

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ  
ІМ. ГЕТЬМАНА ПЕТРА КОНАШЕВИЧА – САГАЙДАЧНОГО  
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Прим. \_\_\_\_

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

ЗАЗІРНИЙ АНДРІЙ АНДРІЙОВИЧ

УДК 656.61:519.816

МЕТОДИ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ ДЛЯ  
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУДНОВИХ  
ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ ЗІ ЗМІНОЮ СТРУКТУРОЮ

Спеціальність 271 – Річковий та морський транспорт

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Науковий керівник  
д.т.н., професор Богом'я В. І.

Київ – 2021

## АНОТАЦІЯ

Методи формалізації процесу управління судном для підвищення ефективності функціонування судових ергатичних систем зі зміною структурою. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 271 – річковий та морський транспорт. – Київський інститут Водного Транспорту ім. гетьмана Петра Конашевича – Сагайдачного Державного університету Інфраструктури та Технологій, Київ, 2021.

У дисертації розв’язується наукова задача розробки методів формалізації процесу управління судном для підвищення ефективності функціонування судових ергатичних систем зі зміною структурою.

Одним з вирішальних умов успішного вирішення завдання попередження та уникнення реалізації небезпечної ситуації є обґрунтоване та своєчасне прийняття рішення при управлінні судном, як в ході виконання маневру, так і в ході підготовки до нього. Динамічність зміни навігаційної обстановки у небезпечній ситуації, високий ступінь невизначеності, жорсткі часові рамки для вироблення рішень при необхідності аналізу та врахування великої кількості різнорідних чинників свідчать про необхідність підвищення оперативності та достовірності вирішення завдань управління судном.

При цьому одними з основних завдань, що вирішуються судноводієм, є оцінка навігаційної обстановки, стан та параметри руху власного судна та дії судноводія – судна потенційної загрози.

Прийняття рішення під час руху судна здійснюється за результатами оцінки ситуації, що складається під час руху судна. Ефективність оцінки навігаційної обстановки залежить від особистих якостей судноводія та складності навігаційної обстановки, що складається.

В існуючих засобах автоматизації ускладнено реалізацію сучасних методів інтелектуалізації підтримки прийняття рішення, які дозволяють індивідуально-адаптований контроль та підтримку дій судноводія в процесі

управління рухом судна. Застосування нових підходів дозволить зменшити часові витрати на оцінку ситуації, та підвищити обґрунтованість прийнятих рішень.

Метою роботи є підвищення оперативності та обґрунтованості прийняття рішень судноводієм у процесі управління судном в небезпечній ситуації.

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі часткові завдання:

1. Аналіз підходів до формалізації і подальшого вирішення завдань прийняття рішення та реалізації управлінських дій судноводієм у небезпечній ситуації на основі експертних знань в умовах невизначеності.

2. Удосконалення методу побудови моделей для оцінки навігаційної обстановки на основі формалізації явних і неявних експертних знань.

3. Розробка методу формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози;

4. Розробка методу узгодження технічного та біологічного сегментів ергатичної системи управління судном;

5. Оцінка ефективності розроблених методів.

Об'єкт дослідження: процеси аналізу обстановки та підтримки прийняття рішень в судових ергатичних системах зі зміною структурою при управлінні судном.

Предметом дослідження є методи ситуаційного аналізу навігаційної обстановки для автоматизації вироблення рішень при управлінні судном.

У вступі обґрунтована актуальність дослідження, показаний зв'язок роботи з науковими програмами, темами, обґрунтована наукова новизна отриманих результатів. Показані практичні значення та впровадження отриманих результатів. Відмічений вклад дисертанта в наукові роботи, які написані у співавторстві.

У першому розділі обґрунтована необхідність надійності роботи судноводія як частини судової ергатичної системи в умовах дії негативних факторів і зовнішніх впливів, що супроводжують рух судна, проаналізовані

існуючі системи управління судном, міра автоматизації рішення завдань при несенні вахти, основні методи розпізнавання ситуацій, прийняття рішень і їх застосування у рамках вирішуваної задачі. Обґрунтована доцільність застосування методів штучного інтелекту при розробці спеціального математичного забезпечення системи управління судном в небезпечних ситуаціях. Обґрунтовано вибір напряду дослідження, постановлені часткові задачі дослідження та обґрунтуванню методи їх розв'язання.

У другому розділі розроблено метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози. Розроблений метод відрізняється від інших спільним використанням методів розпізнавання навігаційної обстановки зі знаннями про цілі та завдання судноводія судна-загрози. Запропонованому методі формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози, вперше запропоновано спільне використання методів розпізнавання навігаційної обстановки зі знаннями про цілі та завдання судноводія судна-загрози. При цьому забезпечується можливість врахування результатів етапу планування і динаміки зміни навігаційної обстановки.

