]:

- висока продуктивність надводних та підводних пошукових робіт, виконуваних на великих за площею акваторіях із залученням роботизованих апаратів, кількість яких залежить від загальної тривалості пошукової операції;
- багаторазове зниження загальних фінансових витрат на проведення морських пошукових операцій завдяки серйозному зниженню собівартості перспективних комплексів у порівнянні з традиційними АНПА малого класу.

Основними недоліками застосування ГРК є:

- складність автоматизації узгодженої роботи апаратів, що входять до складу ГРК, при виконанні спільної пошукової операції;

- складність розробки системи автоматичного попередження аварійних ситуацій в умовах складної навігаційної обстановки;
- складність організації системи зв'язку між елементами комплексу та береговим центрами управління пошуковою операцією;
- ризики втрати частини апаратів ГРК внаслідок впливу факторів навігаційної обстановки, збоїв програмного забезпечення системи автоматизованого управління чи технічних відмов окремих апаратів.

Складність управління ГРК полягає в оперативному плануванні безпечного маршруту руху при пошуку надводних та/або підводних об'єктів. Це накладає певні обмеження на побудову маршруту при зміні районів пошуку для забезпечення оперативності та безпеки пошукової операції. Застосування відомих методів планування маршруту обмежене через високу обчислювальну складність або неможливість побудови оптимальної за довжиною шляху траєкторії. Останнє є особливо важливим для систем, в яких необхідно планувати маршрут у режимі реального часу при мінімізації переміщення.

У процесі пошукової операції із залученням ГРК важливим є фактор часу виконання завдання. Це зумовлено економічними і фізичними чинниками, оскільки навігаційна обстановка може досить суттєво змінюватись з часом.

При плануванні пошукової операції із залученням гібридного роботизованого комплексу зазвичай застосовується така стратегія: район інтересу розбивається на кілька рівних частин (райони пошуку за кількістю апаратів) і кожен комплекс обстежує свою ділянку незалежно. Такий підхід має недоліки [121]:

1. Не враховується час переходу від вихідної точки до початкової точки маршруту пошуку.

2. При виході з ладу одного апарату зі складу ГРК його частина району залишається необстеженою. Якщо до гібридного роботизованого комплексу додати вільний апарат замість непрацюючого неможливо, то перерозподіл районів пошуку між апаратами без використання засобів автоматизації вважається досить складним завданням.

3. Постановка нових завдань для апаратів, які у процесі виконання

операції завершили огляд свого району пошуку значно раніше за інші, є досить складним завданням. Тут виникають питання оперативного перепланування маршрутів пошуку, коли траєкторія формуватиметься в міру виконання завдання.

Тому для мінімізації тривалості виконання пошукової операції необхідно враховувати час, необхідний для переміщення гібридного роботизованого комплексу від початкового положення до пошукових районів, вздовж траєкторії пошуку і між такими траєкторіями пошуку.

Для формальної постановки задачі планування маршруту гібридного роботизованого комплексу у пошуковій операції надводних та підводних об'єктів у роботі введено позначення, наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Позначення для формальної постановки задачі планування
(Джерело: розроблено автором)

Позначення	Значення
$\{x_0, x_n, x_f\} \in X$ $\{y_0, y_n, y_f\} \in Y$	Координати початкової, проміжних та кінцевої точок, які мають належати множині всіх точок маршруту пошуку
$x_i \in X, y_i \in Y$	Координати маршруту пошуку в момент часу $t_i \in T^{route}$
$U = f(x, y)$	Навігаційна функція для побудови маршруту руху гібридного роботизованого комплексу
$x^{obs} \in Z_{obs_{int_{int}}}, D_{obs}^{safe}$	Координати навігаційних перешкод та дистанція безпечного розходження, що знаходяться в області інтересу в операції пошуку
Z_{int}	Область інтересу в операції пошуку
$R_i^Z \in Z_{int}$	Район проведення пошуку
p^{route}	Курсовий параметр проходу маршруту повз перешкоду

Під інтелектуальним плануванням маршруту мається на увазі синтез переведення роботизованого апарату з деякого вихідного стану до

функціонально-цільового шляхом фіксування його координат у кінцевому навігаційному просторі. Планом маршруту гібридного роботизованого комплексу є така навігаційна функція:

$$U = f(x, y), \quad (2.1)$$

яка дозволяє здійснити рух з початкової точки

$$x_0 \in X \text{ у кінцеву точку } x_f \in X, \quad (2.2)$$

та проходить через всі визначені проміжні точки

$$x_n \in X, \text{ причому } x^{obs} \notin X, \quad y^{obs} \notin Y \text{ та } p^{route} \geq D_{obs}^{safe}. \quad (2.3)$$

Для синтезу маршруту гібридного роботизованого комплексу необхідно знайти таку

$$U = f(x, y); \quad (2.1)$$

за умов

$$\begin{cases} x_0, x_f, x_n \in X \\ y_0, y_n, y_f \in Y \\ x^{obs} \notin X, \quad y^{obs} \notin Y; \\ p^{route} \geq D_{obs}^{safe} \end{cases} \quad (2.2)$$

при якій

$$\begin{cases} T^{route} \rightarrow \min \\ P_{safe}^{route} \rightarrow \max \end{cases}, \quad (2.3)$$

де T^{route} – загальний час проходження маршруту;

P_{safe}^{route} – ймовірність безаварійного проходження маршруту.

Для розв’язання поставленої задачі необхідна розробка низьковитратного за обчислювальними ресурсами алгоритму, який дозволить планувати маршрут руху гібридного роботизованого комплексу у режимі реального часу.

2.2 Модель функціонування гібридного роботизованого комплексу у процесі пошукової операції

У загальному випадку задача побудови маршруту пошуку розв’язується у два етапи [66]:

- на першому етапі визначаються координати множини точок на водному просторі різними методами: графовому, випадкових дерев, планування траєкторії в умовах ризику та ін.

- на другому етапі по множині точок маршруту на визначеному просторі будується параметрична крива необхідного ступеня гладкості, яка і розглядається як траєкторія руху гібридного роботизованого комплексу.

Такий підхід дозволяє здійснювати пошук об’єкту за умови наявності інформації про його найімовірніше місцезнаходження в зоні інтересу або пошук об’єктів, визначення місцезнаходження яких ускладнено в заданій зоні. Тому необхідно виконати обхід всього району пошуку.

Для розробки методу управління пошуком надводних та підводних об’єктів гібридним роботизованим комплексом побудовано графову модель станів функціонування ГРК (рис. 2.2) з такими його станами:

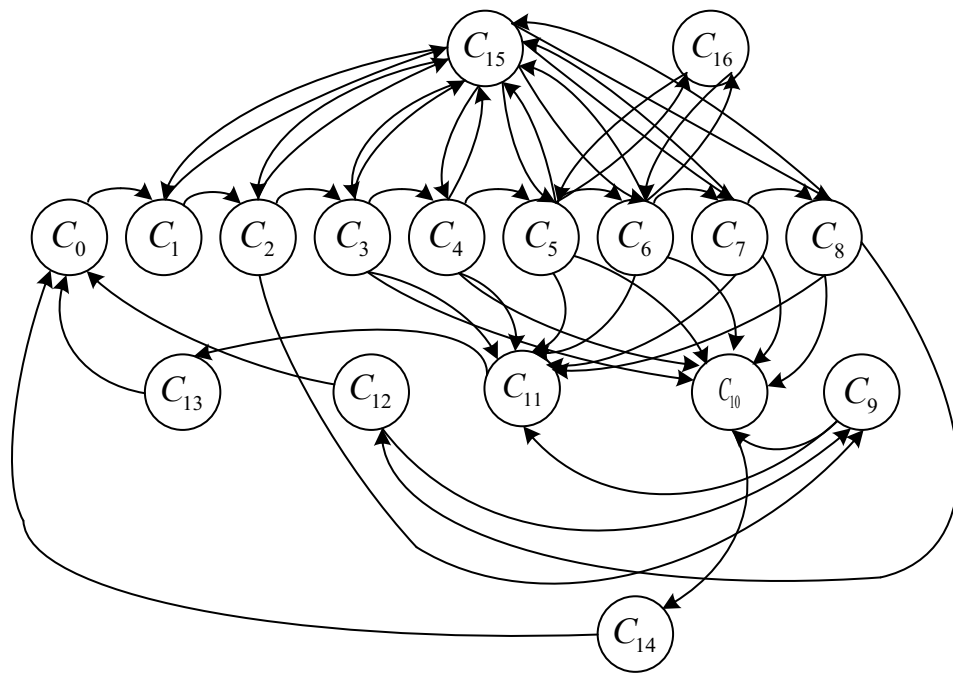


Рисунок 2.2 – Модель функціонування гібридного роботизованого комплексу у процесі пошукової операції
(Джерело: розроблено автором)

- C_0 – ГРК справний та готовий до виконання завдання пошуку;
- C_1 – підготовка до виконання пошукової операції;
- C_2 – початок руху ГРК;
- C_3 – розв’язання навігаційної задачі з метою виходу в район пошуку;
- C_4 – подолання негативних чинників навігаційної обстановки у процесі руху в зоні інтересу та в районі пошуку;
- C_5 – виконання завдання в районі пошуку;
- C_6 – контроль виконання завдання пошуку;
- C_7 – подолання різних деструктивних впливів з метою повернення у кінцеву точку маршруту;
- C_8 – розв’язання навігаційної задачі при русі до кінцевого пункту маршруту після виконання завдання;
- C_9 – пошкодження апарату зі складу ГРК у процесі виконання завдання пошуку;

C_{10} – вихід з ладу апарату зі складу гібридного роботизованого комплексу без можливості відновлення;

C_{11} – вихід з ладу апарату зі складу гібридного роботизованого комплексу з можливістю відновлення;

C_{12} – закінчення виконання завдання;

C_{13} – ремонтні або профілактичні роботи на гібридному роботизованому комплексі;

C_{14} – залучення додаткових пошукових засобів;

C_{15} – коригування виконання пошукового завдання із центру управління пошуком;

C_{16} – передача інформації щодо процесу виконання пошуку до центру управління пошуком.

Наведена на рисунку 2.2 модель показує, що гібридний роботизований комплекс у ході виконання морської пошукової операції може знаходитися в одному з таких станів:

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_i; i = 1 \div 16\}. \quad (2.4)$$

Пошук вважається виконаним при переході гібридного роботизованого комплексу у стан C_{12} (закінчення виконання завдання), обов'язково побувавши перед тим у станах C_5 (виконання завдання в районі пошуку) і C_6 (контроль виконання завдання пошуку).

2.3 Метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом

Процес вирішення завдань пошуку надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом, складається з таких етапів:

Етап 1. Отримання та аналіз умов завдання на пошук надводного або підводного об'єкта.

Етап 2. Визначення областей пошуку.

Етап 3. Розподіл групи автономних ненаселених підводних апаратів на підгрупи і постановка часткових завдань.

Етап 4. Планування узгоджених маршрутів руху до областей інтересу кожній підгрупі АНПА.

Етап 5. Реалізація управлінь узгодженими діями підгруп автономних ненаселених підводних апаратів до областей пошуку з обходом природних і штучних перешкод та запобіганням можливим зіткненням зі стаціонарними та мобільними об'єктами.

Етап 6. Виконання завдання в області пошуку.

Етап 7. Вихід та рух в район збору з обходом перешкод та запобіганням зіткненням.

Згідно до етапів процесу вирішення завдань пошуку надводних та підводних об'єктів було розроблено метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом (рис. 2.3) шляхом застосування відповідних запропонованих моделей та методів управління рухом даного комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів (рис. 2.4).

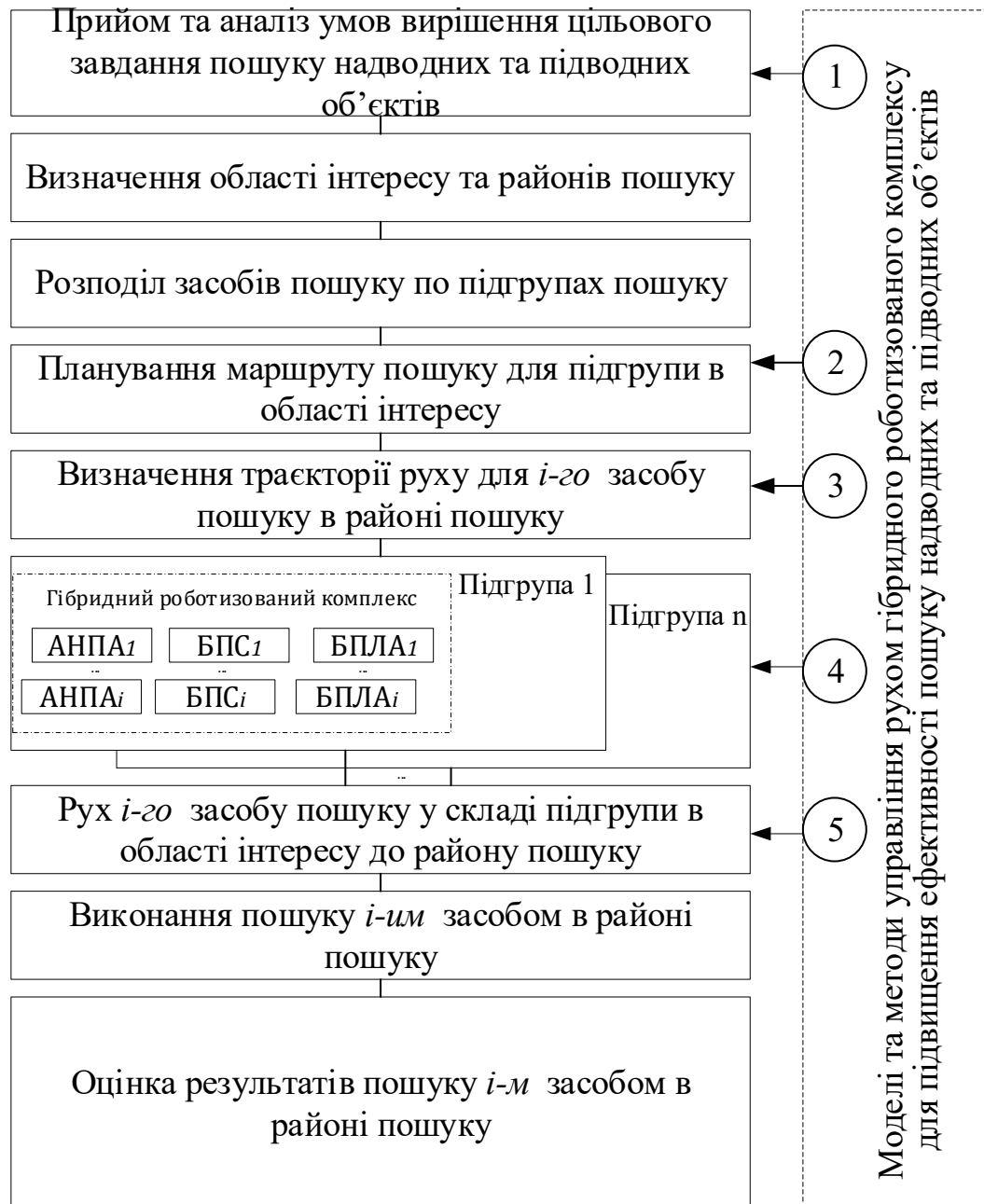


Рисунок 2.3 – Метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів
гібридним роботизованим комплексом
(Джерело: розроблено автором)

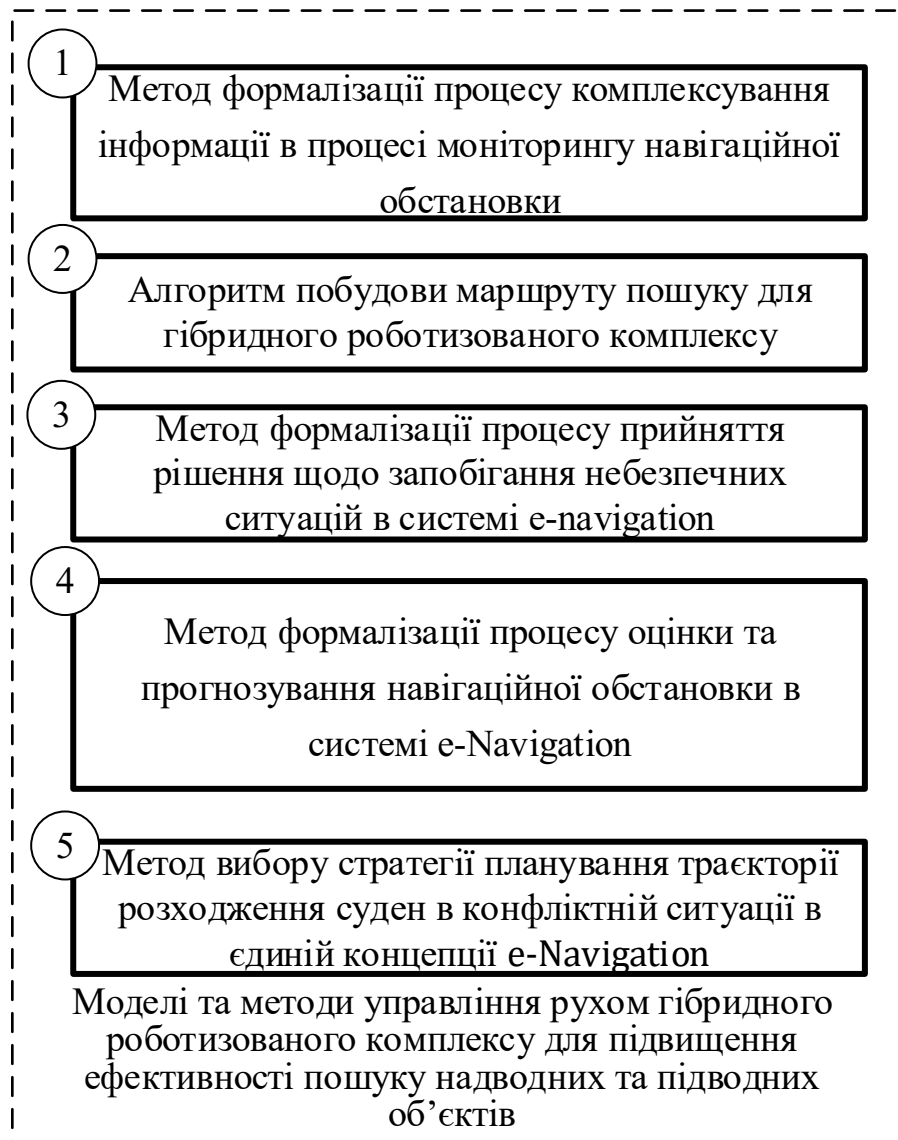


Рисунок 2.4 – Розроблені моделі та методи управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів

(Джерело: розроблено автором)

Основним етапом у процесі управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом є планування маршруту пошуку для підгрупи в області інтересу, оскільки від нього залежить оперативність, ефективність та безпека пошукової операції. Для планування маршруту пошуку для підгрупи в області інтересу запропоновано алгоритм побудови маршруту пошуку для ГРК. Схема алгоритму наведена на рис. 2.5.

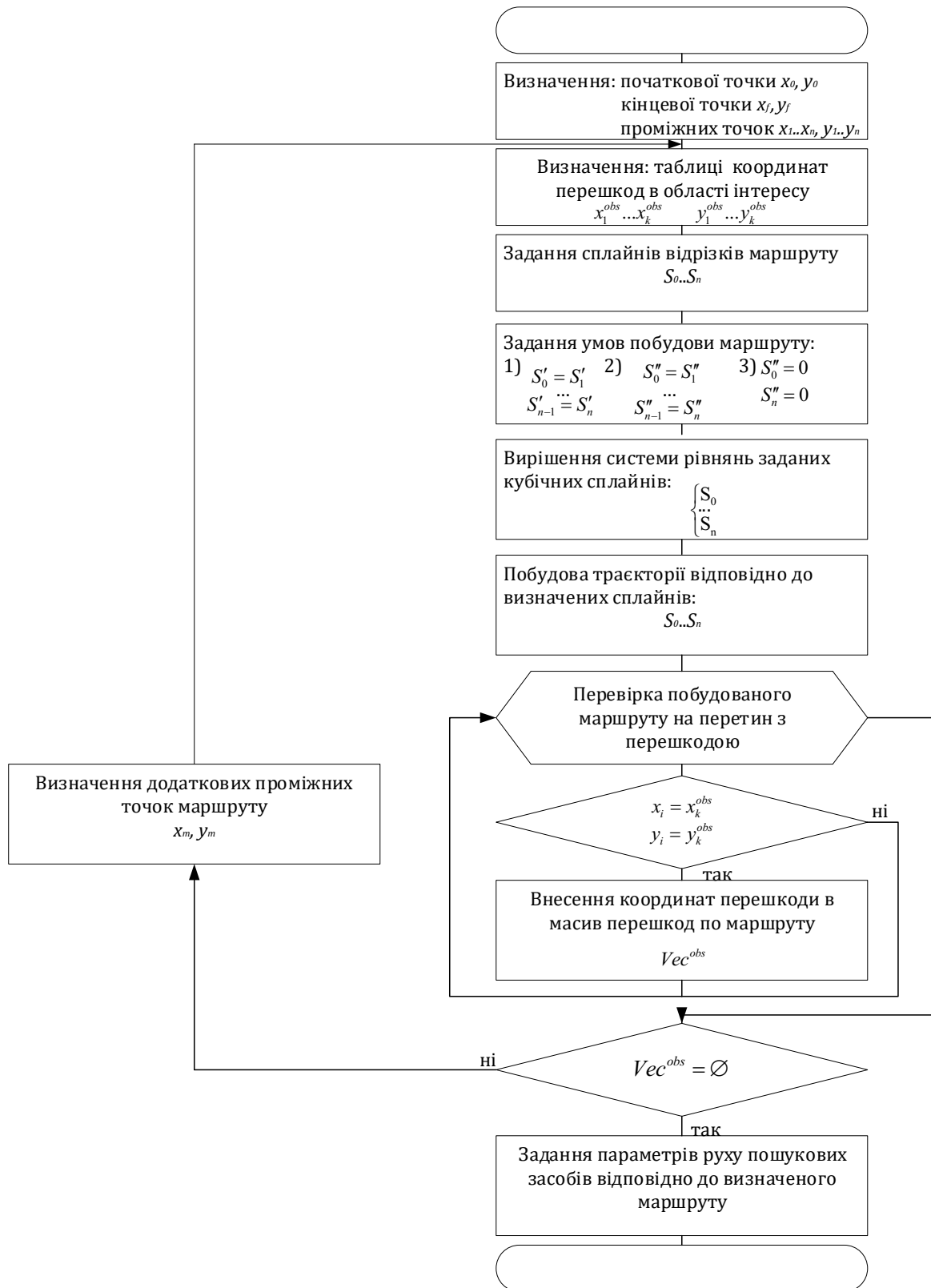


Рисунок 2.5 – Схема алгоритму побудови маршруту пошуку для гібридного
роботизованого комплексу

(Джерело: розроблено автором)

Для формування маршруту пошуку для гібридного роботизованого комплексу застосовано підхід на основі інтерполяції кубічними сплайнами [13]. На першому етапі визначаються координати точок початку та кінця маршруту. Координати проміжних точок визначаються відповідно до районів пошуку (РП). А саме вибираються точки входу та виходу з району пошуку. Черговість обходу районів пошуку визначається згідно ймовірності знаходження та важливості об'єктів пошуку в цих районах (рис. 2.6).

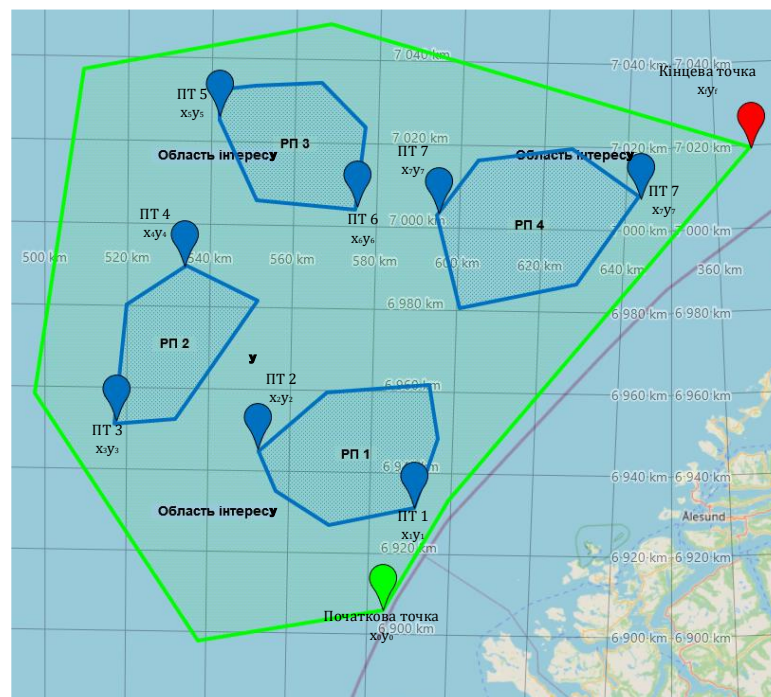


Рисунок 2.6 – Схема області інтересу та районів пошуку та визначення початкової, кінцевої та проміжних точок маршруту

(Джерело: розроблено автором)

На наступному етапі задаються сплайни відрізків маршруту відповідно до визначених початкової, кінцевої та проміжних точок:

$$\begin{aligned}
 S_0 &= a_0 + b_0(x - x_0) + c_0(x - x_0)^2 + d_0(x - x_0)^3; \\
 S_1 &= a_1 + b_1(x - x_1) + c_1(x - x_1)^2 + d_1(x - x_1)^3; \\
 &\dots \\
 S_n &= a_n + b_n(x - x_n) + c_n(x - x_n)^2 + d_n(x - x_n)^3,
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

де S_0, S_1, \dots, S_n – сплайни відрізків маршруту відповідно до точок маршруту;

x_0, x_1, \dots, x_n – координати початкової точки відрізка;

x – координата кінцевої точки відрізка;

a, b, c, d – коефіцієнти сплайна.

Для формування маршруту необхідно задати граничні умови, що формують кривизну, початок і кінець маршруту:

1) для визначення кута входу в точку маршруту:

$$\begin{aligned} S'_0 &= S'_1; \\ S'_{n-1} &= S'_n, \end{aligned} \tag{2.6}$$

2) для визначення кривизни проходу в точки маршруту:

$$\begin{aligned} S''_0 &= S''_1; \\ S''_{n-1} &= S''_n, \end{aligned} \tag{2.7}$$

3) для визначення умови початку та кінця маршруту:

$$\begin{aligned} S''_0 &= 0; \\ S''_n &= 0, \end{aligned} \tag{2.8}$$

У результаті формується система лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_0 = a_0 + b_0(x - x_0) + c_0(x - x_0) + d_0(x - x_0); \\ S_1 = a_1 + b_1(x - x_1) + c_1(x - x_1) + d_0(x - x_1); \\ \dots \\ S_n = a_n + b_n(x - x_n) + c_n(x - x_n) + d_n(x - x_n); \\ S'_0 = b_0 + 2c_0(x - x_0) + 3d_0(x - x_0)^2; \\ \dots \\ S'_{n-1} = b_{n-1} + 2c_{n-1}(x - x_{n-1}) + 3d_{n-1}(x - x_{n-1})^2; \\ S''_0 = 2c_0 + 6d_0(x - x_0); \\ \dots \\ S''_{n-1} = 2c_{n-1} + 6d_{n-1}(x - x_{n-1}); \\ S''_0 = 0; \\ S''_n = 0. \end{array} \right. \quad (2.9)$$

Розв'язання системи лінійних рівнянь (2.9) дозволяє визначити коефіцієнти сплайнів та підставити їх у навігаційну функцію

$$U = f(x, y) \quad (2.10)$$

для кожного відрізка маршруту. Інтерполяція навігаційної функції U виконується множенням значень x , де $x \in [x_0, x_f]$ на розрахункові сплайнові скалярні коефіцієнти a, b, c, d при фінальному підсумовуванні отриманих алгебраїчних елементів в кожному відрізку що заданий відповідним сплайном:

$$U = \left\{ \begin{array}{l} y_0 = a_0 + b_0(x) + c_0(x)^2 + d_0(x)^3, \text{ де } x \in [x_0, x_1]; \\ y_1 = a_1 + b_1(x) + c_1(x)^2 + d_0(x)^3, \text{ де } x \in [x_1, x_2]; \\ \dots \\ y_n = a_n + b_n(x) + c_n(x)^2 + d_n(x)^3, \text{ де } x \in [x_n, x_f]. \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Геометричну інтерпретацію синтезу маршруту руху ГРК на основі інтерполяції кубічними сплайнами показано на рис. 2.7.

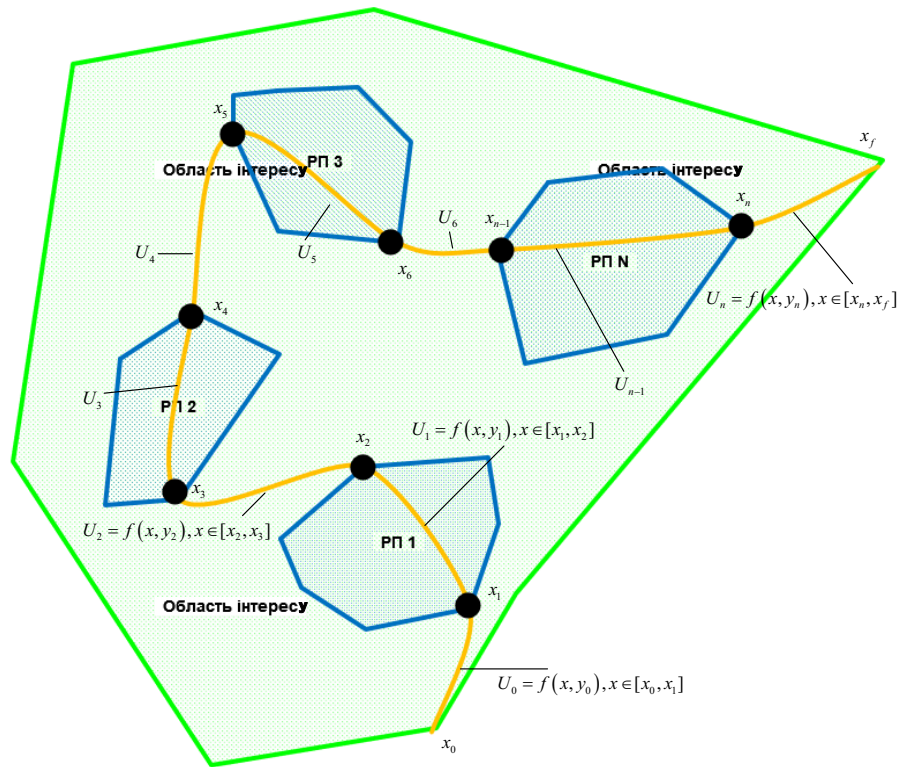


Рисунок 2.7 – Геометрична інтерпретація синтезу маршруту руху гібридного роботизованого комплексу

(Джерело: розроблено автором)

Після синтезу маршруту руху ГРК перевіряється безпечність маршруту щодо ситуацій небезпечного зближення зіткнення з навігаційними перешкодами. Маршрут перетинає навігаційну перешкоду при виконанні умови

$$\begin{cases} x^{obs} = x_i, y^{obs} = y_i \\ \text{and/or} \\ p^{route} \leq D_{safe}^{obs} \end{cases}, \quad (2.12)$$

де x^{obs}, y^{obs} – координати навігаційної перешкоди;

p^{route} – курсовий параметр проходу маршруту повз навігаційну перешкоду;

D_{obs}^{safe} – безпечна дистанція розходження з навігаційною перешкодою.

При виконанні умови навігаційна перешкода заноситься у масив перешкод Vec^{obs} у формі:

$$Vec^{obs} = \left\{ \{x_1^{obs}, y_1^{obs}, D_1^{obs}, par_1^{obs}\}, \{x_2^{obs}, y_2^{obs}, D_2^{obs}, par_2^{obs}\}, \dots \right\}, \quad (2.13)$$

де par^{obs} – параметр, що вказує на напрямок обходу навігаційної перешкоди (ліворуч або праворуч).

Якщо $Vec^{obs} = \emptyset$, то результат роботи алгоритму передається групі засобів пошуку гібридного роботизованого комплексу. Якщо $Vec^{obs} \neq \emptyset$, тоді визначаються нові проміжні точки маршруту, на основі яких будується траєкторія обходу навігаційної перешкоди за виразом:

$$\begin{cases} x_{i+1}^{route} = x^{obs} \pm \Delta x, \\ y_{i+1}^{route} = y^{obs} \pm \Delta y, \end{cases} \quad (2.14)$$

при

$$\begin{aligned} \Delta x &= D_{safe}^{obs} \cdot \cos \alpha \\ \Delta y &= D_{safe}^{obs} \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (2.15)$$

де α – кут між p^{route} та напрямком осі координат.

Знак " \pm " визначається відповідно до значення par^{obs} та напрямку руху ГРК. У результаті визначаються нові проміжні точки маршруту й алгоритм побудови маршруту пошуку для гібридного роботизованого комплексу повторюється. Геометричну інтерпретацію синтезу нового маршруту з урахуванням перешкод наведено на рис. 2.8.

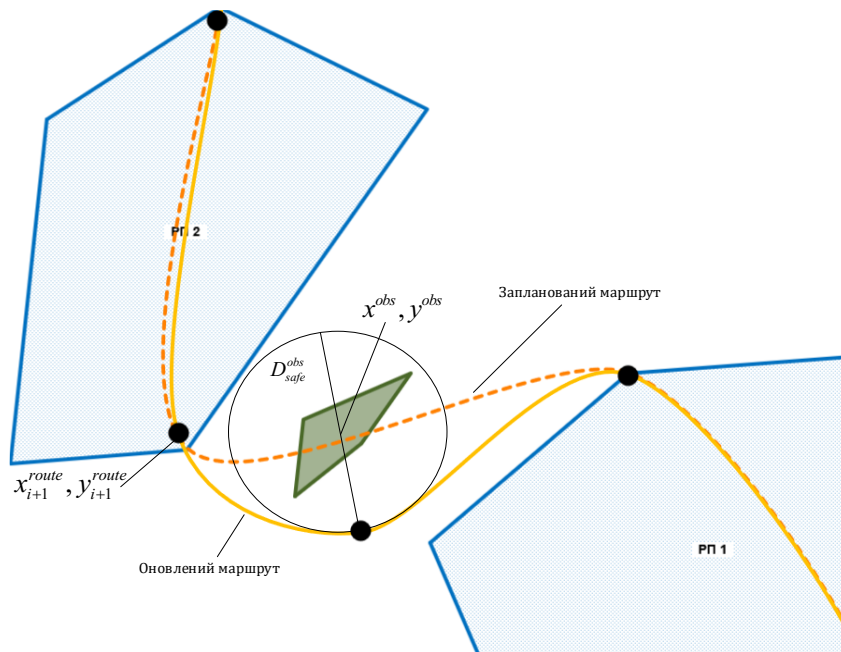


Рисунок 2.8 – Геометрична інтерпретація синтезу нового маршруту з урахуванням перешкод
(Джерело: розроблено автором)

Вироблення маршруту руху гібридного роботизованого комплексу на основі інтерполяції кубічними сплайнами може розглядатися як інтелектуальна підтримка прийняття рішення в пошуковій операції у рамках стратегічної технології e-Navigation. Алгоритм побудови маршруту пошуку для гібридного роботизованого комплексу на основі інтерполяції кубічними сплайнами може бути застосований у спеціальному програмному забезпеченні планування маршруту, що розробляється на основі технології великих даних.

2.4 Розробка методу вибору стратегії планування траєкторії розходження суден у конфліктній ситуації в єдиній концепції e-Navigation

2.4.1 Формалізація процесу планування траєкторії розходження в ситуаціях небезпечного зближення (зіткнення)

Формування маневру розходження в ситуаціях небезпечного зближення (зіткнення) виконується за двома складовими: курсом та швидкістю.

Пріоритетним управлінським впливом під час вирішення конфлікту є зміна курсу. Якщо зміни напрямку руху судна недостатньо, формується команда на зміну швидкості.

Зробимо такі припущення:

– формальний опис правил поведінки у ситуації небезпечного зближення (зіткнення) визначається МПЗЗС-72 [146], що дозволяє зробити припущення про узгодженість стереотипів поведінки судноводіїв. Тобто всі конфліктуючі сторони ставлять у відповідність кожному класу ситуацій наперед визначену стратегію вирішення конфлікту. Дії, що не відповідають правилам поведінки, вважаються як неправильне трактування вимог МПЗЗС-72 судноводієм;

– ситуації небезпечного зближення (зіткнення) не мають антагоністичного характеру, а саме відсутня цілеспрямована протидія судноводіїв у конфліктній ситуації.

У процесі побудови траєкторії розходження існують декілька варіантів маневру. Представимо відображення множини варіантів рішень при побудові оптимального варіанту траєкторії як:

$$(S : U, \lim \rightarrow K) \rightarrow \min(\max), \quad (2.16)$$

де S – множина варіантів зближення суден у конфліктній ситуації;

U – множина варіантів альтернативних рішень при побудові варіанту траєкторії;

\lim – обмеження, що накладаються на виконання маневрів;

K – множина критеріїв, за якими здійснюється оцінка щодо вибору рішення.

Множина варіантів зближення суден у конфліктній ситуації S :

1. Конфліктне судно зближується на зустрічному курсі.
2. Конфліктне судно перетинає наш курс при обгоні.
3. Наше судно перетинає курс конфліктного судна при обгоні.
4. Конфліктне судно є рухомими або нерухомим.
5. Лінія відносного руху нашого судна перетинає об'єкт навігаційної небезпеки.

Множина варіантів альтернативних рішень при побудові варіанту

траєкторії U та обмеження, що накладаються на виконання маневрів при небезпечному зближенні, визначаються правилами МПЗС-72 та взаємним розташуванням суден у зоні конфліктної ситуації. У ситуації зіткнення реалізацію маневру останнього моменту наведено на рис. 2.9.

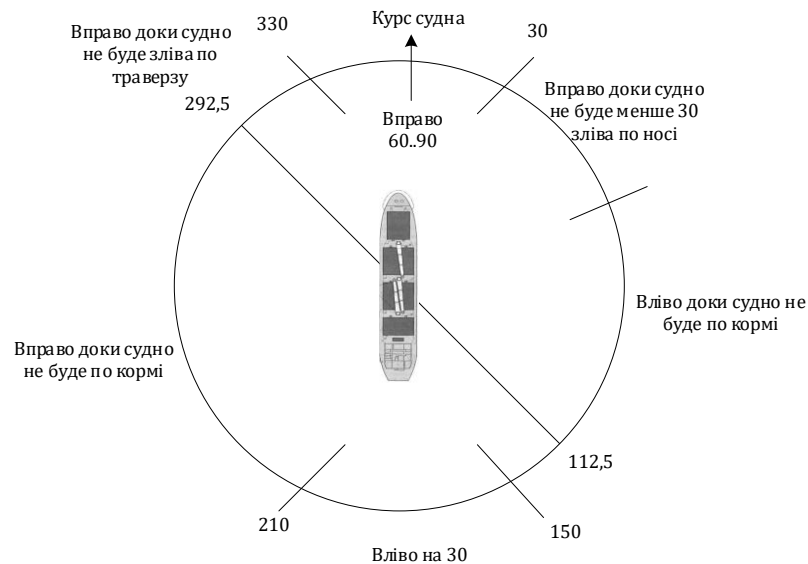


Рисунок 2.9 – Реалізація маневру останнього моменту

(Джерело: розроблено автором)

Ефективність вибору варіанту управлінського впливу з множини U у загальному випадку залежить від контрольованих (керованих) (ind^{cont}) факторів, тобто тих, на які судноводій може вплинути, і неконтрольованих (некерованих) (ind^{unc}), на які судноводій вплинути не може.

Для оцінки ефективності варіантів рішення щодо побудови траєкторії розходження в конфліктній ситуації в умовах неповної вихідної інформації формують матрицю ефективності на основі множини критеріїв оцінки результату (табл. 2.2), в якій позначені:

u_i – вектор параметрів управління, що формують маневри, з яких побудована траєкторія розходження;

ind_i – вектор параметрів, якими описується навігаційна обстановка;

k_{ij} – критерії ефективності u_i для стану обстановки ind_i ;

$K(u_i)$ – ефективність побудованої траєкторії розходження (варіант u_i).

Таблиця 2.2 – Матриця ефективності на основі множини критеріїв оцінки результату
(Джерело: розроблено автором)

u_i	ind_i		$K(u_i)$
	ind^{cont}	ind^{unc}	
u_1	k_{11}	k_{12}	$K(u_1)$
u_2	k_{21}	k_{22}	$K(u_2)$
...
u_m	k_{m1}	k_{m2}	$K(u_m)$

Кожен рядок таблиці містить значення ефективності одного варіанту рішення для всіх умов навігаційної обстановки, а кожен стовпець – значення ефективності для всіх елементів параметру управління u_i .

За основну концепцію багатокритеріальної оптимізації виступає концепція недомінуючих точок у просторі критеріїв R^m (множина Парето) [119, 56].

Оптимальність за Парето – це таке рішення, при якому значення кожного локального критерію не може бути покращене без погіршення значень інших критеріїв. Виходячи із даного визначення, реалізація варіанту $u^{opt} \in U$ траєкторії розходження може бути оцінена по n критеріях ефективності k_1, k_2, \dots, k_n . Тоді оптимальним рішенням буде:

$$K(u^{opt}) = \{k_1(u^{opt}), k_2(u^{opt}), \dots, k_n(u^{opt})\} \rightarrow \max_{U \in D \subset R^m}, \quad (2.17)$$

де D – кінцева та обчислювальна множина допустимих варіантів рішень при плануванні руху.

Прийняте рішення ($u \in U$) вважається недомінуючим (паретовським), якщо на кінцевій та обчислювальній множині допустимих варіантів рішень (D)

побудови траєкторії конфліктної ситуації не існує такого рішення $u_i \in U, i = \overline{1, m}$, яке за основними значеннями критеріїв ефективності k_1, k_2, \dots, k_n вважалося б не гіршим, ніж $(u_1^{opt}, u_2^{opt}, \dots, u_n^{opt}) \in D$, та є кращим хоча б за одним критерієм. У просторі альтернативних варіантів рішень у процесі планування траєкторії розходження є множина всіх оптимальних точок. Множиною Парето \square у просторі критеріїв (на множині критеріальних точок) є множина [69, 48]:

$$R^m = \{k_1(U), k_2(U), \dots, k_n(U)\}_{U \in D}. \quad (2.18)$$

Таким чином, розв'язуючи багатокритеріальну задачу оптимізації, вибираємо варіант рішення для планування та реалізації траєкторії розходження для вирішення конфліктної ситуації з множини Парето.

Кожен параметр процесу планування та реалізації руху залежить від обмежень та наявних ресурсів. Допустимим варіантом рішення називається такий набір параметрів, при якому задовольняються всі задані обмеження.

У результаті для множини альтернативних рішень можливе виникнення трьох ситуацій:

1) заданим обмеженням не задовольняє жоден варіант рішення. У цьому разі формується запит на зміну вхідних параметрів, і вибирається варіант рішення який задовольняє найбільшій кількості обмежень;

2) заданим обмеженням задовольняє лише один варіант рішення (ідеальний випадок). Тоді здійснюється подальше моделювання отриманого рішення й оцінка результатів для прийняття судоводієм остаточного рішення;

3) заданим обмеженням задовольняють декілька варіантів рішення. У цьому випадку необхідно виконати вибір оптимального варіанту за допомогою урізання множини Парето.

На рис. 2.10 наведено схему алгоритму вибору стратегії планування траєкторії розходження суден у конфліктній ситуації, що враховує обмеження,

які накладаються на параметри управління.

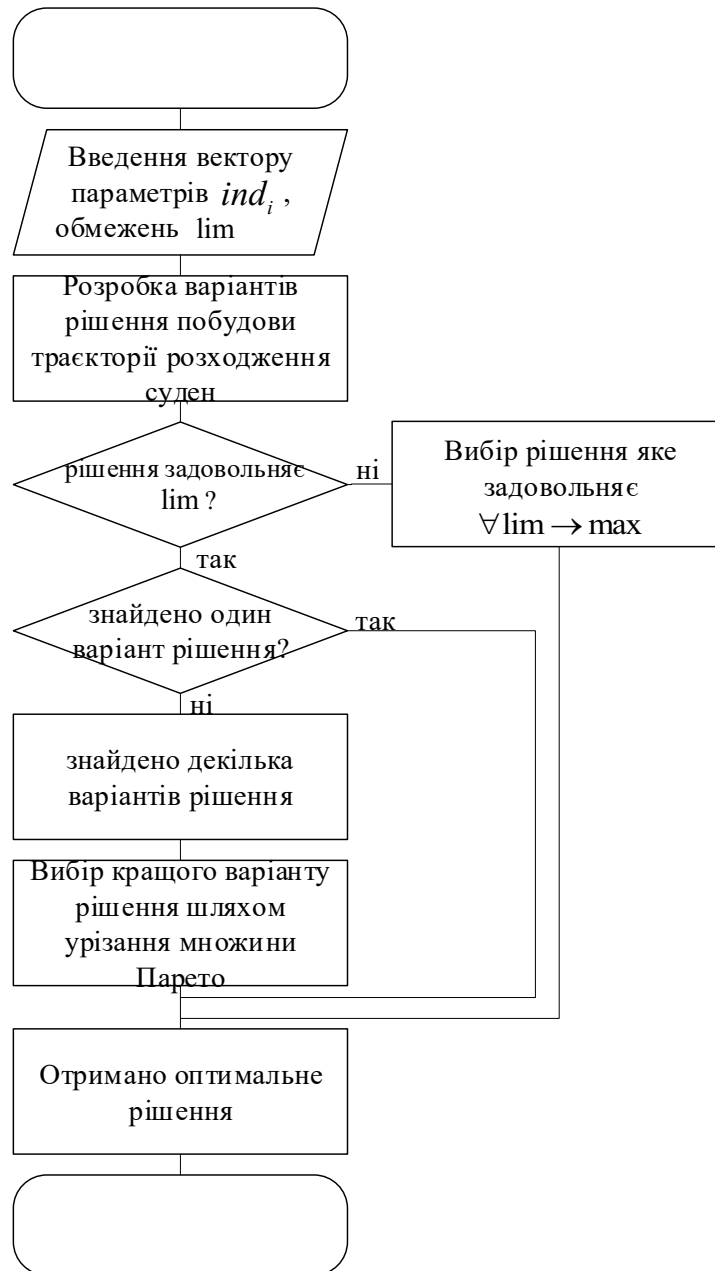


Рисунок 2.10 – Метод вибору стратегії планування траєкторії розходження суден у конфліктній ситуації

(Джерело: розроблено автором)

2.4.2 Розробка методу побудови маршруту розходження гібридного роботизованого комплексу із суднами в районі пошуку

Основним етапом алгоритму вибору стратегії планування траєкторії розходження суден у конфліктній ситуації є розробка варіантів рішення побудови траєкторії розходження суден. Процедура побудови траєкторії є ітераційним обчислювальним процесом, що має містити такі елементи:

- визначення точок зміни курсу та параметрів руху судна;
- побудова траєкторії по точках зміни курсу;
- визначення порядку зміни параметрів руху;
- формування рішення щодо управлінського впливу.

Незважаючи на те, що різні алгоритми призначені для побудови траєкторії у різних ситуаціях, можна виділити загальну структуру планування (див. рис. 2.10) для побудови траєкторії.

Вибір стратегій для попередження загрози небезпечного зближення (зіткнення) має передбачати те, що кожна навігаційна небезпека, яка знаходиться в зоні огляду, може в будь-який момент змінити елементи свого руху. Крім того, можуть бути виявлені додаткові перешкоди руху, у тому числі на невеликій дистанції. Поява таких подій різко знижує ефективність намічених попередження зіткнень дій. Тому планування розходження має бути адаптивним та забезпечувати можливість коригування дій у реальному часі з урахуванням модифікації обраного раніше плану або повної його зміни.

Розрахунок курсу (H) по точках його зміни здійснюється згідно з силами притягання (відштовхування), отриманих після формування карти навігаційних небезпек та конфліктних ситуацій у зоні інтересу судноводія модифікованим методом потенційних полів. При розрахунку параметра курсу необхідно дотримуватися правил МППЗС-72, які не охоплюються методом потенційних полів.

Для розрахунку значення курсу модифіковано метод векторної гістограми (*Vector field histogram*, VFH) [14]. Відмінною особливістю VFH

методу [130, 6] є можливість використання локальної карти, яка дозволяє зберігати та враховувати інформацію про виявлені навігаційні небезпеки. Для розходження з навігаційною перешкодою метод VFH генерує полярну гістограму (рис. 2.11): по осі X відкладається кут між перешкодою та напрямком руху судна, по осі Y – сила відштовхування (притягання) відповідно до наявності перешкоди.

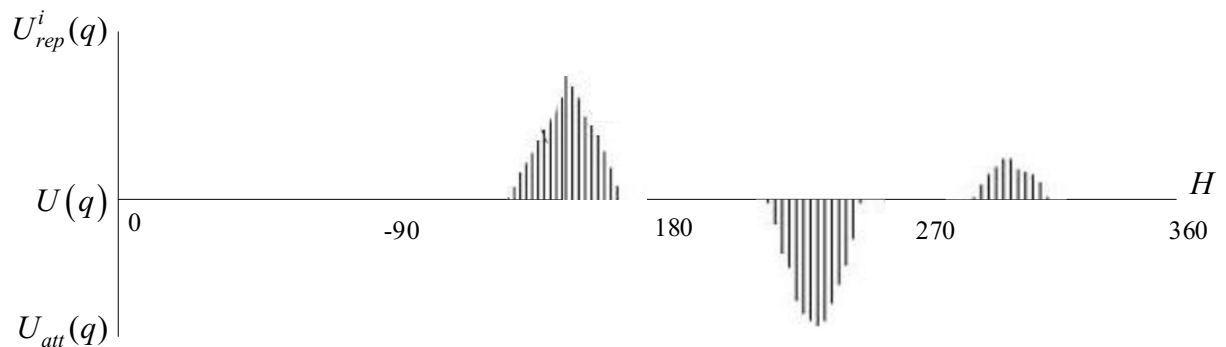


Рисунок 2.11 – Полярна гістограма розходження з навігаційною перешкодою
(Джерело: розроблено автором)

Перевагами методу є відсутність ситуацій з локальним мінімумом (непрохідних ситуацій) і можливість роботи з джерелами інформації обмеженої точності. Рух судна моделюється за всіма можливими траєкторіями, які дозволяють його ходові можливості. Наявні навігаційні перешкоди блокують усі траєкторії, що проходять через них. У результаті маємо маску полярної гістограми (рис. 2.12), де за допомогою розширення перешкод відсічені всі неприпустимі траєкторії. Заборонені у даній ситуації правилами МПЗЗС-72 траєкторії також обмежуються маскою полярної гістограми.

Це дозволяє вибрати маршрут розходження з навігаційною небезпекою, що враховує як величину траєкторії, так й можливості проходження по ним з урахуванням кінематичних обмежень судна. При зміні параметрів швидкості змінюються значення сил притягання (відштовхування) та робиться перерахунок карти та маски полярної гістограми.

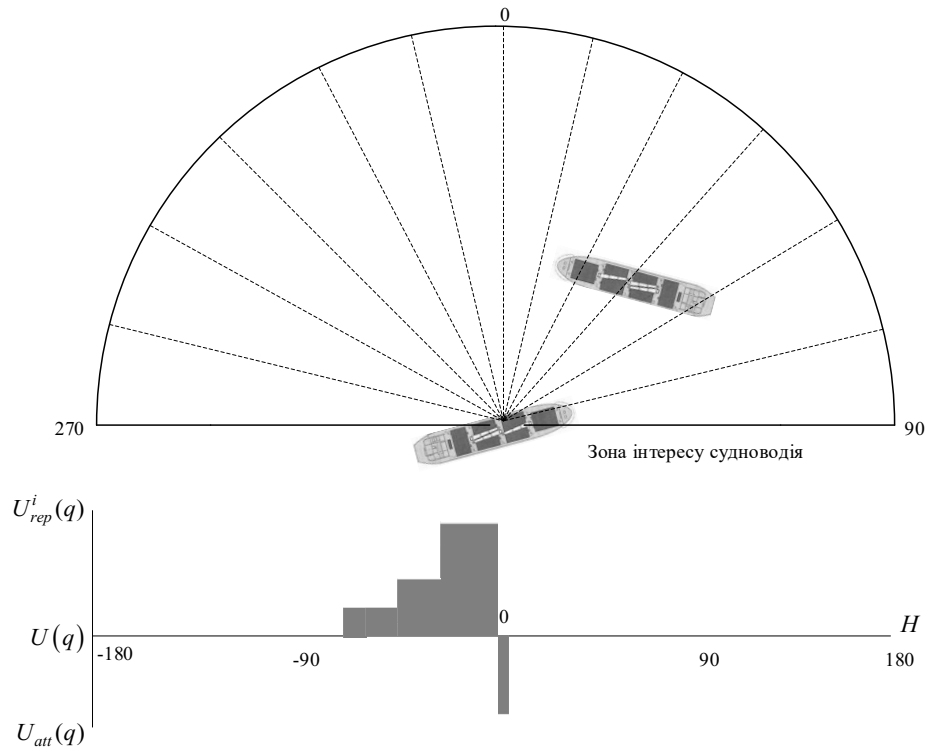


Рисунок 2.12 – Маска полярної гістограми розходження з навігаційною перешкодою

(Джерело: розроблено автором)

Структуру методу побудови траєкторії руху судна наведено на рис. 2.13.

При даному підході використовуються такі принципи та припущення:

– процес моделювання траєкторії розходження починається із заданої поточної точки маршруту, координатам якої відповідають початкові умови, а завершується в момент досягнення судном заданої кінцевої точки маршруту.

– траєкторія руху представляється впорядкованою сукупністю прямолінійних ділянок і задається координатами всіх точок зміни маршруту від першої до останньої.

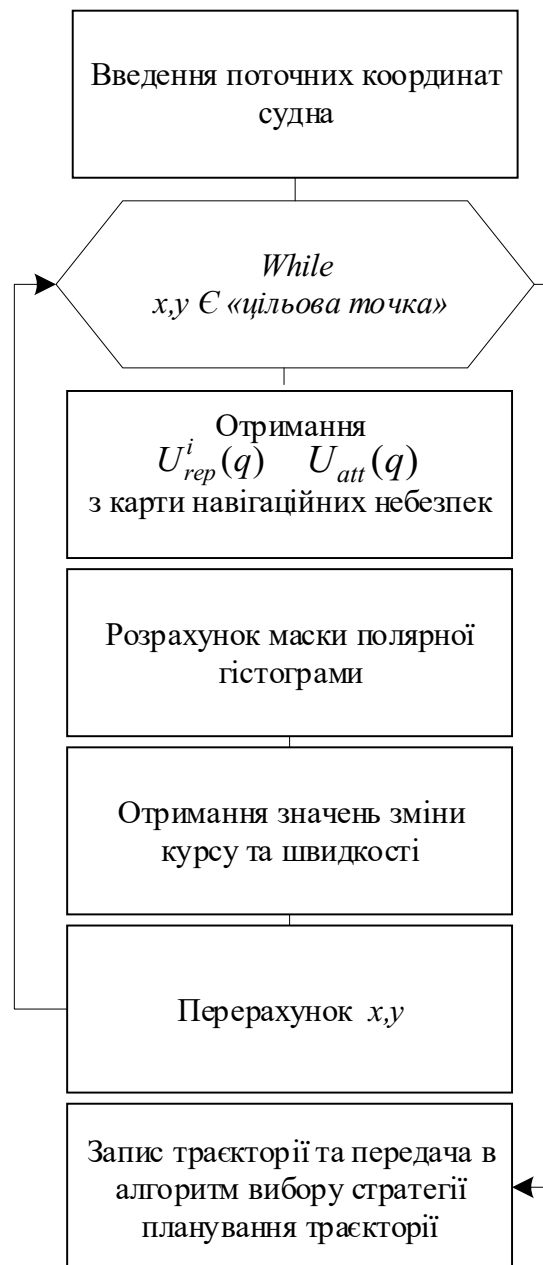


Рисунок 2.13 – Структура методу побудови маршруту розходження суден
(Джерело: розроблено автором)

Висновки до другого розділу

1. Для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів у визначених районах проведення операції актуальним визнано застосування гібридних роботизованих комплексів. Особливості застосування різнотипних засобів пошуку та можливості зіткнення їх з небезпеками гостро поставили питання інтелектуалізації процесу планування маршруту, особливо синтезу оптимальної траєкторії руху.