У третьому розділі удосконалено метод формалізації процесу оцінки навігаційної обстановки у районі плавання. Особливістю методу є використання моделі динамічного простору рівнів небезпеки зон в районі плавання, яка враховує екстремальність ситуації та стан судноводія, що дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень судноводія. На основі формалізації задачі оцінки навігаційної обстановки та аналізу можливих ситуацій розроблено концептуальну модель підтримки прийняття рішень, що є основою для створення реальної системи і детального проектування її компонентів. Розроблений алгоритм формування безпечних маршрутів розходження в безпечну зону та порядок їх коригування відповідно до умов навігаційної обстановки, дозволяє враховувати стан та можливості судноводія здійснювати управлінський вплив для забезпечення безпеки руху судна на заданому рівні.

У четвертому розділі розроблено структурна модель надійності роботи судноводія, яка забезпечує індивідуально-адаптованого контролю і підтримки прийняття рішення судноводієм при виконанні маневру розходження. Розроблено метод узгодження технічного та біологічного сегментів ергатичної системи управління судном який, на відміну від відомих базується на використанні нечіткого нейромережевого підходу, що дозволяє виконувати індивідуально-адаптований контроль і підтримку прийняття рішення судноводієм. Зроблено висновок про доцільність застосування розроблених методів для підвищення оперативності та обґрунтованості рішень, що приймаються, на ходовому містку, зроблена оцінка ефективності запропонованих методів.

У висновках викладено основні питання проведеного дослідження, сформульовані отримані наукові та практичні результати роботи.

Ключові слова: судно, навігація, ергатична система, складні навігаційні умови, небезпечне ситуація, зіткнення суден.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Основні наукові результати*

1. Zazirnyi A. The Synthesis of the Reference Image and Algorithms for Vehicle Navigation Systems / O. Tymochko, A. Tyystan, V. Ushan, N. Yeromina, O. Dmitriiev, V. Mazharov, I. Padalka, I. Hannoshyna, I. Masik, A. Zazirnyi // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – Vol. 8 № 3. – С. 853-858.

2. Зазірний А. А. Метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози / А. А. Зазірний // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 126-133.

3. Зазірний А. А. Узгодження технічного та біологічного сегментів ергатичної системи "судноводій – судно" з використанням нечіткого нейромережевого підходу / А. А. Зазірний, О. О. Аросланкін // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 1(32). – С. 19-28.

4. Зазірний А. А. Метод формування динамічного простору рівнів небезпеки зон в районі плавання при вирішенні задачі розходження судна з навігаційними небезпеками / А. А. Зазірний // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2021. – № 1(67). – С. 110-118.

*Апробація наукових результатів*

5. Зазірний А. А. Метод узгодження елементів ергатичної системи «судноводій – судно» з використанням нечіткого нейромережевого підходу. *The process and dynamics of the scientific path: I International Scientific and Theoretical Conference*, 26 Feb. 2021 – Athens: Scentia, 2021. P. 144-148.

6. Зазірний А., Бойко А. Д. Метод определения опасности навигационных ситуаций в зонах интенсивного судоходства. *XV International Scientific and Technical Conference*, 5 May 2020, – Baki: Azerbaijan state marine academy , 2020. P. 125-126.

7. Зазірний А. А., Шевченко А. П., Бойко С. О. Методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації. Всеукраїнська інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку»: тези доповідей, 20-21 листопада 2019 року. – К.: ДУІТ, 2019. С. 121-123.

8. Зазірний А.А., Бойко С.О. Вибір критерію оптимальності системи технічного обслуговування судових комплексів. II Міжнародна науково-практична морська конференція кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту Морського флоту Одеського національного морського університету. Одеса, 2020. С.165–168.

ANNOTATION

*Zazirnyi A. A. Methods of formalizing the process of ship management to increase the efficiency of ship ergatic systems with a change in structure. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.*

The dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 271 – river and sea transport. - Kyiv Institute of Water Transport. Hetman Petro Konashevych-Sagaidachny State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2021.

In the dissertation the scientific problem of development of methods of formalization of process of management of the vessel for increase of efficiency of functioning of ship ergatic systems with change of structure is solved.

One of the crucial conditions for the successful solution of the problem of preventing and avoiding the implementation of a dangerous situation is a sound and timely decision in the management of the vessel, both during the maneuver and in preparation for it. The dynamics of changes in the navigation situation in a dangerous situation, a high degree of uncertainty, strict time frames for decision-making when necessary, to analyze and take into account a large number of heterogeneous factors indicate the need to increase efficiency and reliability of ship management.

At the same time, one of the main tasks to be solved by the master is to assess the navigation situation, the condition and parameters of the movement of his own vessel and the actions of the master - the vessel of potential threat.

Decision-making during the movement of the vessel is based on the results of the assessment of the situation during the movement of the vessel. The effectiveness of the assessment of the navigation situation depends on the personal qualities of the driver and the complexity of the navigation situation.

Existing automation tools complicate the implementation of modern methods of intellectualization of decision support, which allow individually-adapted control and support of the actions of the driver, which will reduce the time spent on assessing the situation and increase the validity of decisions.