2. Для організації управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридними роботизованими комплексами запропоновано будувати маршрути в області інтересу як оптимальні сплайн-траєкторії об'єкта, що рухається.

3. Вперше розроблено метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом, який відрізняється формалізацією процесів планування маршруту його руху сплайн-траєкторіями із синхронним поданням інформації, прогнозуванням навігаційної обстановки та вибором стратегії запобігання небезпечних ситуації за рахунок поєднання інтелектуальних та численних методів, що дозволило підвищити ефективність пошуку надводних та підводних об'єктів.

Розроблений низьковитратний обчислювальний алгоритм планування маршруту руху гібридного роботизованого комплексу, що функціонує у режимі реального часу і дозволяє автоматизовано формувати сплайн-траєкторії із синхронним поданням інформації про параметри маршруту руху в систему управління гібридним роботизованим комплексом.

4. Запропонована графова модель функціонування гібридного роботизованого комплексу у процесі пошукової операції, що описує можливі стани, в яких може знаходитися комплекс, та є основою методу управління пошуком надводних та підводних об'єктів.

5. Основним етапом методу управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом є планування маршруту пошуку для підгрупи в області інтересу. Розроблений метод вибору стратегії

планування траєкторії розходження суден у конфліктній ситуації в єдиній концепції e-Navigation. Формалізація процесу планування траєкторії розходження в ситуаціях небезпечного зближення (зіткнення) виконується за двома складовими: курсом і швидкістю, де основним управлінським впливом вважається зміна курсу. При розв'язанні багатокритеріальної задачі оптимізації альтернативне рішення при побудові траєкторії для розходження у конфліктній ситуації вибирається з множини Парето.

6 Розроблений метод побудови маршруту розходження роботизованого комплексу із суднами в районі пошуку на основі модифікованого методу векторної гістограми, що відрізняється використанням локальної карти для врахування інформації про виявлені навігаційні небезпеки.

Основні результати розділу надруковані у роботах [141, 142, 150]

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МОДЕЛІ І МЕТОДУ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОМПЛЕКСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ МОНІТОРИНГУ НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ В СИСТЕМІ е-НАВІГАЦІЇ

е-Навігація – це стратегія підвищення безпеки судноплавства на комерційних суднах та захисту навколишнього середовища шляхом застосування новітніх електронних технологій, що передбачають синхронізовані дії щодо збору, інтеграції, обміну, подання та аналізу навігаційної інформації на суднах і у берегових службах [17, 76].

Концепція е-Навігації базується на комплексному використанні інформації для обслуговування та забезпечення безпечної навігації суден в зоні відповідальності берегових служб. Комплексне використання даних – це концепція сумісної обробки інформації з різномірних джерел (ДІ) (AIS, ECDIS, RADAR/ARPA, IBS, LRIT, GNSS, ATON, VTS, UKCS, PPU та ін.) для отримання високої точності, повноти і надійності даних про навігаційну ситуацію.

У розділі розглянуто метод формалізації процесу комплексування даних у системі е-Навігації. Розглядаються невизначеності, пов'язані з відсутністю синхронізації за часом реєстрації події, неоднорідність ознак об'єктів, різний характер інформації, що поступають від різномірних джерел.

3.1 Концепція інформаційного простору е-Навігації в системах управління гібридним роботизованим комплексом

Система управління (СУРС) гібридним роботизованим комплексом призначена для максимально точного та безпечного руху відповідно до запланованого маршруту. План маршруту розробляється при плануванні пошукової операції та представляє собою набір формалізованих інструкцій, синхронізованих за часом та географічними координатами.

Забезпечення безпеки судноплавства сучасними системами навігації та СУРС неможливо без збору та комплексування інформації, отриманої від різномірних ДІ. Інтеграція процесів комплексування забезпечує інформаційну підтримку прийняття рішення судноводієм про стан навігаційної обстановки, оптимальне виявлення ознак небезпечних ситуацій і безпеку управління судном.

Інформаційна підтримка в системах навігації та СУРС забезпечує своєчасне отримання даних визначеного формату для подальшої їх обробки. Відповідно до концепції [23, 85], система е-Навігації передбачає отримання інформації від деякої множини різномірних ДІ, що зумовлює складність інтеграції та обробки інформації про навігаційну обстановку. Одним із варіантів вирішення такої проблеми є створення єдиного інформаційного простору (ІП), як комплексу, що поєднує джерела інформації, інформаційно-телекомунікаційні системи, системи обробки, аналізу та візуалізації, який функціонує на основі єдиних принципів і забезпечує безпеку руху судна [30].

У рамках системи е-Навігації концепція єдиного ІП – це об'єднана система збору, аналізу та зберігання інформації про навігаційну обстановку, та її швидка доставка до судноводія. Єдиний ІП дозволить вирішувати завдання моніторингу, аналізу та оцінки навігаційної ситуації, а саме:

- оперативний контроль навігаційної обстановки за різномірною інформацією;
- постійне відстеження судноводієм характеру змін навігаційної обстановки;
- оперативний аналіз поточної інформації для вироблення необхідних управлінських реакцій у разі критичної зміни навігаційної обстановки;
- визначення множини факторів, що впливають на розвиток навігаційної ситуації.

При сумісній обробці інформації в системі е-Навігації є такі проблеми:

1. Неоднорідність інформації, зумовлена різними інформаційними моделями в різномірних ДІ.
2. Конфлікти неоднорідності інформації, викликані:
 - несумісністю між типами даних;
 - відмінністю в одиницях вимірювання різних ДІ;

– відсутністю синхронізації, що виражена різними часовими мітками про один об'єкт з різних ДІ;

Отже, комплексування інформації від різнорідних територіально розподілених ДІ зводиться до формування інтеграційного рішення, що спрямоване на вирішення конфліктів неоднорідності інформації.

Комплексування інформації від різнорідних ДІ для формування ІП як елементу систем е-Навігації для системи підтримки прийняття рішень передбачає вирішення таких завдань:

1. Розробка та опис принципів комплексування інформації від неоднорідних територіально розподілених ДІ.

2. Формалізація структури ІП для забезпечення сумісної обробки інформації від неоднорідних ДІ та отримання наборів даних за рахунок попередньої обробки для відновлення просторово-часових серій та усунення аномальних значень у них [8, 40].

3. Підвищення обчислювальної швидкості отримання та обробки великого об'єму навігаційної інформації.

Впровадження ІП у систему е-Навігації передбачає попередню обробку неповних часових рядів даних і з різними видами викидів та аномалій. Отже, прийняте судноводієм рішення може бути неадекватним ситуації, що склалася, через недостатню надійність результатів обробки й аналізу часових рядів даних, що мають викиди й аномалії. Тому дослідження наявності пропусків у часових рядах дозволить використовувати інформацію, отриману з ДІ, що містять прогалини в даних моніторингу навігаційної обстановки.

Формування ІП дозволить за рахунок застосування математичного апарату часових рядів автоматизувати процедуру формування зберігання даних та забезпечити не тільки процес збору даних з розподілених джерел, але і виконання аналітичних операцій в СППР. На рис. 3.1 наведено схему запропонованої організації ІП, в якому здійснюється просторові (координати), часові (часовий період, за який отримано дані) та аналітичні (визначення типу об'єкту, рівня небезпеки тощо) перетворення.

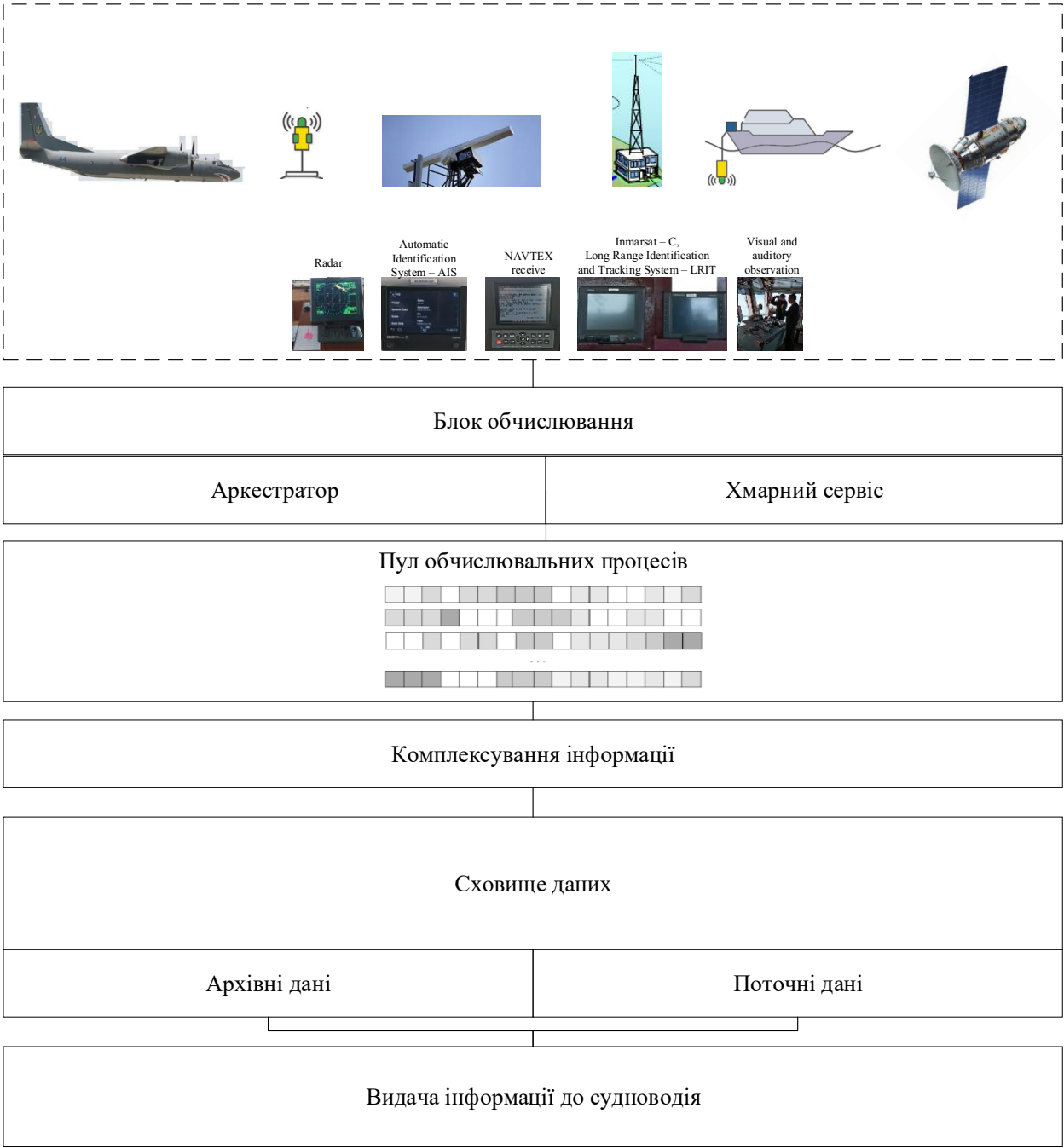


Рисунок 3.1 – Схема запропонованої організації ІП
(Джерело: розроблено автором)

Комплексування інформації з різномірних джерел проводиться різними способами:

- об'єднання на рівні ДІ;
- комплексування за ознаками
- узагальнення при прийнятті рішення.

Потік інформації в ІІ можна описати таким виразом:

$$y(t) = y(t_0) + v(t - t_0) \quad (3.1)$$

де $y(t)$ – кількість інформації за час t ;

v – швидкість отримання інформації від ДІ.

Дана модель потоку інформації описує процес реєстрації об'єктів спостереження з ДІ зі швидкістю отримання та передачі даних, що визначається кроком дискретизації відповідно до тактико-технічних характеристик (ТТХ) ДІ. Для побудови ІІ необхідно реалізувати моделі обробки інформації при інтеграції ДІ, що потребує виконання параметричної та часової синхронізації.

В ІІ циркулює архівна та поточна інформація. Тому значним етапом зміни станів даних в ІІ є перехід інформації з поточної до архівної. Основним критерієм зазначеного переходу є заданий часовий інтервал, відстеження якого на рівні програмного забезпечення проводиться відповідно до запропонованого підходу за допомогою фонових обчислювальних процесів, заповнюючи архівний компонент ІІ. Процес старіння інформації спрямований на оцінку відповідності інформаційних повідомлень. У той же час швидкість інформації визначається на основі часового інтервалу, визначеного судноводієм.

Функціонування ІІ вимагає механізмів відстеження інформації від ДІ, однак, найчастіше, враховуються лише поточні дані. Крім того, при великій кількості ДІ комплексування інформації ставить високі вимоги до обладнання.

3.2 Модель виявлення об'єкту в системі моніторингу надводної та підводної обстановки

Розробка нових підходів для створення систем управління рухом судна, як елементу системи е-Навігації, вимагає дослідження принципів організації та функціонування таких систем. Системи моніторингу надводної обстановки, до складу яких входять різноманітні джерела інформації, вимагають чіткого визначення структури з урахуванням всіх відносин між елементами.

Формалізація процесу моніторингу надводної обстановки дозволяє описати склад системи, зв'язок між його елементами та принципи його експлуатації. Побудова моделі системи моніторингу, як етап створення системи е-Навігації, дозволяє виділити структуру, характеристики та знання, необхідні для процесу формалізації [40, 131].

Представимо акваторію, в якій здійснюється моніторинг, множиною зон, що відрізняються за просторовими характеристиками і за порядком їх використання. Активність об'єктів у межах цих зон підлягає моніторингу та аналізу. У загальному випадку акваторію, що моніториться, у вигляді відповідних окремих морських зон DZ у територіальних водах і визначених маршрутів R руху суден можна подати виразом:

$$AM = \langle DZ, R \rangle. \quad (3.2)$$

Виявлення об'єктів на морі в зонах та маршрутах може здійснюватися за даними, що надходять від декількох ДІ:

$$D = \langle d_1, d_2, \dots, d_n \rangle, \quad (3.3)$$

до яких входять засоби з різними принципами роботи, що дозволяє здійснювати моніторинг активності.

Система управління рухом судна *WMCS*, якими оснащені сучасні судна, може бути представлена у вигляді ієрархічної структури (рис. 3.2), де на нижньому рівні є різні ДІ (D), які безпосередньо виконують моніторинг активності та видають первинні дані про події. До них входять радіолокаційні засоби, гідроакустичні, навігаційні системи, засоби візуального та відеоспостереження, тощо. На верхньому рівні ієрархії, ходовий місток судна, в яких здійснюється аналіз та обробка всієї вхідної інформації.

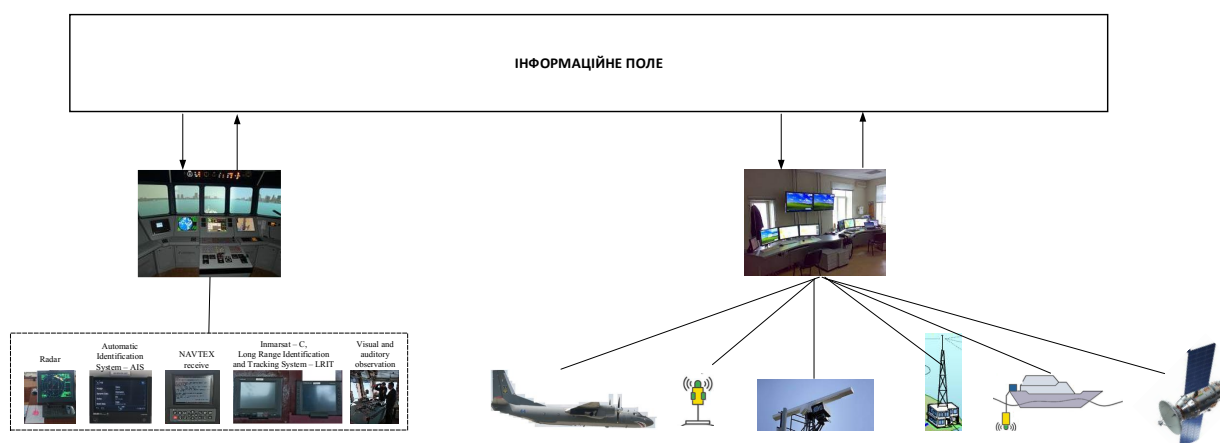


Рисунок 3.2 – Ієрархічне представлення системи моніторингу надводної та підводної обстановки

(Джерело: розроблено автором)

Об'єкти, що виявляються ДІ під час руху судна, здійснюють активність, яку можна подати множиною

$$A = \langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle. \quad (3.4)$$

Активність – це миттєве локальне явище, яке відбувається в даний момент часу та у визначеному місці. Таким чином, основними параметрами активності є місце та час її здійснення. У зонах та на маршрутах об'єкти можуть здійснювати активність як одного фіксованого типу, так і різних типів. Крім того, можна виділити парні типи, які можуть виникати в одній зоні (наприклад, вхід/вихід в порт, рух суден зустрічними курсами морським шляхом та ін.). За активністю в межах зон одночасно або послідовно, з деякою затримкою часу,

стежать декілька ДІ, взаємне розташування яких дозволяє у загальному випадку визначити цю затримку.

Параметри – характеристики об'єкта, що ініціюють активність. До таких параметрів відносяться: початок активності t^A , місце здійснення активності Z^A , тип активності $type^A$, джерело інформації D^A , яке виявило активність об'єкта з основними Obj^A і додатковими AdP^A параметрами. Тому деяку активність можна описати такою множиною параметрів [100, 134]:

$$A = \langle t^A, Z^A, type^A, D^A, Obj^A, AdP^A \rangle. \quad (3.5)$$

Об'єкти на морі функціонують у повітряному, надводному та підводному середовищах. Тому для визначення просторово-часових показників активності об'єктів у різних середовищах застосовують різні за принципами побудови джерела інформації. Проте інші параметри можуть бути визначені як різними засобами, так і кількома ДІ різних типів.

Коли ДІ фіксує активність у певній DZ , він генерує дані $data$, що дозволяє описати ці параметри активності, відповідно до можливостей ДІ:

$$data = \langle t, d, HC \rangle, \quad (3.6)$$

де t – час фіксації активності;

d – ідентифікатор ДІ;

HC – параметри активності.

Всі об'єкти можна розділити на надводні (судна, кораблі, нафтові платформи, скелі, тощо) та підводні (підводні човни, коралові рифи, тощо). Іншими словами, тип і характер руху об'єкта визначає різні підмножини об'єктів моніторингу:

$$Obj^A = \langle Obj^w, Obj^{uw} \rangle, \quad (3.7)$$

де Obj^w – надводний об'єкт;

Obj^{uw} – підводний об'єкт.

Якщо об'єкт Obj^A створює активність A в морській зоні DZ , де ведуть спостереження n ДІ (D), то відповідно формується n записів $data$ (рис. 3.3):

$$data_i = data_1 \cup data_2 \cup \dots \cup data_n. \quad (3.8)$$

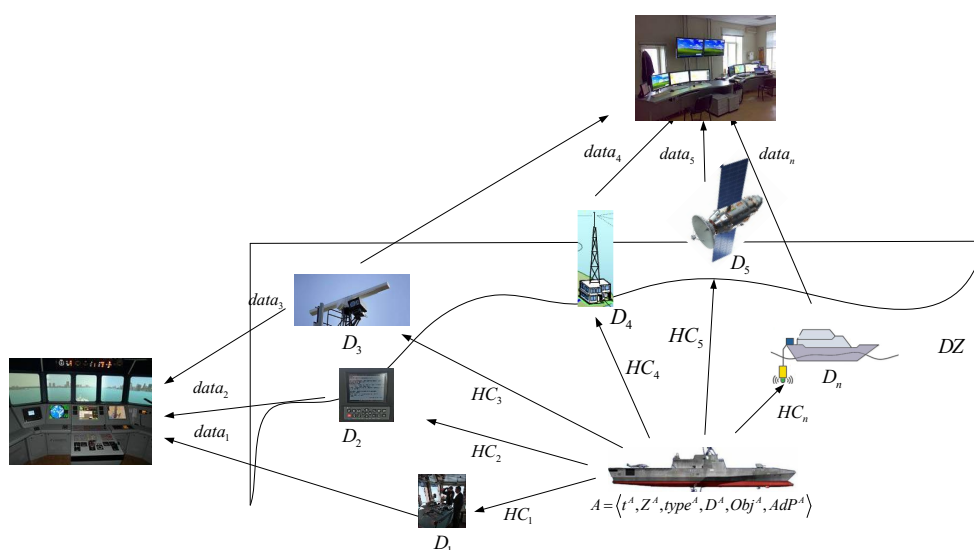


Рисунок 3.3 – Узагальнена модель моніторингу надводної та підводної обстановки

(Джерело: розроблено автором)

Активність певного типу рухомого об'єкта Obj^A , який знаходиться в морській зоні DZ або на морському шляху AR , фіксують наявні у цій зоні (на маршруті) ДІ. Причому фіксація активності відбувається не постійно, не одночасно, а у деякі, найчастіше, різні моменти часу. Тобто, є відповідність між зоною моніторингу і деяким інтервалом часу фіксації активності об'єкта, яка визначається відстанню до об'єкта спостереження, часом реакції ДІ та швидкістю передачі даних у системі моніторингу.

Джерела видають дані, що містять множину параметрів про активність

об'єкту. Ця множина про об'єкт інтересу залежить від ТТХ і принципів роботи ДІ і складається із загальних $data^{gen}$ та характерних параметрів $data^{var}$:

$$data = data^{gen} \cup data^{var}. \quad (3.9)$$

Всі об'єкти, що проявляють активність у зоні спостереження, описуються загальними параметрами. Атрибути активності, обумовлені властивостями різних типів об'єктів, створюють характерні параметри.

У ході моніторингу за навігаційною обстановкою можуть бути випадки, ускладнення визначення деяких параметрів. Тобто, виникає проблема неотримання даних або їх нечіткість. Цей факт призводить до невизначеності у процесі співвідношення отриманих даних з виявленою активністю. При виявленні активності об'єкта різними джерелами інформації необхідно також враховувати можливі часові затримки, пов'язані з особливостями функціонування, дислокацією ДІ та інших чинників, що визначають неоднозначність створення даних. Тому для кожного типу активності, необхідно вводити допустимі інтервали часової затримки τ . Також кілька ДІ можуть одночасно виявити та вести спостереження за одним і тим самим об'єктом, фіксуючи при цьому різні набори параметрів.

При підготовці даних для застосування до них засобів інтелектуального аналізу даних необхідно вирішити такі завдання:

1. Об'єднати інформацію від різнорідних джерел.
2. Інтегрувати інформацію, що відноситься до однієї події.
3. Усунути повторювану інформацію від різнорідних джерел.
4. Усунути невизначеності, пов'язані з відмінностями в ідентифікації об'єктів для різних пристроїв контролю.
5. Усунути невизначеності, пов'язані з різним часом реєстрації події різними пристроями контролю.

3.3 Модель комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різномірних джерел інформації

Комплексування отриманої від різних джерел інформації дозволяє її аналізувати та реалізовувати різні варіанти її подання для компенсації завад і похибок. Завданням комплексної обробки інформації від різномірних джерел в системі е-Навігації є підвищення точності та достовірності визначення місцезнаходження та параметрів руху об'єктів. Ця точність залежить від ТТХ ДІ та реалізованих у них алгоритмів обробки даних. Сумісне використання декількох ДІ підвищує точність та достовірність поданої інформації.

Система е-Навігації має на меті підтримку прийняття рішень судноводіями, покращення та запобігання помилок в їх роботі [39, 91]. Тому система має здійснювати аналіз навігаційної обстановки, результат якого надає допомогу судноводію у виробленні управлінських впливів, що забезпечать безпеку руху судна при виявленні ризиків, запобігання зіткнень та посадки для мілину. Для берегових систем виконується аналіз негативного впливу суден на навколишнє середовище, здійснюється прогноз їхнього руху, виконується оцінка ризику та виробляються повідомлення про можливість небезпечної ситуації та дії для їх запобігання.

Основними компоненти е-Навігації є:

- суднові системи навігації та управління рухом судна;
- берегові та супутникові системи;
- інформаційно-телекомунікаційна інфраструктура.

Суднові навігаційні системи та СУРС повинні бути об'єднані в єдиний комплекс ДІ на судні, що видають судноводію необхідну інформацію. Інтелектуалізація систем навігації та СУРС у концепції е-Навігації дозволить:

- комплексувати інформаційні потоки від берегових служб, суднових систем та ДІ;
- забезпечити цілісність інформації та моніторинг динамічних навігаційних процесів;

- зменшити навантаження на судноводія;
- знизити ймовірність людської помилки.

Попереднє виявлення об'єктів під час руху судна здійснюється за допомогою системи AIS, яка дозволяє заздалегідь виявляти лише об'єкти, які обладнані відповідними респондерами. Також попереднє виявлення об'єктів природнього характеру, якщо вони не обладнані маяками, здійснюється за електронними картами та системою ECDIS. У першу чергу, комплексуванню підлягають дані про координати положення об'єкта. Узагальнена система комплексування інформації наведена на рис. 3.4 [74, 3].



Рисунок 3.4 – Узагальнена система комплексування інформації

(Джерело: розроблено автором)

При отриманні у момент часу T даних про координати положення об'єкта з одного ДІ інформація перевіряється на достовірність (порівняння параметрів з попередньо отриманими або прогнозованими). Достовірна інформація передається для подальшої обробки, інакше – зберігається у базі даних (БД). У системі виконується перевірка на відмову та на граничні умови (максимальне відхилення від попереднього параметра, перевищення максимально можливого значення параметра, порушення частоти інформаційного потоку тощо). Після перевірки судноводію видається сигнал про постановку об'єкта на контроль або про необхідність перезавантаження системи.

Після перевірки поточних параметрів на відповідність певним критеріям достовірності вони видаються ОПР. При оновленні інформації з будь-якого ДІ отримані дані порівнюються з поточними розрахованими значеннями параметрів. Після порівняння з критеріями (наприклад, відстань між відповідним поточним розрахованим параметром та отриманим значенням

параметра не перевищує похибку визначення координат місцезнаходження судна) отримане значення параметра надходить у блок прогнозування та може бути оброблено. Блок аналізу та прогнозування сприятиме вирішенню завдань моніторингу навігаційної обстановки.

3.4 Обробка інформації в системі моніторингу надводної та підводної обстановки на основі часових рядів даних

Статичні характеристики об'єктів, що створюють активність не змінюються з часом. Також обробка даних як від окремого ДІ, так і в системі моніторингу, виконується відповідно до конкретних моментів часу. При накопиченні цієї інформації отримується множина чисельних значень, які характеризують зміну параметрів активності об'єкта. Тому ці об'єкти можна описати множиною параметрів за допомогою метода, що дозволяє враховувати час. Оскільки до складу ІІ входять ДІ, які отримують дані про параметри об'єктів та характеристики активності, зміна значень даних протягом деякого інтервалу часу дозволяє відстежувати зміну активності об'єкту в цілому. Послідовність отримання даних від ДІ – це часові ряди, обробка яких дозволяє отримати інформацію про активність об'єкту.

Часовий ряд (ЧР) – це множина послідовно упорядкованих чисельних даних про параметри стану, процесів або явищ, прив'язаних до певного інтервалу часу [17]. Зокрема, поточні координати положення судна, курс та швидкість його руху є поточними даними, а рух судна за маршрутом, зміни швидкості та курсу прив'язані до певних моментів часу. Часові ряди і послідовність спостережень (x_1, x_2, \dots, x_n) , що утворює випадкову вибірку, відрізняються один від одного [91]. Це, в основному викликано, статистичною залежністю членів ЧР і їх неможливістю бути рівномірно розподіленими:

$$P\{x(t_1) < x\} \neq P\{x(t_2) < x\} \text{ при } t_1 \neq t_2, \quad (3.10)$$

де x – параметр ЧР;

$P\{x(t_i) < x\}$ – ймовірність значень параметрів у момент часу $t_1 \neq t_2$.