The purpose of the work is to increase the efficiency and validity of decision-making by the master in the process of managing the vessel in a dangerous situation.

To achieve this goal, the following partial tasks were solved:

1. Analysis of approaches to the formalization and further solution of the tasks of decision-making and implementation of management actions by the driver in a dangerous situation on the basis of expert knowledge in conditions of uncertainty.

2. Improving the method of building models for assessing the navigation environment based on the formalization of explicit and implicit expertise.

3. Development of a method of formalizing knowledge about the process of assessing the actions of the ship's captain-potential threat;

4. Development of a method of coordination of technical and biological segments of the ergatic control system of the vessel;

5. Evaluation of the effectiveness of the developed methods.

Object of research: processes of analysis of the situation and decision support in ship ergatic systems with a change in the structure of ship management.

The subject of research is the methods of situational analysis of the navigation situation to automate decision-making in ship management.

The introduction substantiates the relevance of the study, shows the relationship of work with scientific programs, topics, substantiates the scientific novelty of the results. The practical significance and implementation of the obtained results are shown. The contribution of the dissertation to the scientific works which are written in co-authorship is noted.

The first section substantiates the need for reliability of the pilot as part of the ship's ergatic system in the face of negative factors and external influences accompanying the movement of the vessel, analyzes the existing control systems of the vessel, the degree of automation of tasks during the watch, basic methods of application in the framework of the problem. The expediency of application of methods of artificial intelligence at development of special mathematical maintenance of system of management of the vessel in dangerous situations is substantiated. The choice of the direction of the research is substantiated, the partial tasks of the research are set and the methods of their solution are substantiated.

The second section develops a method of formalizing knowledge about the process of assessing the actions of the master of the ship-potential threat. The developed method differs from other joint use of methods of recognition of a navigational situation with knowledge of the purposes and tasks of the master of the vessel-threat. The proposed method of formalizing knowledge about the process of assessing the actions of the pilot of a potential threat, for the first time offered the joint use of methods for recognizing the navigation situation with knowledge of the goals and objectives of the pilot of the threat. This provides an opportunity to take into account the results of the planning stage and the dynamics of changes in the navigation environment.

The third section improves the method of formalizing the process of assessing the navigation situation in the navigation area. The peculiarity of the method is the use of the model of dynamic space of danger levels in the area of navigation, which takes into account the extreme situation and the state of the driver, which allows to increase the validity of the driver's decisions. Based on the formalization of the task of assessing the navigation situation and analysis of possible situations, a conceptual model of decision support has been developed, which is the basis for creating a real system and detailed design of its components. The developed algorithm of formation of safe routes of divergence in a safe zone and the order of their adjustment according to conditions of a navigation situation, allows to consider a condition and possibilities of the navigator to carry out administrative influence for safety of movement of the vessel at the set level.

In the fourth section the structural model of reliability of work of the driver which provides individually-adapted control and support of decision-making by the driver at performance of a maneuver of a difference is developed. A method of coordination of technical and biological segments of the ergatic control system of the vessel has been developed, which, unlike the known ones, is based on the use of a fuzzy neural network approach, which allows to perform individually adapted control and decision support by the master. The conclusion about expediency of application of the developed methods for increase of efficiency and validity of the

decisions accepted is made, the estimation of efficiency of the offered methods is made.

In the conclusions the basic questions of the spent research are stated, the received scientific and practical results of work are formulated.

Key words: ship, navigation, ergatic system, difficult navigation conditions, dangerous situation, collision of ships.

## LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

### The main scientific results

1. Zazirnyi A. The Synthesis of the Reference Image and Algorithms for Vehicle Navigation Systems / O. Tymochko, A. Ttystan, V. Ushan, N. Yeromina, O. Dmitriiev, V. Mazharov, I. Padalka, I. Hannoshyna, I. Masik, A. Zazirnyi // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – Vol. 8 № 3. – P. 853-858.

2. Zazirnyi A. A Method of formalization of knowledge about the process of assessing the actions of the ship's driver of a potential threat / A. A Zazirnyi // Water transport: Collection of scientific works. – 2020. – Vol. 3 (31). – P. 126-133.

3. Zazirnyi A. A Coordination of technical and biological segments of the ergatic system "master - ship" using a fuzzy neural network approach / A.A Zazirnyi, O. O Aroslankin // Water transport: Collection of scientific works. – 2021. – Vol. 1 (32). – P. 19-28.