Навігаційна обстановка в ІП характеризується невизначеністю різного ступеня. Тому даним ЧР, що надходять від різномірних джерел інформації для аналізу, також притаманна невизначеність, яка характеризується:

1. Гетерогенним характером кількісних та якісних значень ЧР.
2. Невизначеністю довжини силового ряду.
3. Невизначеність поведінки ЧР, яка проявляється у його нестационарному характері, розмитості та нестабільності тенденцій.

Проблема невизначеності через внутрішню та зовнішню нестационарність, включаючи значну роль людини (людський фактор) на практиці характеризується:

- неможливістю експериментального дослідження процесів, які не дозволяють отримати достатню кількість достовірної статистичної інформації;
- суб'єктивна невизначеність через багатофункціональні, багатокритеріальні експертні оцінки інформації;
- неоднорідність, неточність інформації.

Застосування прикладних знань, експертних та інтервальних оцінок для нечіткого вираження ЧР дозволяє побудувати нечіткі функції, в яких залежні та незалежні змінні виражені у нечіткій формі. Отримані дані можуть містити не тільки лінгвістичні характеристики значень у певний момент часу, але й опис змін у часі. Характер предметної області визначає особливості таких змін поняттями: тенденція, динаміка, траєкторія, поведінка тощо.

Зміна ЧР, визначена лінгвістичною змінною, передбачена концепцією нечіткої тенденції (НТ) [22].

Процес обробки різномірних даних, що надходять від ДІ до інформаційного простору, можна сформулювати як розв'язання експертної задачі із застосуванням нечітких часових рядів (НЧР) та НТ [47, 131].

Процес обробки даних, заданих нечіткою множиною, для опису стану та динаміки активності об'єкта називається інтерпретацією в ІП. Завдання

інтерпретації у теорії числових рядів відповідає задачі ідентифікації.

Постановка задачі інтерпретації процесів в ІІ. При моніторингу за навігаційною обстановкою надійшли дані, що утворюють ЧР $\{x, t\}$. Необхідно визначити тип зміни параметру активності x у певний інтервал часу $t_0 \leq t_i \leq t_n$, а саме, визначити тенденцію T^f зміни параметрів активності. Значення тенденцій T^f можуть бути виражені нечіткими лінгвістичними змінними з термами, «зростає», «знижується», «рівномірна» [54]. Визначення співвідношень між ЧР $\{x, t\}$ та тенденцію T^f є змістом задачі інтерпретації.

Визначення тенденції T^f активності об'єкта за певний інтервал часу, дозволить усунути похибки та невизначеність, що наявні в процесі моніторингу. Таким чином, аналіз ЧР виконується за таким алгоритмом (рис. 3.5) [117].

Таким чином, НЧР формується в результаті інтервальної якісної оцінки значень ЧР. Інтервали носіїв нечіткої множини, утворені на базисній множині A , обов'язково перетинаються. Основою НЧР є нечіткі моделі та теоретичні висновки [57], зокрема, теорема FAT. Згідно з нею, функціональна залежність, що визначена на компактній множині, може бути апроксимована нечіткою множиною. У роботі [133] автор показав, що нечітка модель форми "ЯКЩО-ТО" є універсальним апроксиматором, тобто може апроксимувати будь-яку безперервну функцію з довільною точністю.

3.5 Обґрунтування необхідності аналізу нечітких тенденцій для обробки часових рядів даних у процесі моніторингу

Дослідження підходів та методів обробки ЧР [117] показує, що для аналізу ЧР з високим ступенем невизначеності найбільш перспективним є розвиток математичного моделювання на основі апарату нечіткої логіки.

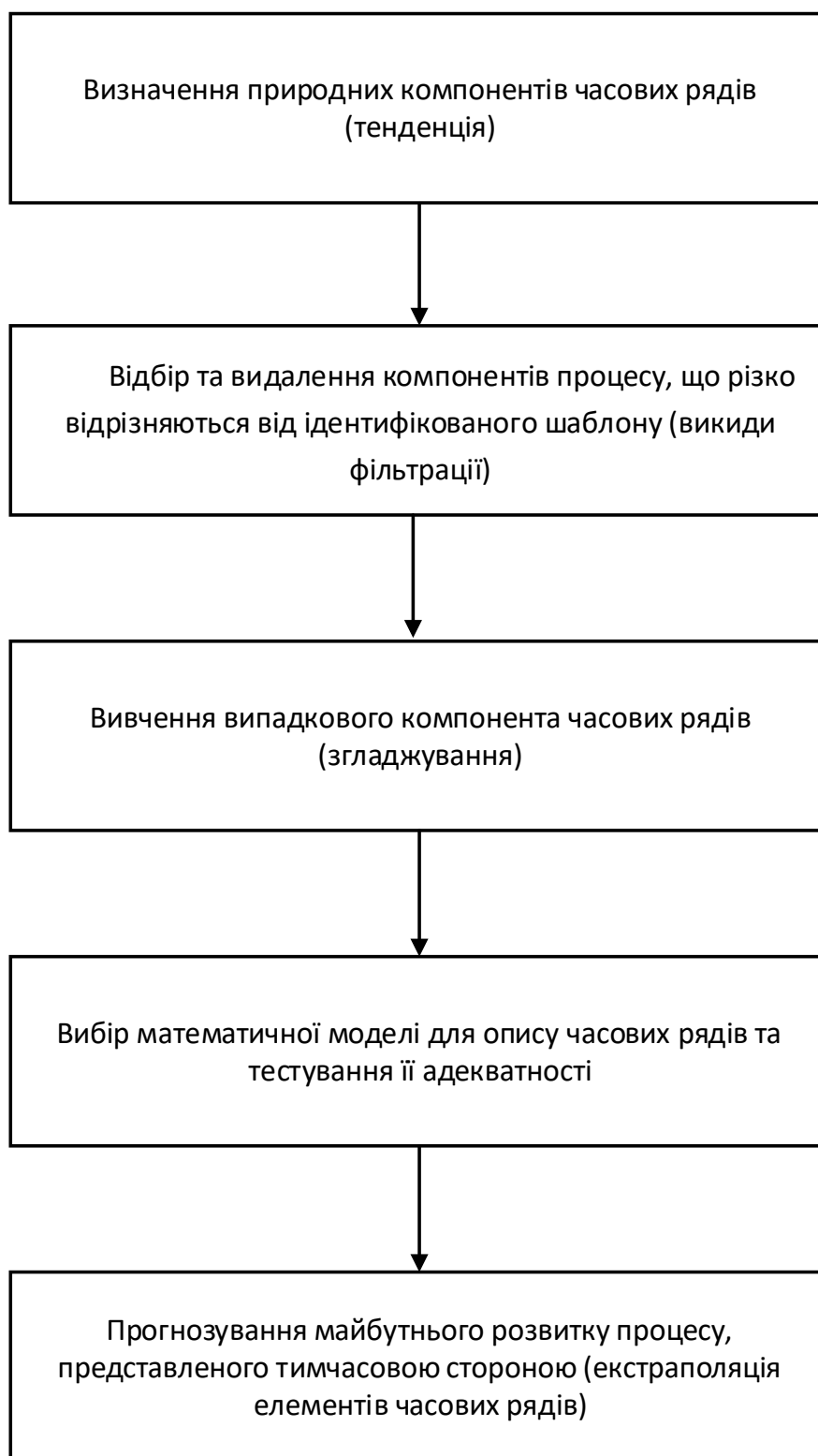


Рисунок 3.5 – Структура методу аналізу числових рядів
(Джерело: розроблено автором)

Для опису процесу обробки даних в ІІ введемо такі позначення:

$Fuzzy(x)$ – функція фазифікації значення ЧР x_i ($i = 1, 2, \dots$) в нечітке значення x_i , при цьому:

$$x_i = Fuzzy(x_i). \quad (3.11)$$

Отримана послідовність значень x_i , що впорядковані на певному інтервалі часі, утворюють НЧР;

$TendT(x_i, t)$ – функція визначення нечіткої тенденції НЧР T^f , коли час заданий точними числовими значеннями t ;

$TendF(x_i, \tilde{t})$ – функція визначення нечіткої тенденції НЧР T^f , коли час заданий нечітким значеннями \tilde{t} ;

$Check(T^f)$ – функція, перевірки на адекватність НТ до ЧР.

Відповідно до функції визначення НТ виконується класифікація параметрів активності об'єкта, дані про який утворюють ЧР, основою якого є невизначеність "ЧР - час". Тому для розв'язання задачі можливі такі схеми аналізу для нечітких тенденцій НЧР параметрів активності об'єкта.

1. Детерміновані для чітких значень x_i, t . Даний клас параметрів активності пов'язаний з функціонуванням системи моніторингу надводної та підводної обстановки (СМНПО) в умовах повної інформації про об'єкт спостереження.

Схема аналізу детермінованих процесів має такий вигляд:

$$Fuzzy(x) \rightarrow TendT(\tilde{x}_i, t) \rightarrow Check(T^f). \quad (3.12)$$

2. Стохастичні процеси між чітким часом і випадковою змінною з невідомим законом розподілу. Для таких процесів в умовах невизначеності можна отримати якісну характеристику змінної за допомогою аналізу нечітких тенденцій через перехід до НЧР.

3. Нечіткі параметри активності об'єкта:

– відношення «чіткий час t » – «нечітка змінна x_i ». Відповідно нечітке значення представлено лінгвістичною змінною з певної базисної множини A та функцією приналежності до $\mu_A(x)$, що виражає кількісне співвідношення між елементами базисної множини A та нечітким значенням x_i на інтервалі $[0,1]$. Це співвідношення відповідає НЧР, тому аналіз нечітких тенденцій проводиться за тою ж схемою;

– відношення «нечіткий час \tilde{t} » – «чітка змінна x ». Процес аналізу нечітких тенденцій для зазначеного співвідношення може бути здійснено такими способами: відносно нечіткого часу і щодо приблизного часу, отриманого в результаті його дефазифікації:

$$Fuzzy(x) \rightarrow TendF(\tilde{x}_i, \tilde{t}) \rightarrow Check(T^f) \quad (3.13)$$

або

$$DeFuzzy(\tilde{t}) \rightarrow Fuzzy(x) \rightarrow TendF(\tilde{x}_i, t) \rightarrow Check(T^f); \quad (3.14)$$

– відношення "нечіткий час \tilde{t} " – "чітка змінна x ". Розв'язання задачі аналізу нечіткої тенденції виконується за схемою:

$$TendF(\tilde{x}_i, \tilde{t}) \rightarrow Check(T^f). \quad (3.15)$$

Тому аналіз НТ для всіх класів параметрів активності об'єкта, опис яких подано у вигляді ЧР, можливо виконувати на основі НЧР. Даний математичний апарат є необхідним та достатнім для розв'язання задачі НТ у широкому класі параметрів активності, а саме детермінованих, стохастичних та нечітких на основі схеми

$$Fuzzy(x) \rightarrow [TendF(\tilde{x}_i, \tilde{t}) \cup TendT(\tilde{x}_i, t)] \rightarrow Check(T^f). \quad (3.16)$$

Відповідно, отримані дані у процесі моніторингу надводної та підводної обстановки в СМНПО підлягають первинній та вторинній обробці. Це пояснюється тим, що при отриманні даних про параметри активності об'єкта інформація про них містить відповідний "шум", пов'язаний з помилками вимірювання та впливом факторів різного характеру. Первинна обробка даних дозволяє визначити та використовувати шаблони для оцінки характеристик активності у майбутньому [9, 14]. Вторинна обробка значень згладжування НЧР необхідна для виявлення параметрів НТ.

3.6 Метод формалізації активності об'єкта моніторингу з використанням нечітких часових рядів у системі моніторингу надводної та підводної обстановки

Для формального опису активності об'єкта моніторингу введені такі основні обмеження. По-перше, у роботі не розглядалися питання вивчення вхідних даних, способів передачі та характеристик сигналів. По-друге, ЧР, що характеризують активність об'єкта, мають кінцеву довжину, яка змінюється відповідно до різних множин даних. По-третє, множина даних була поділена на навчальну та тестувальну вибірки для побудови моделей, на основі яких можна класифікувати об'єкти як "легальний" або "порушник" (задача ідентифікації) або відносити до різних класів, визначених у кожному наборі даних (задача класифікації) [45, 68].

Нехай джерела інформації у складі ІП відображають значення певних параметрів $data$. Знайдемо деякий максимальний інтервал часу $t^f = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, на якому буде розглядатися активність об'єкта, і який відповідає максимальній довжині НЧР.

Нехай одне джерело моніторить надводну та підводну обстановку. Тоді множина чітких і нечітких значень, що характеризують активність об'єкта,

створює НЧР, а інтервал часу дорівнює $t^f = n$. Набір значень контролюваного параметру за певний час дозволяє побудувати певний вектор. Фактично кожен вектор виступає як характеристика певної активності об'єкта за заданим параметром. Відповідно, активність можна віднести до певного класу, що відповідає визначеним правилам руху об'єктів на морі.

Тоді дані від ДІ у певні моменти часу i можна подати так:

$$data = \left[(t_i, d_1, HC) \quad (t_i, d_2, HC) \quad \dots \quad (t_i, d_j, HC) \right], \quad (3.17)$$

де d_1, \dots, d_j – наявні в СМНПО джерела інформації.

Але, активність об'єктів, описана виразом (3.17), не показує динаміку змін в активності об'єкту у районі моніторингу, його стан і тенденцію. Тому необхідно враховувати впорядкований набір таких векторів, отриманих за деякий інтервал часу $t_i, t_{i+1}, \dots, t_{i+n} \quad n > 1$.

Оскільки в ІП дані отримуються від багатьох різнорідних ДІ, виникає необхідність узагальнення даних та їх обробки залежно від часу.

При отриманні даних про активність об'єкта їх видача виконується у певні дискретні моменти часу. Тоді показання від ДІ представимо матрицею:

$$data = \begin{bmatrix} (t_i, d_1, HC) & (t_{i+1}, d_1, HC) & \dots & (t_{i+n}, d_1, HC) \\ (t_i, d_2, HC) & (t_{i+1}, d_2, HC) & \dots & (t_{i+n}, d_2, HC) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ (t_i, d_j, HC) & (t_{i+1}, d_j, HC) & \dots & (t_{i+n}, d_j, HC) \end{bmatrix}, \quad (3.18)$$

де t_i, t_{i+n} – початок та кінець стеження за активністю об'єкта.

Нехай з j ДІ надходять дані про місце здійснення активності (Z^A) надводного об'єкта Obj^w , який поширюється на інтервалі часу $(i + n)$.

Відповідно, сам об'єкт фактично є набором статичних станів активності і набором часових рядів, що відповідає зміні значень параметрів за часовий

інтервал $t = i + n$.

Як правило, джерела інформації в ІП не синхронізовані, мають різну точність спостереження за різними параметрами об'єкта й інформацію про активність об'єкта починають отримувати неодноразово. Тому дані про активність об'єкта представимо у вигляді таблиці (табл. 3.1):

Таблиця 3.1 – Дані про активність об'єкта

(Джерело: розроблено автором)

Час моніторингу	Джерела інформації		
	d_1	d_2	d_j
t_i	$\mu_{t_i}(t_1^{d_1}), HC_1^{d_1}(A_1^{d_1})$ $\mu_{t_i}(t_1^{d_1}), HC_2^{d_1}(A_1^{d_1})$... $\mu_{t_i}(t_1^{d_1}), HC_k^{d_1}(A_k^{d_1})$	$\mu_{t_i}(t_1^{d_2}), HC_1^{d_2}(A_1^{d_2})$ $\mu_{t_i}(t_1^{d_2}), HC_2^{d_2}(A_1^{d_2})$... $\mu_{t_i}(t_1^{d_2}), HC_k^{d_2}(A_k^{d_2})$	$\mu_{t_i}(t_1^{d_j}), HC_1^{d_j}(A_1^{d_j})$ $\mu_{t_i}(t_1^{d_j}), HC_2^{d_j}(A_1^{d_j})$... $\mu_{t_i}(t_1^{d_j}), HC_k^{d_j}(A_k^{d_j})$
t_{i+1}	$\mu_{t_{i+1}}(t_2^{d_1}), HC_1^{d_1}(A_1^{d_1})$ $\mu_{t_{i+1}}(t_2^{d_1}), HC_2^{d_1}(A_1^{d_1})$... $\mu_{t_{i+1}}(t_2^{d_1}), HC_k^{d_1}(A_k^{d_1})$	$\mu_{t_{i+1}}(t_2^{d_2}), HC_1^{d_2}(A_1^{d_2})$ $\mu_{t_{i+1}}(t_2^{d_2}), HC_2^{d_2}(A_2^{d_2})$... $\mu_{t_{i+1}}(t_2^{d_2}), HC_k^{d_2}(A_k^{d_2})$	$\mu_{t_{i+1}}(t_2^{d_j}), HC_1^{d_j}(A_1^{d_j})$ $\mu_{t_{i+1}}(t_2^{d_j}), HC_2^{d_j}(A_1^{d_j})$... $\mu_{t_{i+1}}(t_2^{d_j}), HC_k^{d_j}(A_k^{d_j})$
t_{i+n}	$\mu_{t_i}(t_n^{d_1}), HC_1^{d_1}(A_1^{d_1})$ $\mu_{t_i}(t_n^{d_1}), HC_2^{d_1}(A_1^{d_1})$... $\mu_{t_i}(t_n^{d_1}), HC_k^{d_1}(A_k^{d_1})$	$\mu_{t_{i+1}}(t_n^{d_2}), HC_1^{d_2}(A_1^{d_2})$ $\mu_{t_{i+1}}(t_n^{d_2}), HC_2^{d_2}(A_2^{d_2})$... $\mu_{t_{i+1}}(t_n^{d_2}), HC_k^{d_2}(A_k^{d_2})$	$\mu_{t_{i+1}}(t_n^{d_j}), HC_1^{d_j}(A_1^{d_j})$ $\mu_{t_{i+1}}(t_n^{d_j}), HC_2^{d_j}(A_1^{d_j})$... $\mu_{t_{i+1}}(t_n^{d_j}), HC_k^{d_j}(A_k^{d_j})$

де t_i, t_{i+n} – початковий та кінцевий час моніторингу за активністю об'єктів у зоні відповідальності;

$t_n^{d_j}$ – час фіксації параметрів активності певним ДІ;

$HC_k^{d_j}(A_k^{d_j})$ – параметри активності, що зафіксовані певним джерелом інформації.

Таким чином після обробки вхідної інформації за допомогою методів нечітких числових рядів активність в інформаційному просторі можна подати у вигляді табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Вхідна інформація, подана за допомогою методів НЧР

(Джерело: розроблено автором)

Активність	ДІ	Час моніторингу		
		t_i	t_{i+1}	t_{i+n}
A_1	d_1	$\mu_{t_i}(t_1^{d_1}), \mu_{A_1}(HC^{d_1})$	$\mu_{t_i}(t_2^{d_1}), \mu_{A_1}(HC^{d_1})$	$\mu_{t_i}(t_n^{d_1}), \mu_{A_1}(HC^{d_1})$
	d_2	$\mu_{t_i}(t_1^{d_2}), \mu_{A_1}(HC^{d_2})$	$\mu_{t_i}(t_2^{d_2}), \mu_{A_1}(HC^{d_2})$	$\mu_{t_i}(t_n^{d_2}), \mu_{A_1}(HC^{d_2})$
	d_j	$\mu_{t_i}(t_1^{d_j}), \mu_{A_1}(HC^{d_j})$	$\mu_{t_i}(t_2^{d_j}), \mu_{A_1}(HC^{d_j})$	$\mu_{t_i}(t_n^{d_j}), \mu_{A_1}(HC^{d_j})$
A_2	d_1	$\mu_{t_i}(t_1^{d_1}), \mu_{A_2}(HC^{d_1})$	$\mu_{t_i}(t_2^{d_1}), \mu_{A_2}(HC^{d_1})$	$\mu_{t_i}(t_n^{d_1}), \mu_{A_2}(HC^{d_1})$
	d_2	$\mu_{t_i}(t_1^{d_2}), \mu_{A_2}(HC^{d_2})$	$\mu_{t_i}(t_2^{d_2}), \mu_{A_2}(HC^{d_2})$	$\mu_{t_i}(t_n^{d_2}), \mu_{A_2}(HC^{d_2})$
	d_j	$\mu_{t_i}(t_1^{d_j}), \mu_{A_2}(HC^{d_j})$	$\mu_{t_i}(t_2^{d_j}), \mu_{A_2}(HC^{d_j})$	$\mu_{t_i}(t_n^{d_j}), \mu_{A_2}(HC^{d_j})$
A_k	d_1	$\mu_{t_i}(t_1^{d_1}), \mu_{A_k}(HC^{d_1})$	$\mu_{t_i}(t_2^{d_1}), \mu_{A_k}(HC^{d_1})$	$\mu_{t_i}(t_n^{d_1}), \mu_{A_k}(HC^{d_1})$
	d_2	$\mu_{t_i}(t_1^{d_2}), \mu_{A_k}(HC^{d_2})$	$\mu_{t_i}(t_2^{d_2}), \mu_{A_k}(HC^{d_2})$	$\mu_{t_i}(t_n^{d_2}), \mu_{A_k}(HC^{d_2})$
	d_j	$\mu_{t_i}(t_1^{d_j}), \mu_{A_k}(HC^{d_j})$	$\mu_{t_i}(t_2^{d_j}), \mu_{A_k}(HC^{d_j})$	$\mu_{t_i}(t_n^{d_j}), \mu_{A_k}(HC^{d_j})$

Набір параметрів НЧР може описати різні стани активності об'єкта моніторингу, за характеристиками яких можна класифікувати його як легальний або порушник. У наведеній формі набір даних від ДІ може бути використаний для комплексування інформації від різномірних ДІ.

Таким чином, для подальшого комплексування інформації від різномірних ДІ та класифікації об'єктів необхідно:

1. Виконати перетворення для інтеграції даних і привести отримані дані у визначений формат, до якого можна застосувати вибрані методи аналізу.
2. Згрупувати отримані записи, пов'язані з однією і тією ж активністю, шляхом визначення відповідних критеріїв.
3. Виконати пошук порушень для поєднання та сумісного аналізу інформації, отриманої з різномірних ДІ.

3.7 Загальні перетворення даних

Різні принципи побудови джерел інформації ІІ дозволяють фіксувати різні параметри активності об'єкта. Отримані дані зберігаються в різних форматах. Опис активності може відрізнятися в залежності від типу ДІ, яким виконана фіксація (рис. 3.6). Для повного аналізу події необхідно інтегрувати дані, що отримані з наявних ДІ в єдину БД. Тоді у загальному наборі об'єднаних даних будуть записи про всі активності зафіксовані з усіх можливих ДІ, що надає цієї інформації зайву збитковість. Тому всі записи про одну й ту ж саму активність об'єднуються. Такий підхід виключає дублювання однакових атрибутів ІІ і перевантаження системи моніторингу. Для об'єднання записів використовуються загальні характеристики активності:

- поточний час фіксації активності;
- поточні параметри про місце дії активності;
- тип об'єкта, що здійснює активність.

Для деякої кількості записів про активність, що частково описують параметри одного й того ж самого об'єкта, для ототожнення слід виконувати:

1. Якщо поточний час активності в різних записах співпадає, або різниця між ним не перевищує допустиму затримку.

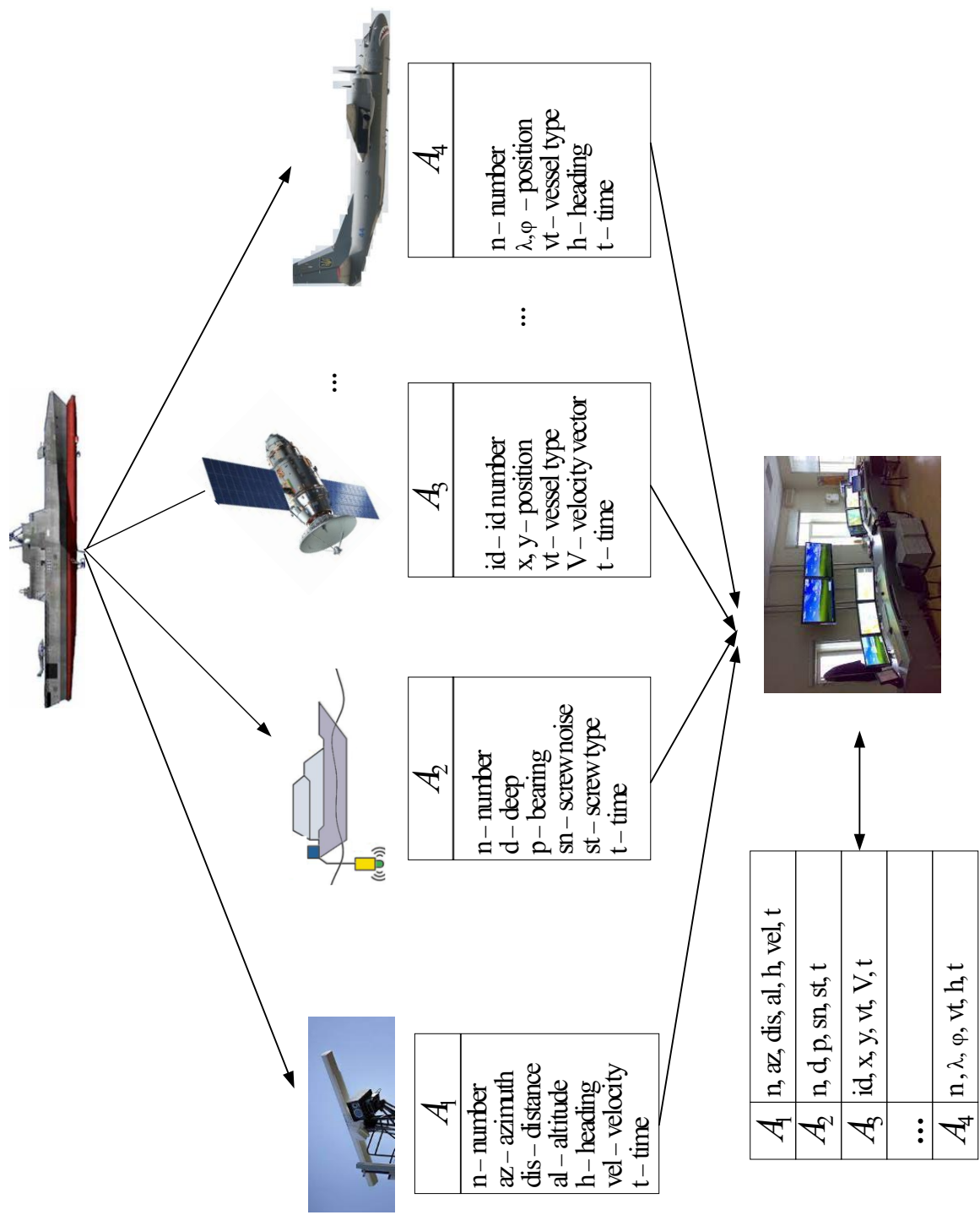


Рисунок 3.6 – Опис активності в залежності від типу ДЦ, яким виконана фіксація (Джерело: розроблено автором)

2. Просторові параметри активності в різних записах повинні співпадати, або різниця між ним не перевищуватиме допустимі відхилення.

3. Параметри типу активності мають співпадати.

Але визначення однозначного співпадіння записів від різних ДІ є складним завданням, особливо для фіксації активності в різні моменти часу або некоректної чи непередбаченої для окремих типів ДІ фіксації деяких параметрів.

Різні пристрої реєструють одну й ту саму активність у різні моменти часу, значення яких відрізняються один від одного на допустиму затримку. Але при об'єднанні записів про активність параметр часових характеристик матиме єдине значення. Для цього слід визначити один або кілька ДІ, що фіксують активність у режимі реального часу або з малим значенням затримки.

Вибір таких джерел здійснюється відповідно до розташування відносно активності та режиму роботи. При виборі серед кількох джерел найбільш значущого для фіксації активності об'єкта базовим моментом часу активності вибирається час саме від цього ДІ.

Висновки до розділу 3

1. Одержала подальший розвиток модель комплексування інформації про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різнорідних джерел інформації, яка, на відміну від відомих, базується на обробці числових рядів значень параметрів спостереження, що надходять від джерел різної фізичної природи, для створення інформаційного простору в системі е-Навігації, що дозволяє підвищити оперативність та обґрунтованість управління рухом гібридного роботизованого комплексу у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів.

2. Аналіз методів моделювання числових рядів показує перспективи нечіткого моделювання для розробки методів та моделей ідентифікації та аналізу нових об'єктів за допомогою нечітких тенденцій. Аналіз та

ідентифікація нечітких тенденцій є невід'ємною частиною вивчення слабо структурованих процесів складних організаційних та технічних систем у завданнях інтерпретації, діагностики, прогнозування та планування. Ідентифікація нечітких тенденцій застосовується для вивчення детермінованих, стохастичних та нечітких динамічних процесів, до яких відносяться завдання розглянутого класу.

3. Удосконалено метод формалізації активності об'єкта моніторингу з використанням нечітких часових рядів у системі моніторингу надводної та підводної обстановки, в якому, на відміну від відомих, тенденції активності об'єкта спостереження за певний інтервал часу визначаються шляхом комплексної обробки інтервальної якісної оцінки значень числового ряду параметрів, що надходять від різномірних джерел інформації, що дозволяють усунути похибки та невизначеність, наявні у процесі моніторингу, й описати різні стани активності, за характеристиками яких виконується класифікація об'єкта моніторингу.

4. Розроблено метод підготовки даних до форми, придатної для аналізу відомими методами інтелектуального аналізу даних. Запропонований метод дозволяє інтегрувати дані, які характеризують одну й ту ж саму активність в єдиний запис. Крім того, при розробці методу враховується неточність даних, пропуск даних або їх неправильність. Застосування методу дозволяє зменшити надмірність інформації шляхом поєднання атрибутів та записів, що описують активність об'єктів моніторингу.

Основні результати розділу надруковані у роботі [140]

РОЗДІЛ 4

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ
НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ В СИСТЕМІ e-NAVIGATION4.1 Мета та принципи побудови інтегрованої системи ходового містка в
рамках концепції e-Navigation

Інтегрована система ходового містка (Integrated Bridge System, *IBS*) – програмно-апаратний комплекс, в якому застосовано системний підхід щодо автоматизації процесів збирання, обробки, відображення інформації, виконання функцій навігації, керування судном, радіозв'язку та забезпечення безпеки з метою досягнення максимальної ефективності вахти на містку кваліфікованим персоналом [5].

У роботах [18, 35, 53, 71, 99] наведено підходи щодо інтелектуалізації *IBS* для вирішення завдань оцінки навігаційної обстановки та прийняття рішення судноводієм.

Зразки *IBS*, що випускаються різними фірмами, мають певні відмінності за складом, виконуваними функціями, дизайном. Типова *IBS* містить:

- систему джерел навігаційної інформації (Navigation Sensors);
- навігаційно-інформаційну систему – НІС (Navigation and Information System);
- систему попередження зіткнень – СПЗ (Collision Assessment and Avoidance System);
- систему оцінки та оптимізації мореплавства – СОМ (Vessel Seaworthiness Assessment and Optimization System);
- систему планування та оптимізації шляху – СПШ (Voyage Planning and Route Optimization System);
- станцію управління рухом судна – СУР (Maneuvering Control Station);
- централізовану систему моніторингу та сигналізації – ЦСМ (Centralized Monitoring and Alarm System);

– інтегровану систему радіозв'язку – ICP (Integrated Radio Communication System – IRCS);

– реєстратор даних рейсу – РДР (Voyage Data Recorder – VDR).

Саме забезпечення заданих ефективності та безпеки є пріоритетом при виконанні судном рейсу з точки А (початок маршруту) до точки В (кінець маршруту) при комплексному застосуванні *IBS*. Концепція e-Navigation [87, 49, 70] передбачає інтелектуалізацію *IBS*, що, у свою чергу, має на увазі вибір параметрів управлінського впливу на судно на основі інформаційної моделі стану навігаційної обстановки в системі "судноводій-судно-обстановка". Така модель є продуктом роботи підсистеми оцінки та прогнозування стану навігаційної обстановки як невід'ємної частини інтелектуального *IBS*. А сама система будуватиметься на методах ШІ, теорії прийняття рішень й інформації.

Інтелектуалізація систем навігації ходового містка дозволяє оперативно реагувати на загрози та небезпечні ситуації, що виникають під час руху судна. У залежності від навігаційної ситуації на ходовому містку виконуються такі процедури [20, 98]:

– штатні (перехід морем, плавання в особливих умовах, рух у портовій акваторії);

– планування плавання (комплектування, підбір та коректура навігаційних морських карт, посібників та керівництв на майбутній рейс, вивчення району плавання, попередня прокладка маршруту, ведення прокладки, обчислення шляху судна, визначення місця судна);

– критичні (повне знеструмлення судна, пожежі, посадка на мілину, зіткнення з навігаційною перешкодою, ситуації небезпечного зближення, ситуації "людина за бортом", надання допомоги іншим суднам у надзвичайних ситуаціях та ін.).

Процедури визначаються в певний момент часу, які треба виконати для забезпечення безпеки руху судна.

Місце системи e-Navigation та *IBS* у загальній структурі системи "судноводій-судно-обстановка" наведено на рис. 4.1.

Рисунок 4.1 – Структура системи "судноводій-судно-обстановка"
(Джерело: розроблено автором)

Розглянемо місце розроблених у роботі моделей та методів у концепції e-Navigation в інтегрованої системи ходового містка (рис. 4.2).

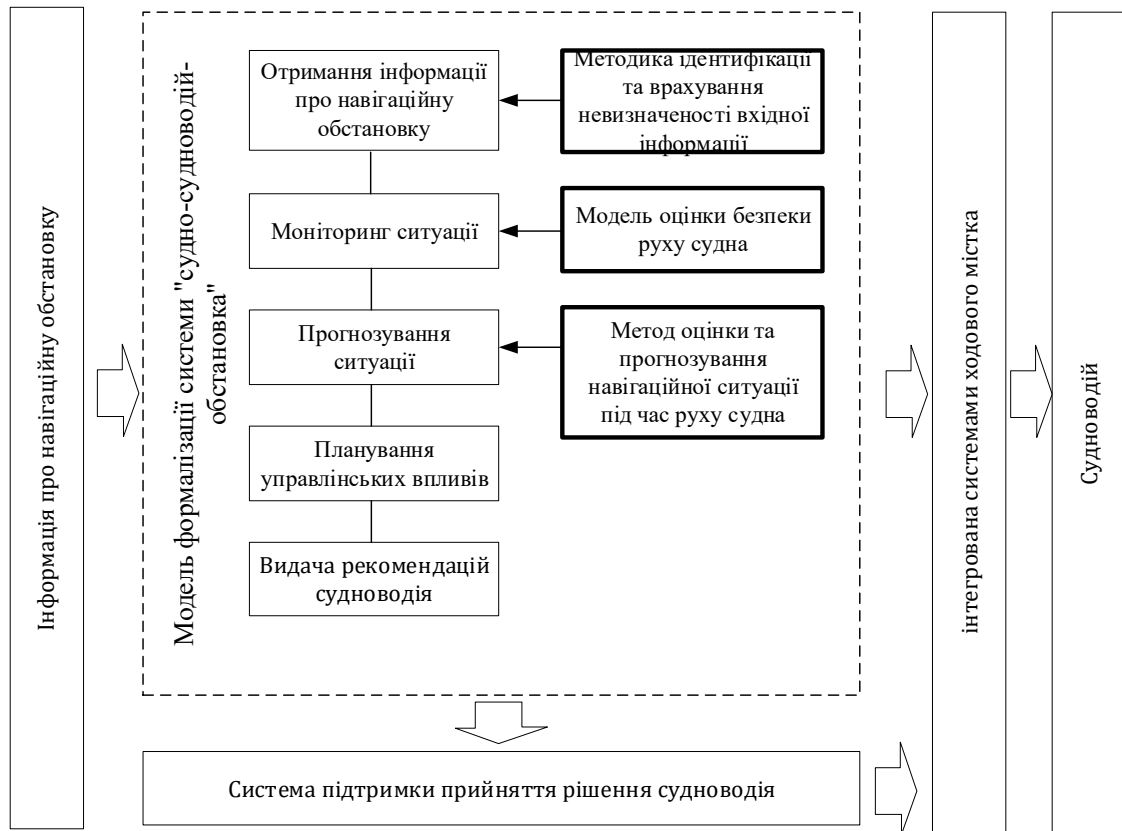


Рисунок 4.2 – Місце розроблених у роботі моделей та методів у концепції e-Navigation в інтегрованої системи ходового містка

(Джерело: розроблено автором)

На основі моніторингу, аналізу та оцінки навігаційної ситуації судноводій здійснює управлінський вплив на рух судна. Для вирішення цього триєдиного завдання в *IBS* автоматизовано виконується:

- моніторинг навігаційної обстановки, що складається з даних, що надходить від різномірних джерел інформації;
- оперативне відстеження діяльності суден і берегових служб, виконуваної в єдиному інформаційному просторі;
- виявлення факторів, що найбільше впливають на розвиток ситуації;
- контроль та управління судном на основі своєчасного прогнозу

розвитку ситуації.

У системі e-Navigation як невід'ємній складовій інтегрованої системи ходового містка розглядатиметься прогноз розвитку ситуації, що передбачає вирішення таких основних завдань:

- визначення ступеня впливу факторів на обстановку та виявлення напрямків і швидкостей їх розвитку;
- комплексна оцінка розвитку ситуації;
- виконання цільових розрахунків на основі різних наборів параметрів і формування прогнозів розвитку обстановки;
- обґрунтування можливості досягнення цілей управління судном й оцінка ступеня управлінського впливу.

Досягнення поставленої цілі управління судном досягається оптимальним розподілом ресурсів у ході планування.

До завдань планування управлінського впливу в інтегрованій системі ходового містка належать:

- формулювання та визначення системи показників, що впливають на розвиток ситуації чи процес управління загалом;
- обґрунтування показників цілей та завдань управління судном;
- визначення потреб, планування обсягів і структури необхідних ресурсів.

Отримані плани та прогнози надходять на вхід підсистеми прийняття рішень, а також зберігаються у базі даних для повторного їх використання.

Вибір математичного забезпечення та алгоритмів прогнозування та планування здійснюється на основі інформації про предметну область і тип невизначеності. Це дозволяє реалізувати процеси адаптації системи до змін навігаційної обстановки та підвищити точність прогнозу.

При прийнятті рішень судноводієм основною метою функціонування ходового містка є вирішення завдань судноводіння за умов невизначеності та неоднорідності інформації, що поступають від різномірних ДІ, а саме:

- комплексне вирішення проблеми на основі формальних та неформальних методів підтримки прийняття рішень судноводієм;

- синтез можливих варіантів рішення для рекомендації судноводієві;
- вибір, кількісна та якісна оцінка критеріїв ефективності;
- вибір та оптимізація рішення [127, 97].

У рамках функціонування системи e-Navigation використовується інформація від судових та берегових ДІ. Судноводій отримує можливість обрати оптимальне рішення для запобігання небезпечної ситуації. Також слід зазначити, що у процесі роботи ходового містка необхідно враховувати множину факторів, аналіз яких залежить від особливостей вхідної інформації та типу невизначеності. Тому одним із основних завдань інтегрованих систем ходового містка є врахування невизначеності вхідної інформації. У зв'язку з цим до системи e-Navigation входить модуль оцінки невизначеності інформації, на підставі роботи якого має бути реалізований вибір методів та алгоритмів вирішення поточних завдань на ходовому містку.

4.2 Модель формалізації системи "судно-судноводій-обстановка"

Судноводій під час управління судном має постійно оцінювати навігаційну обстановку для забезпечення безпеки руху судна. Систему "судно-судноводій-обстановка" (*ShNS*) можна подати як таку, що визначається множиною елементів та взаємозв'язків між ними. Основними елементами даної системи є судноводій, судна, об'єкти навколишнього середовища та активності, що виникають у відповідному районі судноплавства. Всі елементи *ShNS* взаємодіють між собою за відповідними законами та правилами [89, 64, 52]. Модель *ShNS* системи можна представити у вигляді

$$ShNS = \{Obj, Sh, Par, A, S\}, \quad (4.1)$$

де *Obj* – множина об'єктів навколишнього середовища у визначеному районі судноплавства;

Sh – множина суден у визначеному районі судноплавства;

Par – множина параметрів навігаційної обстановки у визначеному районі судноплавства;

A – множина активностей, що здійснюють судна та об'єкти навколишнього середовища у визначеному районі судноплавства;

S – множина навігаційних ситуацій, що зумовлюється параметрами навігаційної обстановки та активністю суден та об'єктів навколишнього середовища у визначеному районі судноплавства.

Перехід системи $ShNS$ з одного стану в початковий момент часу t_0 у подальший стан в момент часу t виконується впливом на судно навігаційної ситуації та управлінських рішень судноводія. Стан навігаційної ситуації $s(t)$ в момент часу t характеризується станом всіх об'єктів, параметрів навколишнього середовища, інших суден та їх активності у визначеному районі.

Елементи $ShNS$ можна класифікувати відповідно до динаміки зміни їх параметрів на статичні та динамічні. Статичні елементи не змінюють значення своїх параметрів за визначений час і дозволяють моделювати берегову лінію, надводні та підводні елементи рельєфу, надводні та підводні статичні об'єкти інфраструктури людської діяльності у визначеному районі судноплавства. Динамічні елементи змінюють свій стан та параметри відповідно до певних законів та правил у визначеному проміжку часу. Вони можуть активно реагувати на дії судноводія, змушують його чинити управлінський вплив на судно для досягнення цілей та безпеки руху при заданих обмеженнях на ресурси. Такими елементами можуть бути інші судна, дрейфуючі природні та антропогенні об'єкти, елементи навігаційної обстановки.

Модель судноводія можна подати як його функцію поведінки ρ :

$$\rho = \{\varphi, Op, D, U\}, \quad (4.2)$$

де φ – психофізичний стан судноводія;

Op – досвід судноводія;

D – множина джерел інформації, що є в наявності у судноводія;

U – множина управлінських впливів, доступних судноводію.

Джерела надають судноводію інформацію про стан $ShNS$, відповідно до якої судноводій формує уявлення про навігаційну ситуацію і визначає множину управлінських впливів, які йому доступні у даний момент. Судноводій може взаємодіяти з іншими судноводіями та динамічними елементами системи $ShNS$ у відповідному районі судноплавства. Для кожного динамічного елементу системи $ShNS$ відомі фізичні закони їх функціонування та правила й закони їх реакції на різні способи взаємодії. Для забезпечення досягнення цілей та безпеки плавання взаємодія між судном та динамічними елементами $ShNS$ має відбуватися на безпечній дистанції.

Множина управлінських впливів, доступних судноводію, його психофізичний стан та досвід, формують функцію поведінки у даній навігаційній ситуації.

Управлінський вплив здійснюється для виконання цілей плавання та забезпечення безпеки руху судна. У загальному вигляді управлінський вплив судноводія задається так:

$$u = \{V, \alpha, \tau, R\}, \quad (4.3)$$

де V, α – швидкість та курс судна, що змінюються за рішенням судноводія;

τ – ціль управлінського впливу;

R – множина ресурсів, що є у судноводія для здійснення управлінського впливу.

Ціль управлінського впливу (τ) відповідає цільовій функції судна (F), яку воно реалізує під час плавання, що забезпечує отримання максимальної економічної ефективності за умови забезпечення безпеки руху у водній акваторії [2]:

$$\tau = F[(E \rightarrow \max E)/(P_{\text{бз}} > P_{\text{нз}})], \quad (4.4)$$

де E – економічна ефективність;

$P_{\text{бз}}$ – ймовірність плавання без зіткнень;

$P_{\text{нз}}$ – ймовірність настання ситуації небезпечного зближення.

При наявності в районі плавання інших суден та об'єктів може виникнути навігаційна ситуація, що впливає на безпеку руху судна. Відповідно при сталому русі суден не виконується нерівність $P_{\text{бз}} > P_{\text{нз}}$, а саме не забезпечується достатній рівень безпеки судна. Тому ціль управлінського впливу змінюється і складається зі зменшення $P_{\text{нз}}$ незалежно від втрат економічної ефективності.

4.3 Шляхи інтелектуалізації інтегрованої системи ходового містка у рамках концепції e-Navigation з урахуванням невизначеності вихідної інформації

Ходовий місток судна надає судноводієві можливість приймати оперативні рішення щодо небезпек та ситуацій, що виникають у процесі судноплавства. У залежності від функцій та завдань, що стоять перед судноводієм, виділяються режими роботи ходового містка: нормальний (розробка сценаріїв розвитку ситуації, генерація альтернатив вирішення проблеми), планування (дозволяє знаходити приховані причинно-наслідкові зв'язки процесів, прогнозувати), кризовий (необхідний для прийняття рішень у складних чи надзвичайних ситуаціях) [32, 41, 132].

Режим роботи визначається в певний момент часу набором функцій та завдань, що потребують вирішення. У відповідності до режиму роботи на ходовому містку (штатний, планування, критичний) функції та процеси, що виконуються на ходовому містку, є специфічними для тих чи інших режимів роботи, наприклад, запобігання небезпечних ситуацій та виявлення

прихованих причинно-наслідкових зв'язків, а деякі – загальними, наприклад, прогнозування та моделювання.

На процес роботи всіх підсистем ходового містка впливає режим роботи та тип невизначеності вхідної інформації про навігаційну обстановку. Тому інформація про режим роботи ходового містка та тип невизначеності дозволяє застосовувати найбільш відповідний математичний апарат, за допомогою якого виконується інтелектуалізація інтегрованих систем ходового містка:

– підсистема моніторингу: логістична регресія, дерева рішень, випадковий ліс, наївний алгоритм Байєса;

– підсистема прогнозування: регресійні моделі, GLM (узагальнені лінійні моделі), авторегресійні моделі, метод групового врахування аргументів, нейронні мережі, дерева рішень, експертні методи;

– підсистема планування: виведення на основі прецедентів, експертні системи, мультиагентні системи, комбінаторні та графові моделі;

– підсистема прийняття рішень: нечітка логіка, методи оптимізації.

Можливості застосування розглянутих методів та алгоритмів у реальному режимі часу у залежності від типу невизначеності наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Можливості застосування розглянутих методів та алгоритмів у реальному режимі часу залежно від типу невизначеності
(Джерело: розроблено автором)

Методи	Режим роботи ходового містка	Тип невизначеності
Логістична регресія, наївний алгоритм Байєса, узагальнені лінійні моделі, регресія, дерева рішень	Штатний, критичний	Стохастична
Виведення на основі прецедентів, нечітка логіка	Штатний, критичний	Нечітка
Штучний інтелект на основі логіки та формальної мови, методи оптимізації, комбінаторні та графові моделі	Штатний, критичний	Детермінована

Таким чином, у результаті аналізу наведених у табл. 4.1 даних визначені можливості та обмеження застосування розглянутих методів, моделей та алгоритмів в *IBS* у межах концепції e-Navigation:

- авторегресійні моделі й інтуїтивні методи можуть використовуватися тільки в штатному режимі роботи ходового містка;
- нейронні мережі та методи NLP можуть застосовується в реальному режимі часу, але потребують попереднього навчання у штатному режимі;
- обмеженість універсальних методів та алгоритмів, побудованих на використанні знань експертів, для вирішення широкого кола завдань;
- дерева рішень та випадковий ліс, що працюють з текстовими або категоріальними даними, вимагають менших ресурсів для попередньої обробки даних.

4.3.1 Метод ідентифікації та врахування невизначеності вхідної інформації в інтегрованій системі ходового містка

Ідентифікація та врахування невизначеності вхідної інформації, отриманої від різномірних ДІ, потребує взаємодії систем обробки та зберігання даних, а також виведення результатів роботи у форматах, придатних для використання в інших системах ходового містка судна. На рис. 4.3 наведено загальну структуру методу ідентифікації та врахування невизначеності вхідної інформації в інтегрованій системі ходового містка.

В основі роботи програми лежить алгоритм, який дозволяє оцінити та визначити комплекс параметрів вихідної інформації, підготувати дані для їх подальшої обробки в експертній системі, яка вибере найбільш відповідний тип невизначеності. Результати розрахунків можуть використовуватись іншими додатками та системами для оптимального опису систем.

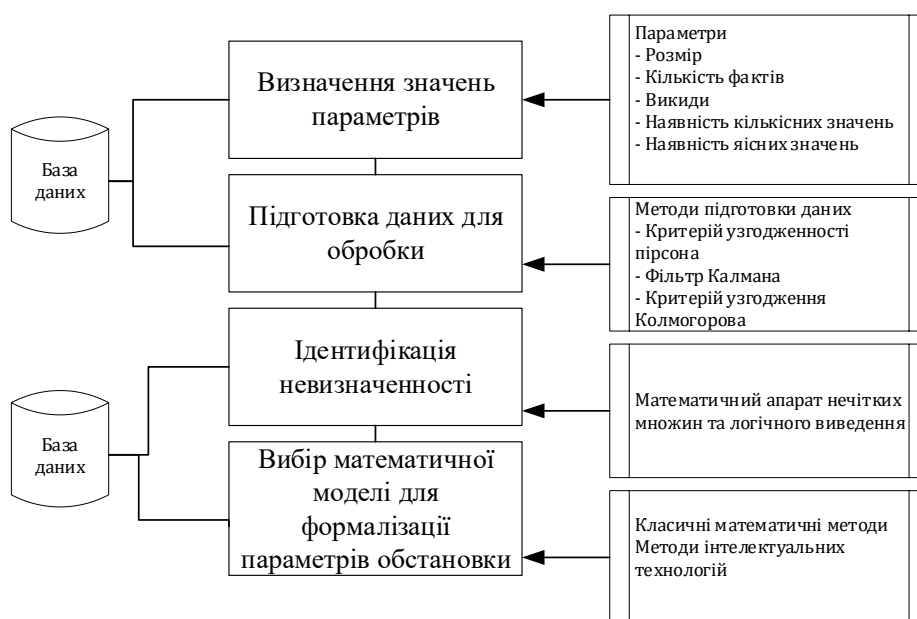


Рисунок 4.3 – Загальна структура методу ідентифікації та врахування невизначеності вхідної інформації
(Джерело: розроблено автором)

Отриманий тип невизначеності дозволяє зробити припущення про методи, які слід застосувати для обробки інформації.

Таким чином, запропонований метод ідентифікації та врахування невизначеності вихідної інформації може бути впроваджений у вигляді окремої підсистеми ситуаційного центру. Внаслідок її функціонування визначається один з трьох типів невизначеності: детермінована, стохастична або нечітка. Використовуючи наведену вище класифікацію методів опису систем та штучного інтелекту можливо здійснити підбір оптимального методу з урахуванням типу невизначеності та складності системи.

4.3.2 Аналіз поняття безпеки під час руху судна

Каркасом для оцінки поточної навігаційної ситуації та прогнозу її розвитку на деякому часовому інтервалі виступає концептуальний аналіз безпеки судноплавства, коли аналізу піддаються різні аспекти безпеки.

Безпека – поняття комплексне, що містить взаємопов'язані та взаємозалежні критично значущі частини. Тому при комплексній оцінці безпеки методи опосередкування часткових критеріїв безпеки не дозволяють обґрунтовано оцінити навігаційну обстановку. Безпека судноплавства існує для запобігання небезпечної ситуації. Безпеку судноплавства забезпечує й оцінює судноводій, саме наявність якого на судні характеризує об'єктивність і суб'єктивність поняття.

Виходячи з цього, для оцінки рівня безпеки необхідно застосування лінгвістичних змінних. Діапазон оцінки комплексної безпеки судноплавства можна задати в інтервалі від 0 до 1, коли нулю відповідає абсолютно неприйнятний безпековий рівень (нижча оцінка), а 1 – найвища оцінка. За комплексної оцінки рівень небезпеки навігаційної ситуації якісно змінюється. Деякі ризики, неприйнятні за одних обставин, за інших оцінюються як допустимі. А обставинами, що впливають на оцінку безпеки взагалі й оцінку безпеки руху судна, зокрема, є інші ризики, їхня наявність або відсутність.

Згідно з [65, 74] під безпекою руху судна (БРС) розуміється стан збереження (захищеності) людського здоров'я і життя, довкілля та майна на морі й на внутрішніх водних шляхах; відсутність неприпустимого ризику, пов'язаного з загибеллю або травмуванням людей, заподіянням шкоди довкіллю або матеріальних збитків. Безпека однозначно визначається предметною областю, до якої вона відноситься, і знаходиться у постійній динаміці водночас зі змінами, що відбуваються у певній предметній області.

Отже, якщо мова йде про систему "судноводій-судно-навігаційна обстановка", то виникає протиріччя між запобіганням небезпечної ситуації, з одного боку, і необхідністю забезпечення безпеки судноплавства при управлінні судном, з іншого. Вирішення даного протиріччя досягається шляхом нейтралізації впливу небезпеки при управлінні судном, а саме, передбаченням, запобіганням, локалізацією та усуненням збитків від небезпеки, якщо така подія сталася [90, 113].

Усі процеси в системі «судноводій-судно-навігаційна обстановка» мають бути під найжорстокішим контролем для мінімізації виникнення потенційних загроз. Але повністю виключити реалізацію загроз неможливо, особливо під час руху судна, що знижає рівень безпеки, і створює передумови до виникнення небезпечних ситуацій. Режим роботи ходового містка переходить від штатного до кризового, що відображається у значеннях різних критеріїв та показників, використовуваних для оцінки безпеки [112, 128, 136].

Дослідженню в цій галузі присвячено низку робіт, в яких пропонуються різні підходи до оцінки рівня комплексної безпеки (КОБ).

Особливостями завдання створення систем оцінки навігаційної обстановки та прогнозування її розвитку є:

- неповнота і невизначеність вихідної інформації про склад і характер загроз;
- необхідність врахування великої кількості кількісних та якісних часткових показників;
- неможливість застосування класичних методів оптимізації.

4.3.3 Формалізація поняття безпеки руху судна

При розв’язанні багатокритеріальних задач часто використовуються різні методи згортання деякої множини критеріїв в один інтегральний. Найчастіше при його побудові один критерій вибирається за основний, а всі інші розглядаються як обмеження, в яких задається область допустимих значень змінних. Але за такого підходу рішення фактично знаходиться лише за одним критерієм. Значення решти критеріїв суттєво не впливають на результати пошуку при задоволенні їх обмеженням.

Для побудови комплексного критерію також застосовують методи адитивної та мультиплікативної згортки.

Адитивний метод нечутливий до екстремальних значень окремих критеріїв, оскільки компенсація значень одних критеріїв виконується за

рахунок інших. Крім того, комплексна оцінка рівня безпеки судноплавства не є простою сумою складових її частин. При оцінці рівня безпеки судноплавства методи та моделі, ґрунтовані на припущеннях про лінійну залежність функціонування системи, не можуть адекватно описувати ситуацію. Тому адитивна згортка для комплексної оцінки рівня безпеки не підходить.

Значення мультиплікативного критерію докорінно відрізняється від адитивного. Ця відміна полягає у тому, що при малих значеннях окремих критеріїв значення мультиплікативного критерію також різко зменшується, що дозволяє виключити небажані варіанти при прийнятті рішення.

Отже, для завдань оцінки комплексної безпеки судноплавства доцільним є застосування мультиплікативної згортки векторного критерію:

$$Cr = \prod_i (w_i \times cr_i), \quad (4.5)$$

де cr_i – часткові критерії;

w_i – ваги за кожним окремим критерієм cr_i .

При згортці різнорідних критеріїв використовувати їх абсолютні значення неможливо. Тому переходять до відносних величин критеріїв, фіксуючи шкали можливих значень та можливі межі зміни для кожного з них. Якщо діапазон значень знаходиться в межах $[0; 1]$, а девіація критерію cr_i лежать між cr^{min} та cr^{max} , то відносне значення представляється як

$$\overline{Cr} = \prod_i \frac{cr_i - cr_i^{min}}{cr_i^{max} - cr_i^{min}}. \quad (4.6)$$

В умовах складної навігаційної обстановки важко отримати від джерел та судноводія інформацію для розрахунку \overline{Cr} . Судноводій надає, переважно, лише якісну інформацію про найбільш чи найменш значущі критерії у даній ситуації, про найгірші критерії або погіршення якого є небезпечним і т. д.