4. Zazirnyi A. A Method of forming a dynamic space of danger levels in the area of navigation in solving the problem of divergence of the vessel with navigational hazards / A. A Zazirnyi // Collection of scientific works of Kharkiv National University of the Air Force. – 2021. – № 1 (67). – P. 110-118.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	14
ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУДНОВИХ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ З ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ В НЕБЕЗПЕЧНІЙ СИТУАЦІЇ.....	20
1.1 Представлення засобів водного транспорту у вигляді ергатичної системи.....	20
1.2 Роль судноводія в ергатичній системі "судноводій-судно".....	27
1.3 Особливості процесу прийняття рішень судноводієм у небезпечній ситуації під час руху судна.....	30
1.4 Аналіз надійності ергатичної системи зі змінною структурою.....	37
1.5 Особливості розробки систем підтримки прийняття рішення судноводія в процесі управління рухом судном.....	40
1.6 Аналіз сучасних підходів до розробки систем підтримки дій судноводія.....	43
Висновки за першим розділом.....	49
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОДАВАННЯ ЗНАНЬ ПРО ДІЇ СУДНА-ПОТЕНЦІЙНОЇ ЗАГРОЗИ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ НА ХОДОВОМУ МІСТКУ.....	51
2.1 Постановка завдання по розробці методів для інформаційної підтримки прийняття рішень на ходовому містку.....	53
2.2 Розробка моделі процесу формування прогнозу можливих маршрутів руху судна-загрози на основі знань про дії судноводія у небезпечній ситуації.....	57
2.3 Аналіз моделі роботи судноводія судна-потенційної загрози в "небезпечній ситуації".....	58
2.4 Аналіз судових джерел інформації щодо можливості оцінки дій	

	12
судноводія судна-потенційної загрози.....	61
2.4.1 Метод сумісної обробки даних від судових джерел інформації про параметри руху судна-потенційної загрози.....	63
2.5 Метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози.....	66
2.6 Формалізація процесу отримання узагальнених характеристик судна-потенційної загрози.....	72
2.6.1 Логіко-лінгвістичні описи відношень у процесі оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози.....	74
2.6.2 Опис мережевої моделі процесу отримання узагальненої оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози.....	79
Висновки за другим розділом.....	82
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ПРО ПРОЦЕСИ ОЦІНКИ НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ В НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЯХ.....	83
3.1 Особливості прийняття рішень у процесі управління судном в умовах динамічної зміни навігаційної обстановки.....	83
3.2 Вимоги та обмеження, що пред'являються до системи підтримки прийняття рішення в умовах динамічної зміни навігаційної обстановки..	86
3.3 Визначення вхідної інформації про стан навігаційної обстановки.....	92
3.4 Метод формування динамічного простору рівнів небезпеки зон у районі плавання при вирішенні завдання розходження судна з навігаційними небезпеками.....	94
3.5 Формування маршрутів руху судна для безпечного розходження в небезпечній ситуації.....	110
Висновки за третім розділом.....	117
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МЕТОДУ УЗГОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ «СУДНОВОДІЙ – СУДНО». ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ	

	13
РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ.....	118
4.1 Модель оцінки надійності роботи судноводія в небезпечній ситуації.	118
4.2 Обґрунтування використання апарату нечітких нейронних мереж для формування моделі дій судноводія.....	112
4.3 Моделювання діяльності судноводія нечіткою нейронною мережі....	123
4.4 Метод узгодження елементів ергатичної системи "судноводій – судно" з використанням нечіткої нейронної мережі.....	125
4.4.1 Побудова нечіткої нейронної мережі визначення надійності роботи судноводія.....	138
4.5 Рекомендації із використання запропонованих методів.....	140
4.5.1 Оцінка ситуації своєчасності прийняття рішення судноводієм у небезпечній.....	142
4.5.2 Оцінка обґрунтованості рекомендацій щодо планування маршруту розходження.....	146
Висновки за четвертим розділом.....	150
ВИСНОВКИ.....	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	154
Додаток А Список опублікованих праць.....	167
Додаток Б Акт реалізації.....	169
Додаток В Вибірки для навчання та тестування нечіткої нейронної мережі.....	170

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУ	– автоматизована система управління
АІС	– автоматична ідентифікаційна система
ГНСС	– глобальна навігаційна супутникова система
ГІС	– глобальна інформаційна система
БД	– база даних
БЗ	– база знань
ЕКНІС	– електронна картографічної навігаційно-інформаційна система
КЗА	– комплекси засобів автоматизації
ННМ	– нечітка нейронна мережа
ОПР	– особа, що приймає рішення
РЛС	– радіолокаційна станція
САРП	– система автоматичної радіолокаційної прокладки
СМЗ	– спеціальне математичне забезпечення
ССПЗ	– судноводій судна-потенційної загрози
СПЗ	–судно-потенційної загрози
СППР	– система підтримки прийняття рішень
СУРС	– система управління рухом судна
УММ	– узагальнена мережева модель

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Аналіз статистичних даних про морські аварії та причин їх виникнення показує, що однією з небезпечних ситуацій під час руху судна є ситуація небезпечного зближення (зіткнення), особливо в умовах складної навігаційної обстановки. Актуальність питання підвищення безпеки виконання розходження з навігаційними небезпеками підтверджується й тим, що не лише судноплавні компанії, державні установи та держави в цілому ведуть пошук підходів попередження морських аварій, але й те, що у структурі Міжнародної морської організації (ІМО) створено комітет з безпеки на морі (Maritime Safety Committee, MSC) в якому розробляються концепції забезпечення безпеки судноплавства.