Багато аспектів безпеки системи можуть взагалі не підлягати кількісному виміру. Тоді при їхньому оцінюванні вдаються до штучних прийомів. Наприклад, кожному фактору зіставляється кількісна бальна шкала [79, 94]. При цьому необхідно запропонувати експерту методику, за якою він має зробити оцінку. Багато понять, пов'язаних з безпекою, є суто якісними й ускладненим є їх кількісний вимір. Проте, застосовування нечітко виражених ступенів, таких як "низький", "середній", "високий", не вимагає від експерта кількісної точності, достатньо лише суб'єктивної оцінки природною мовою.

4.3.4 Модель та алгоритм оцінки безпеки руху судна

Рівень комплексної безпеки руху судна (SFM) відобразимо математичною моделлю, що характеризує стан системи "судноводій-судно-навігаційна обстановка" щодо безпеки людей, судна і вантажу:

$$SFM = \begin{pmatrix} cr_1 & t_1 & l_1 & tend_1 & V_1 \\ cr_2 & t_2 & l_2 & tend_2 & V_2 \\ - & - & - & - & - \\ cr_i & t_i & l_i & tend_i & V_i \end{pmatrix}, \quad (4.7)$$

де $tend_i$ – тенденція зміни i -го критерію (зростає, зменшується, не змінюється);

V_i – швидкість зміни i -го критерію (низька, середня, висока);

t_i – час, характерний для i -го критерію;

l_i – вага негативних наслідків (або ступінь критичності) при реалізації ризиків, що погіршують значення i -го критерію.

У матриці SFM , що відображає рівень комплексної безпеки руху судна, його поточний стан описується першими трима стовпцями матриці через вектор часткових критеріїв безпеки (назва, характерний час, вага наслідків). Динаміку зміни рівня безпеки, тобто прогноз напряму розвитку навігаційної

ситуації, спостерігають за четвертим і п'ятим стовпцями матриці. Так можна оцінити рівень впливу кожного параметра на часткові критерії безпеки cr_1 та ступінь прийнятності негативних наслідків l_i .

Вплив загроз на безпеку руху судна можна описати таким виразом:

$$Tr = \begin{pmatrix} tr_1^{l_1} \\ tr_2^{l_2} \\ - \\ tr_i^{l_i} \end{pmatrix}, \quad (4.8)$$

де $tr_i^{l_i}$ – загроза, що може спричинити l_i негативний наслідок.

Однак сукупність заходів превентивних заходів $Reac$ щодо запобігання загрозам дозволяє знизити вплив загроз на ступінь безпеки руху судна:

$$Tr^{Reac} = Reac \times Tr; \quad (4.9)$$

$$Reac = \begin{pmatrix} reac_1^{tr_1} \\ reac_2^{tr_2} \\ - \\ reac_i^{tr_i} \end{pmatrix}, \quad (4.10)$$

де $reac_i^{tr_i}$ – превентивний захід на загрозу tr_i .

Кожен $reac_i^{tr_i}$ знижує загальну ймовірність реалізації загроз Tr . Якщо превентивними заходами попередити виникнення негативних наслідків при реалізації певної множини загроз під час руху судна неможливо, то вживаються всі способи локалізації та усунення загроз.

Результуючий вектор остаточних загроз визначається за виразом

$$Tr^{Reac} = Reac \times Tr. \quad (4.11)$$

Невизначеність інформації про поточну навігаційну обстановку провокує появу первинних загроз. Отже, починати боротьбу з ними необхідно ще до їхнього наступу, не допустивши самого факту їхньої появи. Усунення причин, що викликають вторинні загрози, запобігає їх виникненню. Тому правильне розуміння навігаційної ситуації судноводієм, його адекватні дії для запобігання первинних загроз сприяють зниженню ймовірності появи вторинних загроз.

Загальний алгоритм аналізу комплексної безпеки під час руху судна можна подати так (рис. 4.4):

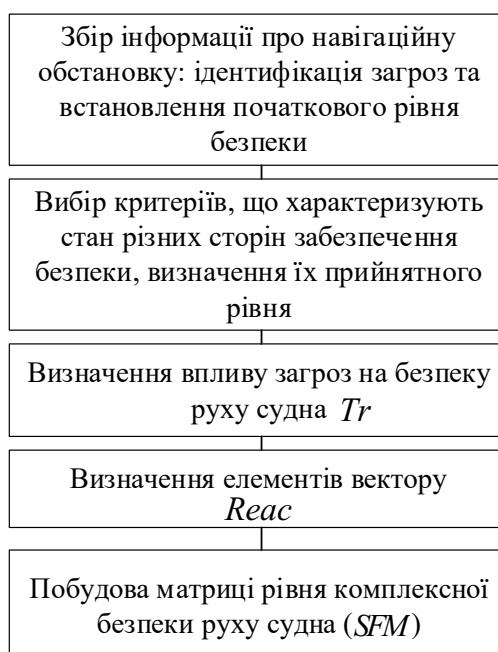


Рисунок 4.4 – Загальний алгоритм аналізу комплексної безпеки під час руху судна

(Джерело: розроблено автором)

1. Встановлення базового рівня безпеки і виявлення потенційних загроз при аналізі навігаційної обстановки. При цьому необхідно врахувати, що серед факторів, що впливають на безпеку руху судна, особливе місце посідають

суб'єктивні фактори, які є найменш прогнозованими [11].

2. Обґрунтування і вибір критеріїв забезпечення безпеки Cr (інтервальні оцінки чи лінгвістичні терми), визначення їх прийнятного рівня.

3. Визначення впливу загроз на безпеку руху судна.

4. Визначення елементів вектору $Reac$.

5. Побудова матриці рівня комплексної безпеки руху судна (SFM).

Отже, забезпечення безпеки руху судна досягається одночасним аналізом навігаційної обстановки й управлінням впливами на систему. Перше завдання вирішується обранням критерію безпеки Cr та інтегрального критерію \overline{Cr} і визначенням їх значення при заданні всіх параметрів, що впливають на них. Наявність декількох наборів необхідних управлінських впливів породжує задачу оптимізації, розв'язанням якої є така комбінація впливів, що не допускає або мінімізує вплив негативних факторів на безпеку руху судна.

4.3.5 Метод оцінки й прогнозування навігаційної ситуації під час руху судна

Для формалізації слабо структурованих процесів, прогнозування та підтримки прийняття рішень часто застосовують математичний апарат нечітких множин. Його перевагами перед іншими підходами є можливість формалізації якісних характеристик параметрів, можливість застосування неповної, нечіткої і навіть суперечливої інформації [32, 123, 148].

При моделюванні ситуативної поведінки інтелектуальних агентів, за аналізом нечітких ситуаційних мереж [54, 77], адекватність дій агентів визначається саме поточною ситуацією. Тобто рішення агентів є найкращими з погляду подальших змін поточної ситуації та досягнення цільової ситуації. Є відповідність між кожною ситуацією і множиною можливих рішень [54, 77].

Трудомісткість створення мовних засобів опису ситуацій та відносин між об'єктами для складних систем при використанні ситуаційного підходу, як правило, не завжди має достатній позитивний ефект [83, 125].

Інша група методів, що базується на ситуаційному підході, орієнтована на подання ситуацій у вигляді значень набору ознак [92, 100, 114].

Інтеграція ситуаційного підходу з моделями виведення на основі аналогій [80, 111], семантичними ситуаційними та дискретними ситуаційними мережами [28, 42] тощо, є перспективним напрямком подальших досліджень.

Поєднання ситуаційного підходу з методами теорії нечітких множин, відношень та нечіткої логіки дозволяє описувати практично необмежену кількість ситуацій, що характеризують стани агентів та навколишнього середовища, обмеженим набором нечітких ситуацій. Поєднання ситуаційного та нечіткого підходів отримало назву нечіткого ситуаційного підходу.

Поняття та положення нечіткого ситуаційного підходу, прямо чи опосередковано використовують методи нечіткого логічного виведення, нечіткої класифікації, багатокритеріальної оцінки та вибору альтернатив [4, 88, 118], аналізу ситуацій у вигляді графових структур [16, 31, 59, 86, 101]. Так, за сукупністю нечітких значень лінгвістичних (нечітких) змінних нечіткі продукційні моделі і методи логічного виведення визначають нечіткі ситуації. Вони, по суті, ідентифікуються при заданих значеннях вхідних змінних. За допомогою методів нечіткої класифікації поточну ситуацію можна віднести до певного класу, що відповідає окремому етапу ситуаційного управління.

Цікаві результати отримані при моделюванні поведінки інтелектуальних агентів методами нечіткої багатокритеріальної оцінки та вибору альтернатив. Результатом ідентифікації поточних станів агента та відповідних типових нечітких ситуацій є вибір оптимальних множин дій (керуючих впливів). Але тільки ідентифікація поточної ситуації та відповідної їй множини дій інтелектуальних агентів не є достатніми для моделювання. Вкрай важливим вважається визначення альтернатив досягнення цільових ситуацій та оцінки наслідків вжитих керуючих впливів.

У роботі [130] узагальнено методи та моделі підтримки прийняття рішень на основі нечіткого ситуаційного підходу, а також запропоновано механізми ідентифікації поточної ситуації щодо типових, що містяться в базі нечітких

ситуацій та вибору керуючих впливів або послідовності таких впливів залежно від типу нечіткого ситуаційного виведення: «ситуація – дія»; «ситуація – стратегія управління – дія».

Нечітке ситуаційне виведення типу «ситуація – дія» відрізняється наявністю однозначної відповідності кожної типової ситуації деякому керуючому рішення. Причому це рішення не орієнтовано на визначення послідовності дій, що призводять до цільової ситуації.

Нечітке ситуаційне виведення типу "ситуація – стратегія управління – дія" засноване на побудові нечіткої ситуаційної мережі (НСМ), вершини якої відповідають типовим станам агентів та навколишнього середовища, а дуги – керуючим рішенням, ваги яких характеризують їх значимість.

У нечіткому ситуаційному підході базовими є поняття нечітка ситуація та управлінський вплив. Завдяки ним за допомогою послідовності керуючих рішень легко описується перехід із поточної ситуації до цільової.

Основними способами побудови нечіткої ситуаційної мережі є прямий і зворотний. Прямий спосіб являє собою ітераційно повторюваний процес визначення поточної ситуації і застосування до неї процедур формалізованого опису керуючих впливів для переходу до найближчої від розглянутої ситуації. При застосуванні зворотного способу задається множина всіх типових ситуацій мережі, а далі визначаються рішення та керуючі переходи між ними.

Отже, сукупність розкритих чинників обґрунтовує доцільність побудови нечітких ситуаційних моделей. На даних моделях базуються методи та алгоритми моделювання індивідуальної та колективної поведінки інтелектуальних агентів. Розширені можливості агентів адаптуватися до змінних умов пояснюються врахуванням взаємозалежності нечітких ситуаційних ознак, використанням різних типів взаємодії, розподілом завдань, ролі та ступеня відповідальності.

Нечітка ситуаційна мережа є нечітким орієнтованим зваженим графом переходів за нечіткими еталонними ситуаціями. Рішення щодо поточної ситуації виводиться завдяки набору нечітких керуючих впливів (рішень).

Стратегія управління при досягненні цільової ситуації, як послідовність таких нечітких керуючих рішень, представляє собою нечіткий маршрут між поточною та цільовою ситуаціями у HCM, яка має вид [7, 37, 41, 63, 73, 96, 135]:

$$S = \langle par, s^f, s^e, SFM, rule, u, adapt \rangle, \quad (4.12)$$

де, par – множина нечітких ситуаційних ознак;

s^f – поточна нечітка навігаційна ситуація;

s^e – множина еталонних ситуацій;

SFM – рівень комплексної безпеки руху судна;

$rule$ – множина правил, що можуть бути активовані у поточний момент часу, складені відповідно до вимог МПЗЗС-72;

u – керуючий вплив (рішення) судноводія;

$adapt$ – правила адаптації HCM (зміна компонентів і значень мережі (нечітких ознак, ситуацій, переходів)).

Судно при русі послідовно проходить через певні ситуації, що визначають рівень безпеки судноплавства. Керування цими ситуаціями підвищує безпеку судноплавства і сприяє створенню множини s^e еталонних ситуацій.

Формування нечіткої ситуації виконується таким чином:

- 1) прийом оцінок безпеки руху судна у поточній ситуації;
- 2) перетворення оцінки у поточну нечітку ситуацію;
- 3) зіставлення поточної нечіткої ситуації з еталонними для пошуку найближчої еталонної ситуації;
- 4) при перевищенні еталонною ситуацією порогу довіри ($\geq 0,6$) формується керуюче рішення, характерне для подібної еталонної ситуації [116].

Визначимо поняття нечіткої навігаційної ситуації:

$$s^f = \left\{ \frac{\mu_s(par_i)}{par_i} \right\}, par_i \in Par. \quad (4.13)$$

Вибір міри близькості поточної нечіткої навігаційної ситуації s^f до

еталонної s^e оцінюється за виразом:

$$\mu(s^f, s^e) = \cap_{par \in Par} (\mu_{sf} \leftrightarrow \mu_{se}), \quad (4.14)$$

який, згідно до визначення нечіткої еквівалентності, має такий вигляд:

$$\mu(s^f, s^e) = \min(\max(1 - \mu_{sf}, \mu_{se}), \max(1 - \mu_{se}, \mu_{sf})). \quad (4.15)$$

У роботах [36, 130] обґрунтовано, що при $\mu(s^f, s^e) > 0,5$ ситуації можна вважати нечітко рівними, а при $\mu(s^f, s^e) = 0,5$ – нечітко індиферентними.

Якщо ступінь рівності складе величину $\geq 0,5$ більше чим у двох еталонних ситуацій, алгоритм обере ситуацію з найбільшим значенням рівності. Якщо поточна нечітка навігаційна ситуація дорівнює двом чи більше еталонним, для вибору найбільш підходящої вводиться ступінь переваги – коефіцієнт α [10, 149]. Тоді з урахуванням ступеня переваги вираз (4.14) має вид:

$$\mu(s^f, s^e) = \cap_{par \in Par} (\mu_{sf} \leftrightarrow \alpha \mu_{se}). \quad (4.16)$$

Тоді вираз (4.15) має вигляд:

$$\mu(s^f, s^e) = \min(\max(1 - \mu_{sf}, \alpha \mu_{se}), \max(1 - \alpha \mu_{se}, \mu_{sf})). \quad (4.17)$$

Є однозначний зв'язок навігаційної ситуації, управлінських впливів судноводія й еталонних ситуацій. Останні складаються з підмножин штатних і критичних ситуацій, параметри яких визначають відповідні групи. Еталонні ситуації відповідають режиму роботи ходового містка. Кожній групі верхнього рівня ієрархії ситуацій відповідає множина управлінських впливів.

Опис еталонних ситуацій, вузлів та переходів у мережі, спосіб адаптації базується на запропонованій моделі "судноводій-судно-навігаційна обстановка".

Після отримання від ДІ параметрів поточної навігаційної ситуації мережа будується циклічно – вибирається поточний вузол, що відноситься до поточного моменту часу, проводиться ідентифікація відповідного йому стану щодо груп еталонних ситуацій. При ідентифікації поточної навігаційної ситуації й еталонної формуються множини допустимих керуючих впливів судноводія та правил адаптації НСМ стосовно кожної із ситуацій.

Метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху судна на основі нечіткої ситуаційної мережі показано на рис. 4.5.

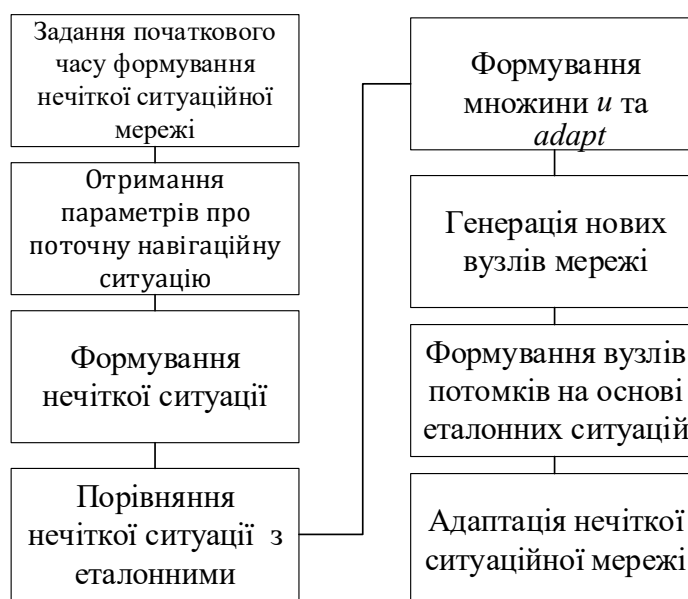


Рисунок 4.5 – Метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху судна на основі нечіткої ситуаційної мережі

(Джерело: розроблено автором)

Для кожного переходу між еталонними ситуаціями, представленими у нечіткій ситуаційній мережі, формуються можливі результати всіх допустимих управлінських впливів та правил адаптації.

Далі для наступного моменту часу через кожен породжений варіант, відповідно до результатів застосування управлінських впливів, генерується новий вузол мережі. У результаті дуга переходу розбивається на два відрізки – керований (груповий) перехід та некерований (частковий) перехід. Фрагмент

нечіткої ситуаційної мережі поданий на рис. 4.6.

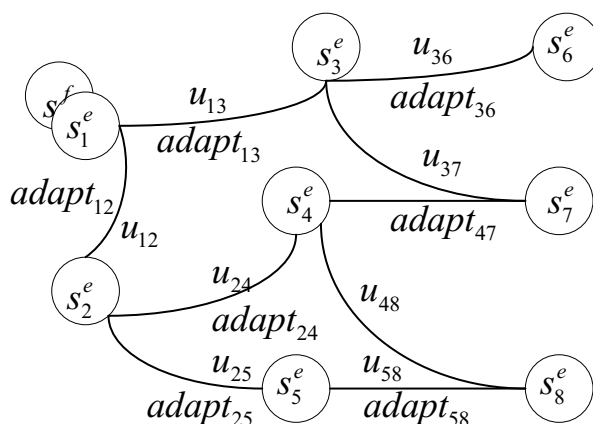


Рисунок 4.6 – Фрагмент нечіткої ситуаційної мережі

(Джерело: розроблено автором)

Зміна рівня безпеки руху судна або множини управлінських впливів викликають додавання або зміну нових дуг у графі і призводять до перерахунку шляхів у мережі. Фізично це означає модифікацію графа НСМ і викликає зміну множини еталонних ситуацій, а фактично у новому графі необхідно шукати нові оптимальні шляхи між усіма нечіткими навігаційними ситуаціями та занесення відповідних значень до множини s^e .

4.3.6 Управлінські впливи в нечіткій ситуаційній мережі

У даній моделі застосовується схема «ситуація-план-рішення-дія», реалізація якої передбачає завдання деякого набору еталонних ситуацій, які найповніше описують множину можливих навігаційних ситуацій, що виникають під час руху судна.

Одним із завдань інтегрованої системи ходового містка є моніторинг за зміною контрольованих параметрів навігаційної обстановки. Для вироблення управлінських впливів ідентифікується поточна ситуація, в якій перебуває судно.

Після ідентифікації та врахування невизначеності вхідної інформації

видається поточна ситуація у вигляді нечіткої змінної. Оцінюючи нечітку ситуацію та план плавання, система підтримки прийняття рішення видає рекомендації щодо стратегії управління, що веде до безпечного руху судна. Нечітка цільова ситуація, до якої має вийти судно після застосування деякого рішення, описує управлінський вплив.

Потрібно визначити управлінський вплив, застосування якого за заданої нечіткої навігаційної ситуації призводить до цільової ситуації. Цільова ситуація, до якої необхідно привести судно, завжди відома. Вона є ситуацією, в якій всі якісні ознаки знаходяться у межах допустимих значень. Але оскільки всі ознаки змінити часто відразу не вдається, то до цільової ситуації необхідно прийти через ряд проміжних. У цьому полягає завдання вибору стратегії управління, тобто плану переходів від ситуації до ситуації та відшукуванні необхідних для цього рішень.

Для забезпечення безпеки руху судна показники безпеки мають бути в допустимих межах. Тому при виборі стратегії управління рух від ситуації до ситуації вибиратиметься для зміни показників, які загрожують вийти за межі допуску. Тому штатні ситуації вибираються як набір можливих ситуацій за зміни кожної ознаки. При виборі стратегії визначальним буде пріоритетність зміни конкретного параметру безпеки.

При визначенні пріоритету для поточної навігаційної ситуації можна скористатися просто перемноженням ступенів відповідності нечітких змінних, що описують кожну ознаку, на відповідний пріоритет. Можна в кожній ознаці вибрати найбільші пріоритети для порівняння між пріоритетами ознак.

Упорядкуванням правил управлінського впливу для оперативного регулювання з урахуванням описаних вище даних будуються нечіткі правила.

Нечіткі правила формуються у нечітких поняттях: «багато», «мало» тощо, тобто в якісних термінах. Нечіткі правила зазвичай мають семантику «умова-дія» і тому є окремим випадком продукційних правил, які можуть і не використовувати нечітких понять. На основі нечітких правил можуть робитися нечіткі логічні виведення. Використання нечіткої логіки та нечітких понять

дозволяє у низці завдань спростити процес представлення знань. У залежності від режиму роботи ходового містка правила можуть спиратися на оперативні дані про параметри руху судна та навігаційної обстановки та на їх швидкість зміни .

4.4 Оцінка оперативності планування та реалізації пошукової операції надводних та підводних об'єктів

4.4.1 Оцінка своєчасності прийняття рішення при плануванні пошукової операції надводних та підводних об'єктів

Кожному типу рішення відповідає інтервал часу t_{so} від моменту отримання завдання на пошук надводного та підводного об'єкту до моменту часу, коли відповідне рішення повинне поступити на реалізацію ГРК. Своєчасність вироблення та передачі рішення визначається умовою [27]:

$$t_{rm} + t_{ma} + t_{plo} + t_{dm} \leq t_{so}, \quad (4.14)$$

де t_{rm} – час на з'ясування завдання пошуку надводними та підводними об'єктами;

$t_{об}$ – час на оцінку навігаційної обстановки;

$t_{пл}$ – час на планування маршруту пошуку в районі інтересу;

$t_{пр}$ – час на прийняття рішення.

Випадковість величин $t_{зз}$, $t_{об}$, $t_{пл}$ та $t_{пр}$ показує, що своєчасність прийняття рішень залежить від імовірності P того, що умову (4.14) виконано:

$$P_{op} = P(t_{rm} + t_{ma} + t_{plo} + t_{dm} \leq t_{so}). \quad (4.15)$$

Процес планування пошукової операції характеризується часом, що є у наявності ($t_{наяв}$), і потрібним часом на прийняття рішення зі встановленим

рівнем обґрунтованості ($t_{номр}$).

Час, що є у розпорядженні, обмежений визначеним у завданні на пошук та часом проведення пошукової операції. Потрібний час визначається тривалістю циклу планування та значно залежить від методів планування й прийнятої технології підготовки рішення.

Своєчасність планування пошукової операції може бути оцінена коефіцієнтом $K_{св}$ своєчасного вироблення та прийняття рішення впродовж часу $t_{наяв}$ [38]:

$$K_{св}(t_{наяв}) = 1 - e^{-\frac{t_{наяв}}{t_{номр}}}. \quad (4.16)$$

Таким чином, ймовірність своєчасного вироблення та прийняття рішення визначається середнім значення потрібного часу, який, у свою чергу, складається з часу автоматизованого рішення завдань $t_{авт}$ і часу неавтоматизованого рішення завдань t_{unacs} :

$$t_{номр} = t_{авт} + t_{unacs}. \quad (4.17)$$

При використанні існуючих засобів $t_{авт}$ складається з часу збору, обробки та відображення інформації, що поступила, $t_{зб}$; часу рішення інформаційних і розрахункових задач t_p ; часу комплексування (узагальнення) інформації про результати рішення вказаних задач $t_{уз}$; часу постановки завдань $t_{нз}$:

$$t_{авт} = t_{зб} + t_p + t_{уз} + t_{нз}. \quad (4.18)$$

При автоматизованому способі планування пошукової операції значення часу практично не залежить від розмірів зони інтересу [129].

При неавтоматизованому плануванні збільшення кількості зони інтересу до лінійного росту $t_{номр}$. Час роботи t_{unacs} визначається складністю

навігаційної обстановки і включає час на оцінку $t_{об}$ і час планування та прийняття рішення $t_{пр}$ [50, 93]:

$$t_{unacs} = t_{об} + t_{пл} + t_{пр}. \quad (4.19)$$

Графіки залежності ймовірності своєчасності планування від часу, що є у наявності, для систем з неавтоматизованим централізованим (1), із частковою автоматизацією управління (2), і запропонованого методів (3) наведені на рис. 4.7.

Розроблений метод ефективніший у своєчасності вироблення рішень у $1,5 \div 2,4$ рази у порівнянні з неавтоматизованим централізованим, і в $1,15 \div 1,55$ рази у порівнянні з частковою автоматизацією управління.

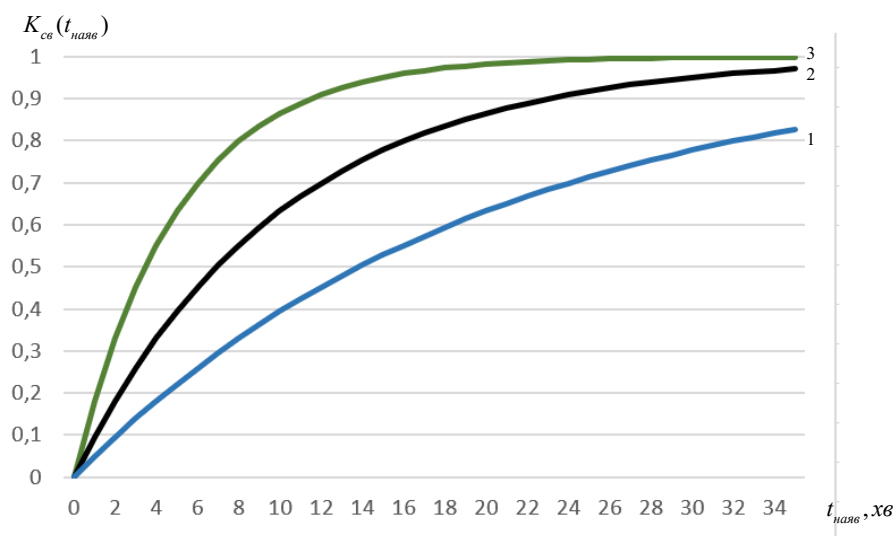


Рисунок 4.7 – Залежність ймовірності своєчасного прийняття рішення
(Джерело: розроблено автором)

4.4.2 Оцінка обґрунтованості прийняття рішення у процесі управління гібридним роботизованим комплексом

Якість планування пошкової операції гібридним роботизованим комплексом визначається, насамперед, ступенем досягнення її мети. Використання запропонованих та існуючих методів при оцінці навігаційної обстановки та виробленні відповідного рішення з можливістю порівняти кількість чинників, що впливають на оцінку і рішення, міру їх впливу, способи врахування чинників, дозволяє оцінити обґрунтованість прийнятого рішення.

У загальному випадку, кількість значущих чинників і ступінь їх розгляду (повнота) у процесі вироблення рішення щодо пошкової операції й визначають поняття обґрунтованості.

Нехай є Q_{\max} факторів, які враховуються при плануванні маршруту пошкової операції. Нехай також кожен i -ий фактор має чітку оцінку (ступень впливу на якість рішення) a_i , виражену у кількісній формі та проранжовану за значимістю. Згідно принципу нормування:

$$\sum_{i=1}^{Q_{\max}} a_i = 1. \quad (4.20)$$

Серед Q_{\max} факторів виділяється група факторів Q_{main} , які необхідно використовувати при плануванні маршруту руху ГРК незалежно від застосовуваного методу. Решту факторів назовемо другорядними (додатковими), вплив яких на якість прийнятого рішення є не таким помітним, не вирішальним. Але додаткові фактори, особливо в умовах невизначеності, можуть достатньо серйозно підвищувати обґрунтованість прийнятого рішення. Будь-який основний або додатковий i -ий фактор описується сукупністю параметрів z_i^k і враховується повно або частково k -им методом за

допомогою коефіцієнта γ_i^k повноти врахування фактору:

$$\gamma_i^k = \frac{z_i^k}{z_i} \quad (4.21)$$

Необхідні чинники з групи Q_{main} враховуються будь-яким способом однаково, тому для даних факторів $\gamma_i^k = 1$.