У ході процесу управління рухом судна відбувається розпізнавання поточної ситуації і зіставлення її з відповідним варіантом дій. Якщо використовувати апіорну інформацію, отриману на етапі планування, і яка зберігається в базі знань (тобто накопичений досвід), то при настанні реальної небезпеки зіткнення необхідно моделювати обмежену кількість варіантів розвитку небезпечної ситуації, для яких відсутні необхідні оцінки для вироблення рекомендацій на прийняття рішень в цих умовах. При цьому моделювання множини альтернатив вироблення рекомендацій повинні відбуватися у реальному часі. Це забезпечує системі управління гнучкість, дозволяє своєчасно запобігати виникненню небезпечних ситуацій і забезпечити безпечне розходження судна з навігаційною небезпекою.

Проведений аналіз широкого класу існуючих методів підтримки прийняття рішень дозволив виділити проблему добування, подання та формалізації експертних знань. В області дослідження недостатньо опрацьовані питання розпізнавання ситуацій в акваторії руху судна та синтезу варіантів рішень з судном. Тому виникає невідповідність між необхідністю оперативного та обґрунтованого прийняття рішення судноводієм у небезпечній ситуації та недостатньо розробленими науковими методами застосування явних та неявних експертних знань у процесі

управління судном у небезпечній ситуації в умовах невизначеності для автоматизації вироблення рішень на основі систем підтримки прийняття рішень (СППР). Відсутність напрацювань з таких підходів і методів в умовах нагальної потреби в них створила проблемну ситуацію, для вирішення якої актуальним є вирішення наукового завдання з розробки методів формалізації процесу управління судном для підвищення ефективності функціонування судових ергатичних систем зі зміною структурою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, темами.** Дослідження, представлені в дисертаційній роботі, проводилися в рамках наукових напрямків Державного університету інфраструктури та технологій, планів наукової і науково-технічної діяльності. Дослідження були використані у ході виконання науково-дослідної роботи «Моделі та методи прогнозування довговічності обладнання засобів річкового та морського транспорту в умовах експлуатації за технічним станом» (№ ДР0120U104335) і є складовими частинами планових робіт щодо дослідження питань, пов'язаних з процесами вироблення рішення судноводієм у небезпечній ситуації.

*Мета і завдання дослідження.* Метою роботи є підвищення оперативності та обґрунтованості прийняття рішень судноводієм у процесі управління судном в небезпечній ситуації.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі часткові завдання:

1. Аналіз підходів до формалізації і подальшого вирішення завдань прийняття рішення та реалізації управлінських дій судноводієм у небезпечній ситуації на основі експертних знань в умовах невизначеності.
2. Удосконалення методу побудови моделей для оцінки навігаційної обстановки на основі формалізації явних і неявних експертних знань.
3. Розробка методу формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози;
4. Розробка методу узгодження технічного та біологічного сегментів ергатичної системи управління судном;
5. Оцінка ефективності розроблених методів.

*Об'єкт дослідження:* процеси аналізу обстановки та підтримки прийняття рішень в судових ергатичних системах зі зміною структурою при управлінні судном.

*Предмет дослідження:* методи ситуаційного аналізу навігаційної обстановки для автоматизації вироблення рішень при управлінні судном.

*Методи дослідження:* Системного аналізу – при аналізі можливостей судових систем підтримки прийняття рішення судноводієм з метою вивчення процесів збору та обробки даних про навігаційну обстановку та обґрунтування необхідності використання характеристик навігаційної небезпеки для підвищення оперативності та обґрунтованості прийняття рішень; математичної логіки – для побудови моделі процесу оцінки навігаційної обстановки на основі експертних знань, що є складовою частиною методу представлення знань про небезпечну ситуацію; теорії штучного інтелекту, включаючи методи нечіткої логіки та побудови функцій приналежності – для побудови правил оцінки істинності відношень між поточними даними і апріорними знаннями про судноводія для технічного та біологічного сегментів ергатичної системи "судноводій – судно"; методи математичного моделювання – при побудові імітаційної математичної моделі, використовуваної для оцінки часових показників інформаційного забезпечення рішень у судовій СППР.

Наукова новизна отриманих результатів дисертації полягає в такому:

1. Удосконалено метод формалізації процесу оцінки навігаційної обстановки у районі плавання, який, на відміну від відомих, базується на використанні моделі динамічного простору рівнів небезпеки зон у районі плавання, яка враховує екстремальність ситуації та стан судноводія і дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень судноводієм.

2. Розроблено метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози, в якому вперше запропоновано спільне використання методів розпізнавання навігаційної обстановки зі знаннями про цілі та завдання судноводія судна-загрози.