Нехай планується врахувати необхідні (*main*) і додаткові (*add*) фактори. Причому для якоїсь i -ої групи задана у кількісній формі відповідна оцінка значимості a_i^{main} і a_i^{add} . Нехай також застосовується k -ий метод. Це дозволяє представити коефіцієнт обґрунтованості виразом:

$$K_{об}^k = \sum_{i=1}^{Q_{main}} a_i^{main} + \sum_{i=1}^{Q_{add}} a_i^{add} \cdot \gamma_i^k. \quad (4.22)$$

Усі вихідні (початкові) дані характеризуються у загальному випадку суперечливістю, неповнотою, розмитістю, надлишковістю тощо. Питання подолання цих проблем у даній роботі не розглядаються, а вважається, що сучасні методи обробки інформації дозволяють вважати вихідні дані несуперечливими. Урахування чинників, що впливають на процес прийняття рішення, визначається методом використання.

Значущість використовуваних при плануванні маршруту пошуку ГРК факторів можна оцінити кількісно за результатами проведеного експертного опитування (табл. 4.3). У таблиці також наведені використані скорочення: К – непряме узагальнення (врахування іншими чинниками фактору, явно не присутнього в моделі); Ф – функціональне узагальнення (заміна окремого процесу відомим результатом); П – пряме узагальнення; Б – безпосереднє узагальнення (значення фактору в явному вигляді присутнє у формулі).

Таблиця 4.3 – Кількісна оцінка значущості факторів

(Джерело: розроблено автором)

№	Назва фактору	Вага фактору	Спосіб врахування		
			часткова автоматизація управління	запропоновані методи	неавтоматизоване централізоване управління
1	Напрямок течії	0,03	Б	Б	Б
2	Видимість	0,02	Ф	Б	Б
3	Рельєф дна	0,03	К	Б	Ф
4	Сила вітру	0,02	Ф	Б	Ф
5	Час доби	0,03	Ф	Б	Ф
6	Останні відомі координати	0,05	Ф	Б	Ф
7	Сила течії	0,01	Ф	П	К
8	Напрямок вітру	0,02	Ф	П	К
· · ·					
18	Тип об'єкту	0,06	К	П	К
19	Характерні ознаки об'єкту пошуку	0,01	Ф	Ф	К
20	Поле орієнтирів	0,06	К	Б	К
21	Активність судноплавства	0,02	К	Ф	К
22	Ступінь рухомості об'єкту пошуку	0,05	Ф	Ф	К
23	Часові обмеження	0,09	Ф	К	Ф
24	Просторові обмеження	0,05	К	Б	Ф
25	Рівень безпеки виконання пошуку	0,09	К	Б	Ф
26	Ймовірнісні характеристики районів пошуку	0,02	К	П	Ф
27	Можливості ГРК щодо пошукових дій	0,05	Ф	Ф	П

28	Віддаленність зони інтересу	0,05	К	Н	Ф
29	Різномірність вихідних даних	0,01	К	П	Н
30	Якісні оцінки осіб, що приймають рішення	0,01	Ф	П	Ф
31	Варіант оснащення ГРК	0,01	К	П	Ф

На рис. 4.8 показані залежності K_{Π} від кількості чинників, що враховуються Q ($Q_{\min} = 0$, $Q_{\max} = 30$), для систем з неавтоматизованим централізованим (1), із частковою автоматизацією управління (2), і запропонованого методів (3).

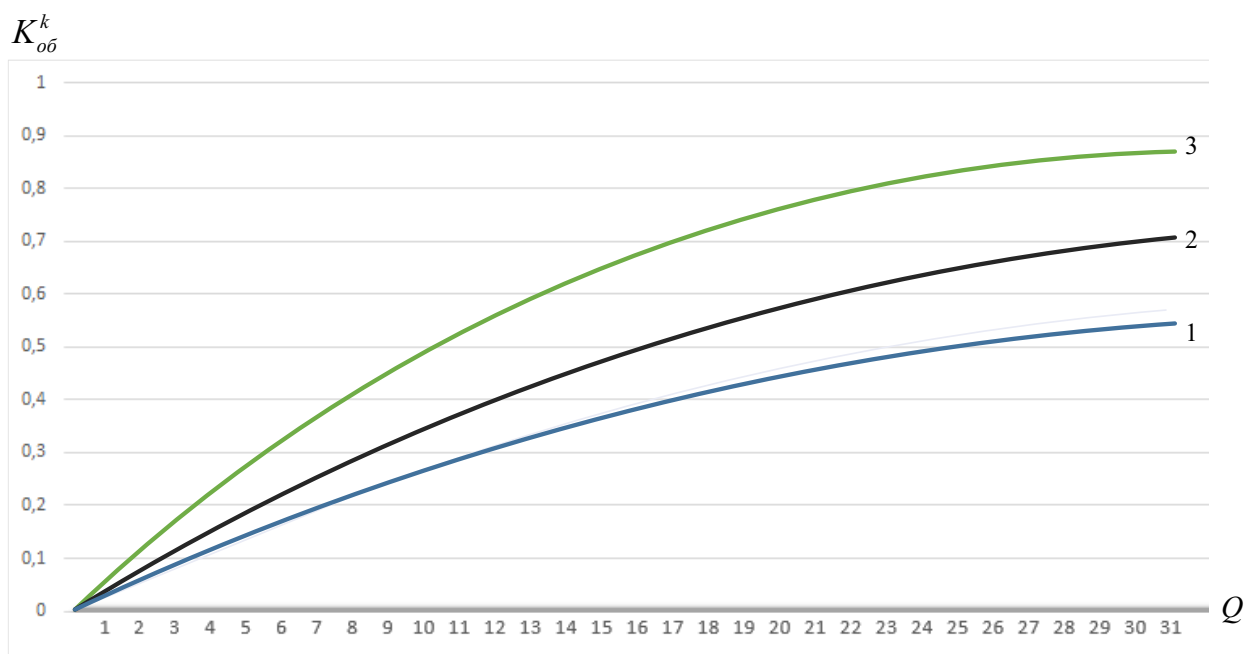


Рисунок 4.8 – Залежність Q від кількості чинників, що враховуються

Джерело: розроблено автором

Запропоновані методи дозволяють збільшити коефіцієнт повноти врахування чинників на 14÷32% порівняно з відомими.

Висновки до розділу 4

1. Удосконалено метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху гібридного роботизованого комплексу, який, на відміну від відомих, базується на адаптивній нечіткій ситуаційній мережі, яка враховує параметри навігаційної ситуації, прогноз її розвитку та рівень комплексної безпеки руху судна в єдиній концепції e-Navigation, що дозволяє підвищити безпеку судноплавства.

2. Запропоновано нечітку ситуаційну мережу, що характеризується такими особливостями:

- можливістю гнучкої зміни компонентів мережі (нечітких ситуацій, параметрів, управлінських впливів, переходів) у процесі їх побудови та використання;

- урахуванням впливу керуючих рішень на нечіткі ситуаційні ознаки, що дозволяє описати й оцінити взаємний вплив цих ознак один на одного та полегшити адаптивні зміни мереж при моделюванні поведінки агентів;

- визначенням та вибором управлінських впливів та їх послідовностей відповідно до різних критеріїв та обмежень.

3. Якісна оцінка та прогнозування розвитку навігаційної обстановки, неможливі через обмеженість нечітких продукційних моделей, спонукали до удосконалення нечіткої ситуаційної мережі об'єктно-орієнтованими методами при описі системи "оператор-ГРК-навігаційна обстановка" та поділу вузлів мережі на еталонні ситуації.

4. Запропонована модель формалізації системи "оператор-ГРК-навігаційна обстановка" дозволяє уніфікувати підходи до управління комплексною безпекою пошукової операції та розпочати розробку відповідних обчислювальних процедур та модулів, які можуть бути надалі використані при побудові систем підтримки прийняття рішень.

5. Збільшення кількості чинників, урахованих й оброблених за

допомогою запропонованих методів у порівнянні з відомими, дозволяють за наявний час збільшити коефіцієнт повноти врахування чинників на $14\div 32\%$. Коректний опис предметної області великою кількістю значущих чинників водночас дозволив підвищити обґрунтованість отриманих рішень.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [139, 140]

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання розробки моделей та методів управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів. При цьому отримано такі наукові та практичні результати.

1. Результати проведеного аналізу сучасного стану і тенденцій розвитку підводної робототехніки свідчать про перспективи групового застосування автономних ненаселених підводних апаратів, безекіажних суден та безпілотних літальних апаратів в якості гібридного роботизованого комплексу як шлях до підвищення продуктивності пошукових місій.

2. Сформульовано типові завдання автоматичного керування гібридним роботизованим комплексом у режимах планування та реалізації групового пошуку:

- розробка процесу планування пошукової операції із залученням гібридного роботизованого комплексу;

- удосконалення процесів формалізації процесу комплексування інформації у процесі моніторингу навігаційної обстановки в системі е-Навігації;

- удосконалення процесів оцінки і прогнозування навігаційної ситуації під час руху гібридним роботизованим комплексом.

3. *Вперше розроблено* метод управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом, який відрізняється формалізацією процесів планування маршруту його руху сплайн-траєкторіями із синхронним поданням інформації, прогнозуванням навігаційної обстановки та вибором стратегії запобігання небезпечних ситуації за рахунок поєднання інтелектуальних та численних методів, що дозволило підвищити ефективність пошуку надводних та підводних об'єктів.

4. *Одержала подальший розвиток* модель комплексування інформації

про місцезнаходження та параметри руху об'єктів від різномірних джерел інформації, яка, на відміну від відомих, базується на обробці числових рядів значень параметрів спостереження, що надходять від джерел різної фізичної природи, для створення інформаційного простору в системі е-Навігації, що дозволяє підвищити оперативність та обґрунтованість управління рухом гібридного роботизованого комплексу у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів.

5. *Удосконалено* метод формалізації активності об'єкта моніторингу з використанням нечітких часових рядів у системі моніторингу надводної та підводної обстановки, в якому, на відміну від відомих, тенденції активності об'єкта спостереження за певний інтервал часу визначаються шляхом комплексної обробки інтервальної якісної оцінки значень числового ряду параметрів, що надходять від різномірних джерел інформації, що дозволяють усунути похибки та невизначеність, наявні у процесі моніторингу, й описати різні стани активності, за характеристиками яких виконується класифікація об'єкта моніторингу.

6. *Удосконалено* метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху гібридного роботизованого комплексу, який, на відміну від відомих, базується на адаптивній нечіткій ситуаційній мережі, яка враховує параметри навігаційної ситуації, прогноз її розвитку та рівень комплексної безпеки руху судна в єдиній концепції e-Navigation, що дозволяє підвищити безпеку судноплавства.

7. Реалізація запропонованого в дисертаційній роботі підходу щодо управління рухом гібридного роботизованого комплексу дозволяє:

- планувати маршрут руху гібридного роботизованого комплексу в процесі підготовки до проведення пошукової операції;
- проводити оцінку безпеки проведення пошукової операції в районі інтенсивного судноплавства;
- виконувати комплексування даних від різномірних джерел інформації, отриманих в системі e-Navigation.

Запропоновані теоретичні методи мають високий ступінь готовності до використання і доведені до їх практичної реалізації. Застосування розроблених методів дозволяє підвищити своєчасність вироблення рішень порівняно з неавтоматизованим способом – в $1,5 \div 2,4$ рази, порівняно з частковою автоматизацією управління, – в $1,15 \div 1,55$ рази. Збільшення кількості чинників, урахованих й оброблених за допомогою запропонованих методів у порівнянні з відомими, дозволяють за наявний час збільшити коефіцієнт повноти врахування чинників на $14 \div 32\%$. Коректний опис предметної області великою кількістю значущих чинників водночас дозволив підвищити обґрунтованість отриманих рішень.

8. *Значення вирішеного у дисертації завдання для науки* полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ побудови та застосування систем управління гібридними роботизованими комплексами в процесі виконання пошукової операції.

Практичне значення отриманих результатів полягає у подальшому удосконаленні елементів спеціального математичного та програмного забезпечення систем автоматизованого управління гібридними роботизованими комплексами на базі розроблених моделей і методів, що дозволяють підвищити оперативність та обґрунтованість прийняття рішень у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів.

9. *Методи дослідження* базуються на методах системного аналізу, класичної теорії автоматичного управління, нечіткої логіки, наукової класифікації, комп'ютерного моделювання і математичного апарату теорії матриць.

10. *Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій* підтверджується грамотною постановкою наукового завдання дослідження, правильним використанням методів системного аналізу, класичної теорії автоматичного управління, нечіткої логіки, наукової класифікації, комп'ютерного моделювання і математичного апарату теорії матриць на етапах моделювання й аналізу результатів досліджень, збігом отриманих результатів з відомими експериментальними даними у даній області наукових

знань, відкритим обговоренням результатів на наукових семінарах і конференціях і їх публікацією у рекомендованих наукових виданнях.

11. *Наукові та прикладні результати досліджень*, отримані в дисертації, доцільно використовувати при розробці технологій управління гібридними роботизованими комплексами й елементів спеціального математичного та програмного забезпечення автоматизованих систем управління гібридними роботизованими комплексами у процесі пошуку надводних та підводних об'єктів; у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків удосконалення технологій автоматизованого управління гібридними роботизованими комплексами; у вищих навчальних закладах – для вдосконалення системи підготовки фахівців зі спеціальності морський та внутрішній водний транспорт.

Результати дисертаційного дослідження будуть корисними при удосконаленні існуючого та розробці перспективного спеціального математичного та програмного забезпечення автоматизованих систем управління гібридними роботизованими комплексами.

12. Теоретичні результати дисертаційних досліджень використовуються в навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій факультету судноводіння на кафедрі навігації і управління суднами при викладанні дисциплін «Забезпечення навігаційної безпеки плавання», «Навігаційні інформаційні системи» та «Радіонавігаційні прилади та системи» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт

Таким чином, можна стверджувати про завершеність дисертаційної роботи і досягнення мети дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aleksandrovich Y. D., Stepanovich K. A., Zalmanovich M. V. Mobile Robot Navigation Based on Artificial Landmarks with Machine Vision System. *World Applied Sciences Journal*. 2013. Vol. 24 (11). P. 1467–1472.
2. Aloba Leo Tosin. (2019). Synthesis of intelligent automatic control system of an autonomous underwater vehicle as a group agent.// [Tekst]/L. T. Aloba “Shipbuilding and Marine Infrastructure” – Миколаїв : NUK. №1 (11). pp. 74-84. [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).9](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).9)
3. Anish Pandeya, Saroj Kumarb,, Krishna Kant Pandeya, Dayal R. Parhia. (2016). Mobile robot navigation in unknown static environments using ANFIS controller. *Perspectives in Science Volume 8*, Pp. 421-423. <https://core.ac.uk/download/pdf/81931273.pdf>.
4. Antonelli G. (2014). *Underwater Robots*. Springer Tracts in Advanced Robotics, 279 p. doi: 10.1007/978-3-319-02877-4
5. Antonelli, G., Fossen, T.I., and Yoerger, D.R. (2016). Modeling and Control of Underwater Robots. *Springer Handbook of Robotics*, pp.1285–1306.
6. Blintsov V., Aloba L. (2019). Control Automation of Maritime Unmanned Complex with a Group of Autonomous Underwater Vehicles. *Eureka: Physics and Engineering. Issue 2. Pages 30–42. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00940*.
7. Blintsov V.S., Aloba L.T. (2019). Control automation of maritime unmanned complex with a group of autonomous underwater vehicles. *Інновації в суднобудування та океанотехніці : Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції, в 2 ч. – Ч. 2. – Миколаїв : НУК. С. 66-71*.
8. Blintsov, O. (2017). Devising a method for maintaining manageability at multidimensional automated control of tethered underwater vehicle [Text] / O. Blintsov. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – – Vol. 1, Issue 9. – P. 4–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.93291

9. Blintsov, O. V., Burunina Zh. Yu. Voitasyk A. M. Improvement of the inverse dynamics method for high-precision control of nonlinear objects under conditions of uncertainty. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/2 (98), 2019. P. 55-62. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.160345.
10. Blintsov, V. & Hrudinina, H. (2019). Mathematical modeling of autonomous underwater vehicle propulsion and steering complex operation in oblique (beveled) water flow. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/9 (100), 10-28.
11. Boundary Condition Modeling. Outlet (Subsonic). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v195/cfx_mod/CHDIGAAJ.html
12. Braunstingl R., Sanz P., Ezkerra J. M. Fuzzy Logic Wall Following of a Mobile Robot Based on the Concept of General Perception. *Proceedings of the Seventh International Conference on Advanced Robotics. SEPT*, 1995. P. 367–376.
13. Brooks Louis-Kiguchi Reed. (2015) *Controller Design for Underwater Vehicle Systems with Communication Constraints [Text]* / Brooks Reed. – Massachusetts Institute of Technology. – 301 p.
14. Burunina Zh.Yu., Aloba L.T., Grudinina G.S. (2018). Mathematical modeling of the automatic control system for an autonomous underwater vehicle as a group agent. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*. № 1(9) – P. 29-35. DOI 10.15589/SMI.2018.01.04.
15. Cadena C., Carlone L., Carrillo H. et al. Past, present, and future of simultaneous localization and mapping: Toward the robust-perception age. *IEEE Transactions on Robotics*. 2016. Vol. 32, № 6. P. 1309–1332. DOI: 10.1109/TRO.2016.2624754.
16. Cesetti A., Frontoni E., Mancini A. et al. A Vision-based guidance system for UAV navigation and safe landing using natural landmarks. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*. 2010. Vol. 57, № 1–4. P. 233–257. DOI: 10.1007/s10846-009-9373-3.

17. Charalampos P. Bechlioulis, Fotis Giagkas, George C. Karras and Kostas J. Kyriakopoulos (2019). Robust Formation Control for Multiple Underwater Vehicles. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00090>
18. Chatzichristofis S., A. Kapoutsis A., Kosmatopoulos E. B., Doitsidis L., Rovas D., Joao Borges de Sousa. (2017) The NOPTILUS project: Autonomous Multi-AUV Navigation for Exploration of Unknown Environments. IFAC (International Federation of Automatic Control). <http://www.openarchivescy.com/Record/hephaestus-1172810204/Description#tabnav>
19. Chen W., Zhang T. An indoor mobile robot navigation technique using odometry and electronic compass. International Journal of Advanced Robotic Systems. 2017. Vol. 14, № 3. P. 1–15. DOI: 10.1177/1729881417711643.
20. Chen X., Sun H., Zhang H. A New Method of Simultaneous Localization and Mapping for Mobile Robots Using Acoustic Landmarks. Applied Sciences. 2019. Vol. 9, № 7. P. 1–24. DOI: 10.3390/app9071352.
21. Claus Beisbart, Nicole J. Saam. (2019). Computer Simulation Validation. Fundamental Concepts, Methodological Frameworks, and Philosophical Perspectives. Springer Verlag. 1074 pages. <https://www.springer.com/gp/book/9783319707655>
22. Collective Cognitive Robots (CoCoRo) Retrieved from https://www.up2europe.eu/european/projects/collective-cognitive-robots_9980.html
23. Crowley J. L. Mathematical foundations of navigation and perception for an autonomous mobile robot. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Springer Verlag, 1996. P. 9–51. DOI: 10.1007/BFb0013953.
24. D. Ribas, N. Palomeras, P. Ridao, M. Carreras and A. Mallios, "Girona 500 AUV: From Survey to Intervention," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 17, no. 1, pp. 46-53, Feb. 2012, doi: 10.1109/TMECH.2011.2174065

25. Dudykevych, V., & Blintsov, O. (2016). Tasks statement for modern automatic control theory of underwater complexes with flexible tethers. *Eureka: Physics and Engineering*, 5, 25-36. doi: 10.21303/2461-4262.2016.00158
26. Dunwen Wei, Feiran Wang and Hongjiao Ma. (2019). Autonomous Path Planning of AUV in Large-Scale Complex Marine Environment Based on Swarm Hyper-Heuristic Algorithm. *Appl. Sci.* 9(13), pp. 22. DOI: 10.3390/app9132654
27. Eski, İkbāl and Yildirim, Şahin. (2016). Control of Autonomous Underwater Vehicles using Neural Network Based Robust Control System. *International Journal of Mechanical Engineering*. Retrieved from: <https://www.ias.org/ias/home/caijme/-control-of-autonomous-underwater-vehicles-using-neural-network-based-robust-control-system>
28. European Project MORPH: next generation of underwater robotics for ocean exploration tested in the Azores [Electronic resource].— Retrieved from: <http://vicorob.udg.edu/fp7-european-project-morph-next-generation-of-underwater-robotics-for-ocean-exploration-tested-in-the-azores/>
29. Fedorenko Roman, Gurenko B.V. (2016) Autonomous Underwater Vehicle Mathematical Model and Simulator. Publication: ICCMA '16: Proceedings of the 4th International Conference on Control, Mechatronics and Automation. Pages 56–60. DOI: 10.1145/3029610.3029639
30. Gage, J. D. and Tyler, P. A. 1991. *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor*. Cambridge: Cambridge University Press. Available: 10.1017/CBO9781139163637.
31. Guerrero, J., Torres, J., Creuze, V., Chemori, A. Trajectory tracking for autonomous underwater vehicle: An adaptive approach. *Ocean Engineering*, 172, 2019. P. 511–522. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.12.027.
32. Hajer Omrane, Mohamed Slim Masmoudi, and Mohamed Masmoudi. (2016). Fuzzy Logic Based Control for Autonomous Mobile Robot Navigation. *Comput Intell Neurosci.* Pp. 1-10. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5027372/>

33. Hassanein Sreenatha, Osama, Anavatti Hyungbo, G. & Tapabrata, Shim Ray. (2016). Model-based adaptive control system for autonomous underwater vehicles *Ocean Engineering*. 127, 58-69. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.09.034>
34. Heiko Hamann. (2018). *Swarm Robotics: A Formal Approach*. Springer. 221 pages. <https://www.amazon.com/Swarm-Robotics-Approach-Heiko-Hamann/dp/3319745263>
35. Hoy M., Matveev A. S., Savkin A. V. Algorithms for collision-free navigation of mobile robots in complex cluttered environments: A survey. *Robotica*. 2015. Vol. 33, № 3. P. 463–497. DOI: 10.1017/S0263574714000289.
36. Hrudinina, H. S. (2018). Mathematical modeling of an autonomous uninhabited underwater vehicle dynamics with propeller in the rotary nozzle. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*, 2(10), 144-153. DOI 10.15589/SMI. <http://smi.nuos.mk.ua/-archive/2018/2/16.pdf>
37. Huang H., Savkin A. V., Ding M. et al. Mobile robots in wireless sensor networks: A survey on tasks. *Computer Networks*. 2019. Vol. 148. P. 1–19. DOI:10.1016/j.comnet.2018.10.018.
38. Huang Hai, Zhang Guocheng, Qing Hongde, Zhou Zexing. (2017). Autonomous underwater vehicle precise motion control for target following with model uncertainty. *International Journal of Advanced Robotic Systems* pp. 1-11. DOI: 10.1177/1729881417719808.
39. Hydromea Project. Available at: <https://www.hydromea.com/vertex-autonomous-underwater-swarm/>
40. Ivaniuk O. Navigation of Autonomous Systems based on Situation Control with Dynamic Replanning. *Information Processing Systems*. 2020. № 3 (162). P. 44–51. DOI: 10.30748/soi.2020.162.05.
41. Jebelli, A, Yagoub, MCE, & Dhillon, B. S. (2017). Modeling of an Autonomous Underwater Robot with Rotating Thrusters. *Advances in Robotics & Automation*, 6. doi: 10.4172/2168-9695.1000162

42. Jianjun Ni, Simon X. Yang (2017). A Dynamic Bioinspired Neural Network Based Real-Time Path Planning Method for Autonomous Underwater Vehicles. *Computational Intelligence and Neuroscience* 2017(1):1-16 doi: 10.1155/2017/9269742
43. Jesus Arturo Monroy-Anieva, Cyril Rouviere, Eduardo Campos-Mercado, Tomas Salgado-Jimenez, Luis Govinda Garcia-Valdovinos (2018). Modeling and Control of a Micro AUV: Objects Follower Approach. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6111779/73>.
44. Jia Y., Yan X., Xu Y. A Survey of simultaneous localization and mapping for robot. *Proceedings of 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEAC 2019*. IEEE, 01 December 2019. P. 857–861. DOI: 10.1109/IAEAC47372.2019.8997820.
45. Baldauf M. Potentials of e–Navigation – enhanced support for collision avoidance/ K. Benedict & C. Krüge // *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. – 2014. – Vol.8 № 4 – P.613-617.
46. Jiang Dapeng, He Bin. Realistic (2014). Cooperative Control Mechanism of Multiple AUVs. *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference*. pp.-1395-1400
47. Jie Huang, Michel Barbeau, Stephane Blouin, Craig Anthony Hamm. (2017) Simulation and Modeling of Hydro Acoustic Communication Channels with Wide Band Attenuation and Ambient Noise. *International Journal of Parallel Emergent and Distributed Systems* 32(5). DOI: 10.1080/17445760.2016.1169420
48. Kang, S., Chou, W. and Yu, J. 2022. Estimation system of disturbance force and torque for underwater robot based on artificial lateral line. [web document]. [Referred 03.1.2023]. pp.1-8. Available: <https://doi.org/10.3390/app12063060>.
49. Kang, S., Chou, W. and Yu, J. 2022. Estimation system of disturbance force and torque for underwater robot based on artificial lateral line. [web

document]. [Referred 03.1.2023]. pp.1-8. Available:
<https://doi.org/10.3390/app12063060>.

50. Kargin A., Ivaniuk O., Cherneva G. Autonomous Robot Path Planning Methods Analysis. *Mechanics. Transport. Communications*. 2020. № 2020/2. P. 28–35.

51. Kargin A., Ivaniuk O., Panchenko A., Muhitovs R. Motion Control of Smart Autonomous Mobile System Based on the Perception Model. *ICTE in Transportation and Logistics 2019. ICTE ToL 2019. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure* / edited by Ginters E., Ruiz Estrada M., Piera Eroles M. Springer, Cham, 2019. P. 145-153. DOI: 10.1007/978-3-030-39688-6_20.

52. Kargin A., Petrenko T. Spatio-temporal data interpretation based on perceptual model: Advances in Spatio-Temporal Segmentation of Visual Data. *Studies in Computational Intelligence*. Edited by Mashtalir V., Ruban I., Levashenko V. Springer, Cham, 2020. P. 101–159. DOI: 10.1007/978-3-030-35480-0_3.

53. Korol, Yuriy. (2021) Computational Fluid Dynamics Methods for Designing the Propeller-Steering Complex of Submarine. *Modern Environmental Science and Engineering* (ISSN 2333-2581), 7(3), 223-231 Doi: 10.15341/mese(2333-2581)/03.07.2021

54. Kot T., Novák P. Application of virtual reality in teleoperation of the military mobile robotic system TAROS. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 2018. Vol. 15, № 1. P. 1–6. DOI: 10.1177/1729881417751545.

55. Leo T. Aloba (2019). Classification and features of search autonomous underwater vehicles control. /Л.Т. Алоба. Збірник наукових праць НУК. №1(475). Pp.89-97. DOI: [https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).12](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).12)

56. Li X., Zhao M., Ge T. A Nonlinear Observer for Remotely Operated Vehicles with Cable Effect in Ocean Currents. *Applied Sciences*, 8:6, 2018. P. 27. doi: 10.3390/app8060867.

57. Li, B. et al. 2019. Structure Design and Control Research of a novel underwater cable-driven manipulator for Autonomous Underwater Vehicles. [web

document]. [Referred 03.1.2023]. Available:
<https://doi.org/10.1177/1475090219851948>.

58. Li, Y., Guo, S. and Wang, Y. 2017. Design and characteristics evaluation of a novel spherical underwater robot. *Robotics and Autonomous Systems*. pp.61–74.