3. Розроблено метод узгодження технічного та біологічного сегментів

ергатичної системи управління судном який, на відміну від відомих базується на використанні нечіткого нейромережевого підходу, що дозволяє виконувати індивідуально-адаптований контроль і підтримку прийняття рішення судноводієм.

*Практичне значення отриманих результатів.* Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені теоретичні положення та методи є основою для розробки математичного та програмного забезпечення систем підтримки прийняття рішень судноводія, що дозволяють підвищити оперативність та обґрунтованість прийняття рішень в ергатичній системі «судноводій – судно».

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при розробці систем автоматизованого контролю за рухом судна у межах зони відповідальності судноводія;

- у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків розробки та удосконалення автоматизованих систем прийняття рішень;

- у вищих навчальних закладах – для підготовки фахівців зі спеціальності навігація та управління рухом.

Впровадження результатів дисертаційної роботи виконано в судноплавній компанії "Червона Рута" (Додаток Б).

Одержані результати досліджень мають високий ступінь готовності до використання, тому що вони доведені до методів і моделей.

Особистий внесок здобувача. Нові наукові результати дисертації отримані здобувачем особисто.

Основні результати дисертації опубліковані в 8 наукових публікаціях, з них 4 статті, написані здобувачем самостійно та у співавторстві, та 4 тезах доповідей. Усі статті опубліковані у журналах та збірниках наукових праць, що входять до Переліку наукових фахових видань, дозволених для публікації отриманих при виконанні роботи результатів досліджень по технічним наукам. Серед них 4 входять до наукометричних баз, у тому числі до міжнародних.

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

науково-практичній конференції "The process and dynamics of the scientific path", Афіни, 2021 р.

Публікації результатів дисертації.

1. Zazirnyi A. The Synthesis of the Reference Image and Algorithms for Vehicle Navigation Systems / O. Tymochko, A. Ttystan, V. Ushan, N. Yeromina, O. Dmitriiev, V. Mazharov, I. Padalka, I. Hannoshyna, I. Masik, A. Zazirnyi // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – Vol. 8 № 3. – С. 853-858.

2. Зазірний А. А. Метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози / А. А. Зазірний // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 126-133.

3. Зазірний А. А. Узгодження технічного та біологічного сегментів ергатичної системи "судноводій – судно" з використанням нечіткого нейромережевого підходу / А. А. Зазірний, О. О. Аросланкін // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 1(32). – С. 19-28.

4. Зазірний А. А. Метод формування динамічного простору рівнів небезпеки зон в районі плавання при вирішенні задачі розходження судна з навігаційними небезпеками / А. А. Зазірний // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2021. – № 1(67). – С. 110-118.

Основні наукові результати дисертації опубліковані в 3 статтях у виданнях, наведених у переліку ДАК України, в яких дозволяється публікувати результати щодо присудження наукових ступенів; та в 1 статті у виданні, наведеному у переліку Scopus з них: 2 статті без співавторів.

Автор висловлює глибоку вдячність науковому керівнику Богом'я І.В. за постійну увагу до роботи та наукові консультації, за допомогу та підтримку під час систематичного обговорення результатів досліджень.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУДНОВИХ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ З ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ В НЕБЕЗПЕЧНІЙ СИТУАЦІЇ

#### 1.1 Представлення засобів водного транспорту у вигляді ергатичної системи

Аналіз об'єму світових перевезень показує, що кількість перевезень засобами водного транспорту становить до 85% [7, 34, 42, 54, 82, 90, 111]. Як наслідок підвищується інтенсивність руху судна на міжнародних та внутрішніх водних маршрутах руху. Тому, завдання забезпечення безаварійного плавання суден є необхідною умовою розвитку засобів водного транспорту.

Причинами виникнення небезпечних ситуацій є:

- помилкові дії судноводіїв (67%);
- відмови устаткування (24%);
- небезпечні речовини (4%);
- погодні умови (3%);
- інші обставини (3%).

Також висока аварійність на водному транспорті спостерігається при заході або виході з портів та на підходах до них, в обмежених зонах зумовлені навігаційними (протоки, канали, портові рейди, вузькі фарватери) або гідрометеорологічними (шторми, сильне хвилювання, льоди) чинниками, в ситуаціях зближення суден в зонах інтенсивного судноплавства, тощо.

Плавсклад сучасних транспортних компанії активно поповнюється суднами, оснащеними високотехнологічним обладнанням для забезпечення безпеки руху, збереження життя та здоров'я членів екіпажу та пасажирів і матеріальних цінностей. Проте слід зазначити, що навіть якщо судно обладнано сучасними зразками техніки, все одно судноводій залишається головним елементом прийняття рішення.

Управління судном будується на загальних принципах теорії та практики навігації та управління рухом, в основному, відповідає вирішуваним завданням і рівню технічного оснащення судно.

Причинами аварій та небезпечних ситуацій є неправильні помилки судоводіїв при управлінні судном та недоліки в конструкції суден, особливо при екстремому маневруванні суден.