59. Liam Paull, S. Saeedi, H. Li. (2011). A Multi-Agent Framework for Autonomous Underwater Vehicles for Mine Countermeasures with MOOS-IvP. pp. 1-10.

60. Luo C., Krishnan M., Paulik M. et al. An effective trace-guided wavefront navigation and map-building approach for autonomous mobile robots. *Intelligent Robots and Computer Vision XXXI: Algorithms and Techniques*. SPIE, 03 February 2014. DOI: 10.1117/12.2040885.

61. Martovytskyi V., Ivaniuk O. Approach to Building a Global Mobile Agent Way Based on Q-learning. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. № 3 (13). P. 43–51. DOI: 10.30837/itssi.2020.13.043.

62. Masmitja, Ivan, Gonzalez, Julian, Galarza, Cesar, & del Rio, Joaquin. (2018). New Vectorial Propulsion System and Trajectory Control Designs for Improved AUV Mission Autonomy. *Sensors*, 18. doi:10.3390/s18041241

63. Mastufa Dinc (2018). Modeling and Simulation of Autonomous Underwater Dynamics. Chapter in Book “Mobile Robots” - Volume 1. Publisher: InTechOpen Ltd. Pp.1-20.
https://www.researchgate.net/publication/325828234_Modeling_Simulation_of_Autonomous_Underwater_Vehicle_Dynamics

64. Matveev A. S., Savkin A. V., Hoy M. et al. Safe Robot Navigation Among Moving and Steady Obstacles. *Safe Robot Navigation Among Moving and Steady Obstacles*. Elsevier Inc., 2015. 1–344 p. DOI: 10.1016/c2014-0-04846-0.

65. Mhadhevan Mandhu and M. Sreekumar. (2017). Implementation of role assignment and fault tree analysis for multi robot interaction. *International Journal of Robotics and Automation*. Vol. 32, No. p. 214-223. DOI: 10.2316/Jornal.206.2017.206-4448

66. Mulken T. J. M. van, Schols R. M., Scharmga A. M. J. et al. First-in-human robotic supermicrosurgery using a dedicated microsurgical robot for treating breast cancer-related lymphedema: a randomized pilot trial. *Nature Communications*. 2020. Vol. 11, № 1. P. 1–7. DOI: 10.1038/s41467-019-14188-w.
67. Mustafa Dinç. (2018) Modeling & Simulation of Autonomous Underwater Vehicle Dynamics. In book: *Mobile Robots - Volume 1*. Publisher: InTechOpen Ltd.
https://www.researchgate.net/publication/325828234_Modeling_Simulation_of_Autonomous_Underwater_Vehicle_Dynamics#read
68. Neira, J., Sequeiros, C., Huamani, R., Machaca, E., Fonseca, P. and Nina, W. 2021. Review on Unmanned Underwater Robotics, Structure Designs, Materials, Sensors, Actuators, and Navigation Control. *Journal of Robotics*, 2021. pp.1–26.
69. Nguyen T. N., Michaelis B., Al-Hamadi A. et al. Stereo-camera-based urban environment perception using occupancy grid and object tracking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2012. Vol. 13, № 1. P. 154–165. DOI: 10.1109/TITS.2011.2165705.
70. Nikola Štambuk, and Paško Konjevoda. (2017). Structural and Functional Modeling of Artificial Bioactive Proteins. *Information*. Volume 8 Issue 1. 29 pages. <https://doi.org/10.3390/info8010029>
71. Pandey A. Mobile Robot Navigation and Obstacle Avoidance Techniques: A Review. *International Robotics & Automation Journal*. 2017. Vol. 2, № 3. P. 96–105. DOI: 10.15406/iratj.2017.02.00023.
72. Payam Zahadat, Thomas Schmickl. (2016). Division of Labor in a Swarm of Autonomous Underwater Robots by Improved Partitioning Social Inhibition. *Adaptive Behavior. Research Article*. 24(2) 87-101. <https://doi.org/10.1177/1059712316633028>
73. Pepito J. A., Ito H., Betriana F. et al. Intelligent humanoid robots expressing artificial humanlike empathy in nursing situations. *Nursing Philosophy*. 2020. Vol. 21, № 4. DOI: 10.1111/nup.12318.

74. Pilat Z., Klimasara W., Pachuta M. et al. Some new robotization problems related to the introduction of collaborative robots into industrial practice. *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*. 2019. Vol. 13, № 4. P. 91–97. DOI: 10.14313/JAMRIS/4-2019/42.
75. Premebida C., Ambrus R., Marton Z.-C. *Intelligent Robotic Perception Systems: Applications of Mobile Robots*. IntechOpen, 2019. DOI: 10.5772/intechopen.79742.
76. Rui, Yang. (2016). Modeling and robust control approach for autonomous underwater vehicles. Ocean University of China ENSTA Bretagne, 256. Retrieved from: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01484819/file/These-2016-SICMASTIC_-automatique-YANG_Rui.pdf
77. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: a Modern Approach*. Prentice Hall, 2010. 1132 p.
78. Shi, X., Zhu, C. and Lu, P. 2022. Design and control of underwater robot system for sea cucumber fishing. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Vol. 19:1. Schmickl, T., Thenius, R., Moslinger, C., Timmis, J., Tyrrell, A., Read, M., Hilder, J., Halloy, J., Campo, A., Stefanini, C., Manfredi, L., Orofino, S., Kernbach, S., Dipper, T. And Sutanty, D. The Self-Aware Underwater Swarm. *Proceedings: Self-Adaptive and SelfOrganizing Systems Workshops (SASOW)*, 2011. Fifth IEEE Conference. pp.120,126.
79. Silver D., Huang A., Maddison C. J. et al. Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*. 2016. Vol. 529, № 7587. P. 484–489. DOI: 10.1038/nature16961.
80. Singh N. H., Thongam K. *Mobile Robot Navigation Using Fuzzy Logic in Static Environments*. *Procedia Computer Science*. Elsevier, 2018. P. 11–17. DOI: 10.1016/j.procs.2017.12.004.
81. Stefano Gaggero, Diego Villa, Giorgio Tani and Michele Viviani. (2017) Propeller nozzles design using viscous codes and optimization algorithms. *VII International Conference on Computational Methods in Marine Engineering Marine*, 243-255.

82. Sun B., Zhu D., Yang S. X. An Optimized Fuzzy Control Algorithm for Three-Dimensional AUV Path Planning. *International Journal of Fuzzy Systems*. 2018. Vol. 20, № 2. P. 597–610. DOI: 10.1007/s40815-017-0403-1.
83. Taha Elmokadem, Mohamed Zribi, Kamal Youcef-Toumi. (2017). Terminal sliding mode control for the trajectory tracking of underactuated Autonomous Underwater Vehicles. Volume 129. Pages 613-625. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.10.032>
84. Takumi Matsuda, Toshihiro Maki, Yoshiki Sato, Takashi Sakamaki, Tamaki Ura. (2017). Alternating landmark navigation of multiple AUVs for wide seafloor survey: Field experiment and performance verification. *Journal of Field Robotics*, Pages 359-395. <https://doi.org/10.1002/rob.21742>
85. Thomas Schmickl, Ronald Thenius, et.al. (2011). CoCoRo: The self-aware swarm of underwater robots. *Semantic scholar*. pp. 1-2. <https://pdfs.semanticscholar.org/8d6a/a89ad54995f0f46306909dd02337a99dbbd2.pdf>
86. Toshiyuki Yasuda and Kazuhiro Ohkura. (2011). *Multi-Robot Systems, Trends and Development*, Edited by Published by InTech.— 586 pages.
87. Volodymyr Blintsov, Leo Tosin Aloba. (2019). Control automation of maritime unmanned complex with a group of autonomous underwater vehicles. *EUREKA: Physics and Engineering*. Number 4. pp. 54-62. DOI: <http://110.21303/2461-4262.2019.00940>
88. Wang Guo, Song Wang, Wenqiang Dun. (2015). The Design of a Control System for an Unmanned Surface Vehicle. *The Open Automation and Control Systems Journal* , Volume 7. Pages 150-156. <https://pdfs.semanticscholar.org/2c26/2aba710e0d1633d9b4b5015c013343f88fd3.pdf>
89. Wang L., Yang S. X., Biglarbegian M. A fuzzy logic based bio-inspired system for mobile robot navigation. *IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*. 2012. P. 219–224. DOI:10.1109/MFI.2012.6343040.

90. Xiang Y., Xie C., Mousavian A. et al. Learning RGB-D Feature Embeddings for Unseen Object Instance Segmentation. arXiv. 2020. P. 1–10.
91. Xie C., Xiang Y., Mousavian A. et al. The Best of Both Modes: Separately Leveraging RGB and Depth for Unseen Object Instance Segmentation. Proceedings of the Conference on Robot Learning. PMLR, 12 May 2020. P. 1369–1378.
92. Xu, P., Zeng, Q., Zhang, G., Zhu, C. and Zhu, Z. 2019. Design of Control System and Human-Robot-Interaction System of Teleoperation Underwater Robot. Intelligent Robotics and Applications. pp.649–660. Available: https://www.researchgate.net/publication/334854739_Design_of_Control_System_and_Human-Robot-Interaction_System_of_Teleoperation_Underwater_Robot
93. Zhang F., Li S., Yuan S. et al. Algorithms analysis of mobile robot SLAM based on Kalman and particle filter. Proceedings of 2017 9th International Conference On Modelling, Identification and Control, ICMIC 2017. IEEE, 21 March 2018. P. 1050–1055. DOI: 10.1109/ICMIC.2017.8321612.
94. Zhang X., Chen Z., Jonathan Wu Q. M. et al. Fast Semantic Segmentation for Scene Perception. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2019. Vol. 15, № 2. P. 1183–1192. DOI: 10.1109/TII.2018.2849348.
95. Zhanna Yu. Burunina, Andrii M. Voitysyk, Leo T. Aloba, Viktor I. Korytskyi, Andriy S. Sirivchuk, Aleksandr P. Klochkov. (2018). Experimental Study of Group Control Laws for an Autonomous Unmanned Underwater Vehicle as a Group Agent. Shipbuilding and Marine Infrastructure. №2(10). Pages 116-126.
96. Zygmunt Kitowsky, Ryszard Solinsky. (2016) Application of Domestic Unmanned Surface Vessels in the Area of Internal Security and Maritime Economy – Capacities and Directions for Development. Scientific Journal of Polish Naval Academy, №3(206). – DOI: 10.5604/0860889X.1224747
97. Авраменко П.Г., Буруніна Ж.Ю., Соколовський Г.П. (2005). Дослідження характеристик підйомного підводного апарата у дослідовому басейні. Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК. — № 2. – С. 32-39.

98. Алоба Л.Т. (2018). Структура системы автоматического управления групповым движением АНПА. Підводна техніка і технологія: матеріали IX Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю : в 2 ч. – Миколаїв : НУК, – Ч. 1. – С. 46-52.

99. Алоба Л.Т. (2019) Программа и методика проведения натурных испытаний интеллектуальной системы автоматического управления автономным необитаемым подводным аппаратом как агентом группы / Підводна техніка і технологія: матеріали IX Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю : в 2 ч. – Миколаїв : НУК. Ч. 1. – С. 64-70.

100. Алоба Л.Т. (2019). Автоматизация группового управления автономными необитаемыми подводными аппаратами поискового типа / Підводна техніка і технологія: матеріали IX Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю : в 2 ч. – Миколаїв : НУК. Ч. 1. – С. 36-44.

101. Алоба Л.Т. (2019). Синтез интеллектуальной системы автоматического управления АНПА как агентом группы. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT : збірка матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції, 28-30 травня р. – Херсон : Херсонська державна морська академія. С. 224-227.

102. Алоба Л.Т. (2020). Разработка специализированного моделирующего комплекса для исследования управляемого движения группы АНПА. Інновації в уднобудування та океанотехніці: Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : НУК, 2020. – С. 121-127.

103. Алоба Лео Тосин. (2016). Задачи организации управления групповым движением автономных необитаемых подводных аппаратов в поисковых морских операциях. Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв НУК. – №4(466). – С. 92-96. DOI 10.15589/jnn20160415

104. Алоба, Л. Т., Блінцов, С. В., та Грудініна, Г. С. (2017). Математичне моделювання динаміки автономного ненаселеного підводного апарата на плоскій циркуляції. Збірник наукових праць Національного

університету кораблебудування. 4, 53-60. DOI:
<http://znp.nuos.mk.ua/archives/2017/4/9.pdf>

105. Андерсон Д., Танехилл Дж. (1990). Autonomous Underwater Vehicles. InTech. DOI: 10.5772/923Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2-х т.: Пер с англ. – М.: МИР. 384 с.

106. Багницкий А.В., Инзарцев А.В. Автоматизация подготовки миссии для автономного необитаемого аппарата в целях обследования акватории // Подводные роботы и робототехника. - 2010. - №10. - с.17-24

107. Блинцов В.С., Алоба Л.Т., Тхы Д.Ф. (2016). Современные задачи группового управления движением автономных необитаемых подводных аппаратов. Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв НУК. 3(465). – С. 91-99.
<http://znp.nuos.mk.ua/archives/2016/3/15.pdf>

108. Блинцов В.С., Алоба Л.Т., Тхы Д.Ф. (2016). Управление групповым движением автономных необитаемых подводных аппаратов. Створення та модернізація озброєння та військової техніки в сучасних умовах : збірник тез доповідей 16 науково-технічної конференції, 08-09 вересня. ДНВЦ ЗС України. – Чернігів : Видавець Брагинець О.В. С. 48-49.

109. Блинцов С.В., Алоба Л.Т., Доан Ф.Т. (2016). Групповое применение автономных необитаемых подводных аппаратов для повышения эффективности морских работ. Материалы XXIII Міжнародної конференції з автоматичного управління («Автоматика-2016»). – Суми : Сумський державний університет, – С. 210-211.

110. Блінцов В. С., Грудініна Г. С., Король Ю. М., Надточий А. В. (2021). Дослідження роботи рушійно-рульового комплексу підводного апарата в косому потоці води методами математичного моделювання. Підводна техніка і технологія, XI Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю, НУК.

111. Блінцов О. В. (2018). Системи автоматичного керування рухом підводних комплексів з гнучкими зв'язками : навчальний посібник. Миколаїв : Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. 251 с.

112. Блінцов С. В. (2017). Математичне моделювання динаміки автономного підводного апарата на плоскій циркуляції [Текст] / С. В. Блінцов, Г. С. Грудініна, Л. Т. Алоба, // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, – № 4. – С.53-60. DOI 10.15589/jnn20170407

113. Блінцов, В. С., Грудініна, Г. С., Буруніна, Ж. Ю., та Надточий А. В. (2022). Розробка системи автоматичного керування швидкістю руху автономного ненаселеного підводного апарату. Журнал «Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 33 (72) № 4, 56-65. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/10>

114. Блінцов, О. В. (2017). Автоматичне керування підводними комплексами з гнучкими зв'язками. Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

115. Блінцов, О. В., Корицький, В. І., Розробка системи автоматичного керування просторовим рухом телекерованого підводного апарата в умовах невизначеності. Shipbuilding and Marine Infrastructure, 1 (11), 2019. P. 85-95.

116. Блінцов, С. В., Грудініна, Г. С., та Бурунін, А. П. (2017). Математична модель для дослідження динаміки автономного підводного апарата на плоскій циркуляції. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці, матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв: НУК, 335-336.

117. Бриксін В. О., Іванюк О. І., Матюхова Н. О. та ін. Реалізація програмного та ситуаційного управління мобільним роботом. Тези стендових доповідей та виступів учасників 31-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Харків, 24–26 жовт. 2018 р. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 72–73.

118. Бурау Н.І. Моделювання динаміки автономного безпілотного підводного апарата за простого руху/ Н.І. Бурау, С.М. Величко, С.О. Гуриченко// Наукові вісті КПП. – 2021. - № 3. – С. 64–73

119. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. (2007) Системы автоматического управления движением судна : 3-е изд., перераб. и доп. Одесса : Феникс, 328 с.
120. Г. В. Бабкін, В. С. Блінцов, Є. А. Дружинін, С. Г. Кійко, Н. Р. Книрік, К. В. Кошкін, Д. М. Крицький, С. С. Рижков, С. О. Слободян, Т. А. Фаріонова. (2017). Управління успішними проектами створення складної техніки : Монографія. Миколаїв : Видавництво Торубари В. В.,— 336 с.
121. Годованюк С. П. Концептуальная модель формирования облика управляемой единой системой поиска и спасания на море / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Вісник інженерної академії України: Бюлетень 4, 2017. Науковий журнал. – К.: 2017. – С. 84 – 88.
122. Голембо В.А., Бочкарьов О.Ю., Гребеняк А.В. (2009). Проблема організації узгоджених колективних дій автономних мобільних підводних апаратів. Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. — № 650. – С. 167–173.
123. Голембо В.А., Бочкарьов О.Ю., Гребеняк А.В. (2009). Проблема організації узгоджених колективних дій автономних мобільних підводних апаратів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Комп’ютерні науки та інформаційні технології», № 650,— С.167-173.
124. Голембо В.А., Гребеняк А.В. (2012). Організація навігації у колективі автономних мобільних роботів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Комп’ютерні системи та мережі». Львів : №745. – С. 61-68. <http://science.lpnu.ua/csn/all-volumes-and-issues/number-745-2012/organizaciya-navigaciyi-v-kolektivi-avtonomnih-mobilnih>
125. Грудініна, Г. С. (2018). Математичне моделювання динаміки АНПА з гребним гвинтом в поворотній насадці. Сучасні проблеми автоматики та електротехніки, матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференція. Миколаїв: НУК, 120-122.
126. Грудініна, Г. С. (2020). Удосконалення системи автоматичного керування автономного ненаселеного підводного апарата. Підводна техніка і

технологія: матеріали IX Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю в 2 ч. Миколаїв: НУК, 1, 48-53.

127. Грудініна, Г. С. (2021). Підвищення точності стабілізації швидкості АНПА при плоскому криволінійному русі. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці. XII Міжнародна науково-технічна конференція, НУК.

128. Гончаренко Я.В. Математичне програмування. — К.: НПУ імені М.П.Драгоманова, 2010. — 184 с.

129. Іванюк О. І. Обробка первинних сенсорних даних для представлення у гранулярних обчисленнях. Тези доповідей 80-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків, 24–26 квіт. 2018 р. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 43–44.

130. Каргін А. О., Іванюк О. І. Багаторівнева модель навігації автономного робота, заснована на динамічному ситуаційному управлінні. Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології і автоматизація — 2020», м. Одеса, 22-23 жовт. 2020 р. Одеса: ОНАХТ, 2020. С. 291–293.

131. Каргін А. О., Іванюк О. І. Застосування часової логіки в алгоритмах дослідження оточення мобільного робота. Тези стендових доповідей та виступів учасників 31-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Харків, 24–26 жовт. 2018 р. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 74–75.

132. Каргін А. О., Іванюк О. І. Модель ситуаційного планування й керування переміщеннями автономного робота. Сучасні інформаційні системи. 2020. Вип. 4, № 3. С. 41–51. DOI: 10.20998/2522-9052.2020.3.05.

133. Каргін А. О., Іванюк О. І., Лахно О. Г. Організація взаємодії розумних машин та інтелектуальних сенсорів в інтернеті речей. Тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ї Міжнародної науково-

практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Харків, 26–27 жовт. 2017 р. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 80–81.

134. Каргін А. О., Іванюк О. І., Лучников Д. В. та ін. Система дистанційного управління мобільним роботом за допомогою голосових команд. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод», м. Краматорськ, 18–20 квіт. 2019 р. Краматорськ: ДДМА, 2019. С. 19–21.

135. Король, Ю. М. (2019). Гідродинамічний аналіз варіантів рушійно-кермового комплексу підводного апарата «Suboff». Інновації у суднобудуванні та океанотехніці, матеріали X міжнародної технічної конференції, Миколаїв: НУК.

136. Король, Ю. М. (2019). Методи обчислювальної гідродинаміки у завданнях проектування рушійно-кермового комплексу підводних човнів. Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації та ремонту суден, морських технічних засобів та інженерних споруд, матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. Миколаїв: НУК.

137. Лебедева, Т., Семенова, Н., & Сергієнко, Т. (2021). До питання про стійкість задач частково цілочислової оптимізації відносно збурень вхідних даних векторного критерію. фізико-математичне моделювання та інформаційні технології, (33), 7-11. <https://doi.org/10.15407/fmmit2021.33.007>

138. Левченко О.В. Метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху судна / О.В. Левченко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2022. – №4. – С. 4-9.

139. Левченко О.В. Метод формалізації комплексування інформації при моніторингу навігаційної обстановки у системі е-Навігації / О.В. Левченко // Системи озброєння і військова техніка. – 2022. – № 1 (69)– С. 46-55.

140. Левченко О.В. Метод формалізації процесу прийняття рішення щодо запобігання небезпечних ситуацій в системі е-Navigation / О.В. Левченко // Судноводіння (Shipping & Navigation). – 2023. – Вип. 34 – С. 115-126.

141. Левченко О.В. Удосконалення методу управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом / О.В. Левченко // Судноводіння (Shipping & Navigation). – 2023. – Вип. 34 – С. 115-126.
142. Про виконання заходів з відновлення єдиної системи пошуку та рятування на морі: від 25 березня 2016 р. / Наказ № 119. Міністерство інфраструктури України. – К.: 2016.
143. Про відновлення єдиної системи пошуку та рятування на морі : від 24 лютого 2016 р. / Постанова № 158. Кабінет Міністрів України. – К.: 2016. 145 с.
144. Про затвердження нормативних актів з пошуку та рятування на морі : від 10 вересня 2002 р. / Наказ № 643. Міністерство транспорту України. – К.: 2002.
145. Конвенція про МПЗС-72 на сайті Верховної Ради України
146. Проект CoCoRo: Retrieved from http://robotics.ua/news/prototypes/4497-project_cocoro_swarm_collective
147. Радіогідроакустичні буї розробки Київського НДІ Гідроприладів. ОПК України. Режим доступу: <https://stailker.dreamwidth.org/274934.html>
148. Умінський В. В. Аналіз систем управління переміщенням мобільних роботів / В.В. Умінський // Вісник Інженерної академії України. 2013. № 3–4. С. 306–308.
149. Салуквелидзе М.Е. Задачи векторной оптимизации в теории управления / М.Е Салуквелидзе // – Тбилиси, Мецниереба, 1975. – 204 с.
150. Carapoto G. Primal-dual algoritimus for the assigment problem / G. Carapoto, P. Tofh // Discrete Appl. Math. – 1987. - №2. P. 137-153.
151. Левченко О.В., Боріна М.В. Удосконалення методу управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом. *Вісник приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки.* - № 46. – 2023. С. 137-148. doi: 10.31498/2225-6733.46.2023.288183.

ДОДАТОК А

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Левченко О.В., Боріна М.В. Удосконалення методу управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом. *Вісник приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки.* - № 46. – 2023. С. 137-148. doi: 10.31498/2225-6733.46.2023.288183.

https://journals.uran.ua/vestnikpgtu_tech/article/view/288183 (наукове фахове видання України).

2. Левченко О.В. Метод формалізації процесу прийняття рішення щодо запобігання небезпечних ситуацій в системі e-navigation. *Науково-технічний збірник «Судноводіння / Shipping & Navigation»* № 34. – 2023. - с. 117-126. doi: 10.31653/2306-5761.34.2023.115-126 <https://navjournal-nuoma.learnmarine> (наукове фахове видання України).

3. Левченко О.В. Метод оцінки та прогнозування навігаційної ситуації під час руху судна. *Збірник наукових праць: Системи управління, навігації та зв'язку.* – № 4 (70). – 2022. – С. 4-9. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.4.004> <http://journals.nupp.edu.ua/sunz/issue/view/96> (наукове фахове видання України).

4. Левченко О.В. Метод формалізації комплексування інформації при моніторингу навігаційної обстановки у системі е-Навігації. *Науково-технічний журнал: Системи озброєння і військова техніка.* - № 1 (69). – 2022. – С. 46-55 <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.69.06> (наукове фахове видання України).

5. Левченко О. В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у суднових СППР. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та*

технологій Водний транспорт.. – К.: ДУІТ, 2021. – Випуск 3(34). – С. 89-99.
<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2021.3.34.10>
<https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article> (наукове фахове видання України).

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Левченко О.В. Застосування методу моніторингу навігаційної обстановки у системі е-навігації. Міжнародна наукова конференція: Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення. Випуск 70 – 2022. - С.
<http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-622/>

7. Левченко О.В., Боріна М.В. Управління пошуком надводних та підводних об'єктів гібридним роботизованим комплексом. *Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології: Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців 29-30 листопада 2023р. м. Київ, вид-во: Київський інститут залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, реєстр. УкрІНТЕІ № 396 від 09.10.2023, 2023. Ч.1. 329 с.* <https://files.duit.edu.ua/uploads>

8. Левченко О.В. Оцінка обґрунтованості прийняття рішення в процесі управління гібридним роботизованим комплексом. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XIV Міжн. наук.-практ. конф. Ізмаїл, 8-9 грудня 2023 р. –Запоріжжя : АА ТанDEM, 2023. 449 с.* Оцінка обґрунтованості прийняття рішення в процесі управління гібридним роботизованим комплексом.

ДОДАТОК Б



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
 (ДУІТ)

Вул. Кирилівська, 9 м. Київ, 04071 тел./факс: (044) 463-74-70, 482-51-26

E-mail: duit@duit.edu.ua Код ЄДРПОУ 41330257

«28» 02 2024 № 18/01-Н

УЗГОДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної роботи

Юрій ДУДНИК

ЗАТВЕРДЖУЮ



Ректор
 Надія БРАЙКОВСЬКА

АКТ

про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи
ЛЕВЧЕНКО Ольги на тему **«Моделі та методи управління рухом гібридного
 роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних
 та підводних об'єктів»**

Цей акт складено про те, що наукові дослідження за темою дисертаційної роботи **ЛЕВЧЕНКО Ольги** на тему **«Моделі та методи управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів»** використовуються в навчальному процесу факультету судноводіння на кафедрі навігації і управління суднами при викладанні дисциплін «Забезпечення навігаційної безпеки плавання», «Навігаційні інформаційні системи» та «Радіонавігаційні прилади та системи» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт.

Директор Київського інституту водного транспорту імені гетьмана
 Петра Конашевича-Сагайдачного,
 доктор технічних наук, професор

Декан факультету судноводіння,
 кандидат юридичних наук, доцент

Олена ТИМОЩУК

Олександр ЄЛІАЗАРОВ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор державного підприємства водних шляхів «УКРВОДШЛЯХ»

Юрій ПУШЕНКО
« 22 » _____ 2023 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Левченко Ольги Вікторівни

на тему «Моделі та методи управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів»
на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності
271 – Морський та внутрішній водний транспорт

Результати дослідження Левченко О.В. на тему «Моделі та методи управління рухом гібридного роботизованого комплексу для підвищення ефективності пошуку надводних та підводних об'єктів» є актуальним для забезпечення підвищення безпеки руху судна за рахунок удосконалення методів формалізації процесу прийняття рішення щодо запобігання небезпечних ситуації в єдиній концепції e-Navigation.

Впровадження наукових рекомендацій, запропонованих в дисертаційній роботі Левченко О.В., а саме створення гібридних роботизованих комплексів стають важливим інструментом для морських операцій з пошуку надводних та/або підводних об'єктів як репродуктивного шаблону для побудови аксонометричної проекції руху об'єктів.

Запропоновані автором дослідження щодо створення гібридного роботизованого комплексу дають переваги в частині високої продуктивності надводних та підводних пошукових робіт, оскільки вони виконуються на великих за площею акваторіях із залученням роботизованих апаратів, а їх кількість може змінюватись залежно від вимог до загальної тривалості пошукової операції.

Апробація результатів дисертаційної роботи Левченко О.В. підтверджує їх практичну значущість та актуальність і визначає доцільність їх подальшого впровадження у процес пошуку надводних та підводних об'єктів.

Заступник директора з безпеки судноплавства, к.т.н., доцент



Володимир ДОРОНІН

Начальник служби днопоглиблювальних робіт, д.т.н., с.н.с., к.д.п.



Ілля ТИХОНОВ

« 22 » 11 2023 р.