Частоту аварій протягом рейсу можна розділити так [23]:

- вихід з порту – 40,0%;
- вхід в порт – 26,4%;
- в ході рейсу – 33,6%.

Статистика небезпечних ситуацій викликаних відволіканням від постійного аналізу та зниженням контролю навігаційної обстановки по вахтах наведено табл. 1.1 [100].

Таблиця 1.1 – Статистика по вахтам

Вахтовий	Час вахти	Відсоток небезпечних ситуацій
Четвертий (старший) помічник капітана	16.00-20.00	7%
Третій помічник капітана (всього 19%)	08.00-12.00	5%
	20.00-24.00	14%
Другий помічник капітана (всього 38%)	12.00-16.00	13%
	00.00-04.00	25%
Старший помічник капітана	04.00-08.00	16%
При зміні вахт		21%

Засіб водного транспорту є ергатичною системою, функціонування якої визначається узгодженою роботою всіх її елементів, що взаємодіють між собою при вираженому впливі факторів навігаційної обстановки, особливостей процесу судноплавства та організації роботи екіпажу.

Ергатичні системи управління зі змінною структурою є невід'ємною частиною сучасних суден, забезпечують автоматизацію процесів управління

рухом судна і, як правило, передбачають можливість переходу від автоматичного управління до неавтоматичного і, навпаки, за участю судноводія. Судноводій може дистанційно за допомогою пульта або безпосередньо управляти як системи управління рухом судна (СУРС), так і судном. Інформацію про стан судна судноводій отримує від джерел інформації. Джерела інформації можуть використовуватися як в одній судовій системі так і в декількох системах. Можна визначити три стани ергатичної системи "судноводій-судно", що істотно відрізняються один від одного впливом на безпеку руху судна та ефективність управління процесом управління:

- робота ергатичної системи в автоматичному режимі, коли судноводій виконує виключно обов'язки щодо контролю стану судна та параметрів руху судна;

- робота ергатичної системи в автоматизованому режимі, коли судноводій коригує параметри руху судна;

- судноводій безпосередньо управляє судном через судові пристрої.

Схематично взаємодію елементів ергатичної системи "судноводій-судно" наведено на рис. 1.1.

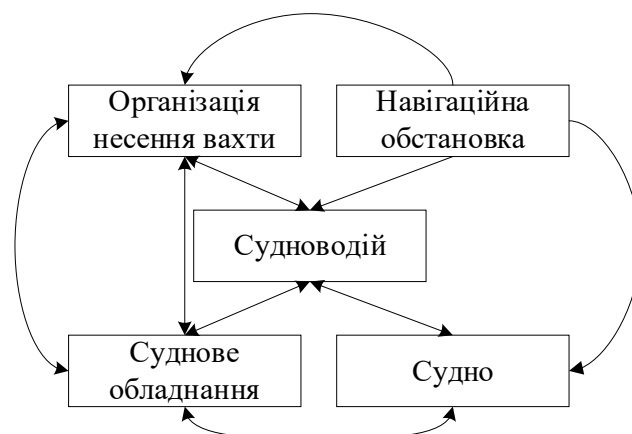


Рисунок 1.1 – Взаємодія елементів ергатичної системи "судноводій-судно"

Як видно, всі складові взаємодіють між собою і здійснюють взаємний вплив один на одного. Основною і визначальною ланкою в ергатичній системі є судноводій.

Навігаційна обстановка впливає на всі елементи ергатичної системи. Вона безпосередньо визначає дії судноводія для забезпечення безпеки руху судна.

Оскільки судно є складною технічною системою, судноводій зобов'язаний добре її знати і бути готовим до того, що кожен елемент судового обладнання може вийти з ладу. Ця складова набуває особливого значення через надмірний рівень зносу судової техніки.

Організація вахти як складової ергатичної системи пов'язана з наявністю змінної роботи, що призводить до порушення біологічних ритмів і, відповідно, є додатковим навантаженням на організм. Найчастіше несприятливі умови, викликані складною навігаційною обстановкою, призводять до низької ефективності відпочинку, а, отже, створюють умови для накопичення втоми.

Таким чином, надійність процесу руху судна в загальному вигляді можна представити як

$$Rel = f(rel_n, rel_{sh}, rel_{sit}), \quad (1.1)$$

де  $rel_n$  – надійність судноводія;

$rel_{sh}$  – надійність судна;

$rel_{sit}$  – фактори навігаційної обстановки.

Після впровадження на судах автоматичної ідентифікаційної системи (АІС), електронної картографічної навігаційно-інформаційної системи (ЕКНІС) та глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) у судноводіїв з'явилася можливість завжди контролювати місце розташування судна та стежити за навігаційною обстановкою. Аналіз існуючих системи

управління судном та їх можливостей щодо вирішення завдань забезпечення навігаційної безпеки руху, показує, що об'єктивними причинами аварійних ситуацій є далеко неповна автоматизація технічних засобів забезпечення безпеки розходження. Сучасні системи типу САРП, ЕКНІС, АІС та ін. виконують розрахунки елементів руху судна і основних елементів процесу розходження – найкоротшої дистанції зближення, дистанції до перетину курсів судна і моменти настання цих подій по великій кількості суден потенційних загроз.

Автоматичних розрахунків варіантів маневрування для розходження з одним або кількома суднами-потенційними загрозами ці системи не виробляють. Рішення в напівавтоматичному режимі завдання вибору маневру для розходження залишено судоводію. Серйозні недоліки мають і радіолокаційні станції. Перш за все, це мала гарантована дальність виявлення малорозмірних цілей з малою ефективною площею розсіювання. Дальність виявлення зменшується при хвилюванні водної поверхні внаслідок засвічення центральній частині екрану відображеннями від хвиль.

Але на практиці це важко застосувати, оскільки судоводій здійснює такі функції як:

- ведення судового журналу;
- контроль за станом судових систем;
- управління судном та ін..

Також через впровадження нових технологій судоводію необхідно вносити корективи в свої дії, а саме в звичні операції, пов'язані з проведенням судна в обмежених водах та по фарватерах.

Проблеми, які можуть виникнути:

- можливість втрати сигналу ГНСС;
- наявність у системах ГНСС зон, в яких не забезпечується необхідна навігаційна точність;
- відсутність у судоводія необхідних знань про навігаційну обстановку та про формування цих даних.

Також в системах ЕКНІС існують похибки, а саме:

- похибки через помилки джерел інформації;
- неідеальне оцифрування карт;
- відмінність координатних систем джерел інформації з системою координат електронної карти;
- неправильна передача даних та ін.

Існуючі засоби автоматизації] дозволяють частково вирішувати тільки розрахункові задачі, пов'язані з контролем навігаційної обстановки в акваторії руху судна. Проте ці системи не в змозі забезпечити розв'язання таких завдань:

- автоматичне виявлення ситуацій, що вимагають негайних дій щодо попередження небезпечного зближення (зіткнення);
- забезпечення підготовки і вироблення рекомендацій для прийняття рішень щодо дій для уникнення небезпечних ситуацій зближення (зіткнення).

З причини перерахованих обмежень використання існуючих суднових навігаційних систем, відсутності єдиних стандартів взаємодії суднових та берегових систем, несумісності суднового обладнання та високий рівень складності сучасних навігаційних приладів впливає, що головним завданням є вироблення стратегічного підходу до комплексного використання як уже існуючих, так і нових навігаційних засобів, зокрема, ЕКНІС, АІС та ГНСС [13, 24].

У зв'язку з цим, на сьогоднішній день Міжнародною Морською Організацією (ІМО) прийнята концепція e-Navigation [45], в основі якої лежить координація систем морської навігації і допоміжних берегових служб відповідно до потреб користувачів, для забезпечення ефективності навігаційно-гідрографічного і гідрометеорологічного забезпечення безпеки мореплавання, організації пошуку і порятунку кораблів та суден, що терплять лихо.

Головним завданням, що стоїть перед ІМО в рамках даної ініціативи, є підвищення рівня безпеки судноплавства та захисту навколишнього

середовища за допомогою стандартизації взаємодії суднових та берегових систем, забезпечення сумісності обладнання суден і зниження рівня складності приладів. Це дозволить судноводіям та операторам берегових служб підвищити рівень прийняття рішень та використовувати для цього надійні інформаційні та радіоелектронні технології та системи управління інформацією, що скорочують кількість відволікаючих увагу факторів.

Саме судноводій приймає остаточне рішення з управління судном в конкретній навігаційній обстановці або небезпечній ситуації. Вона визначається великою кількістю факторів та впливів різної природи, прояв яких має суттєвий вплив на безпеку проходження судном обмежених вод та зон з інтенсивним рухом. Проте перераховані вище навігаційні системи, не здійснюють виміри та аналіз всієї сукупності взаємодіючих факторів, що впливають на безпеку руху судна. Таку функцію на сьогоднішній день виконує лише судноводій, який має здатність системного охоплення ситуації та ситуаційного мислення:

- уміння адекватно інтерпретувати ситуацію відповідно до навігаційної обстановки, що склалася;
- уміння прогнозувати можливі наслідки прийняття того чи іншого рішення і визначати, які фактори є найбільш важливими в даній ситуації і який ймовірний ефект може спричинити за собою зміна одного або декількох з них;
- уміння виробляти рішення в конкретній ситуації, що дозволяє досягти найбільший позитивного ефекту в умовах навігаційної обстановки, що склалася.

Таким чином, незважаючи на впровадження на водному транспорті сучасних інформаційних і навігаційних систем, судноводій є однією з основних ланок безпеки управління рухом судна. Актуальним залишається завдання аналізу надійності роботи судноводія як частини судової ергатичної системи в умовах дії негативних факторів і зовнішніх впливів, що супроводжують рух судна. Системний аналіз всіх перерахованих вище

питань дозволить правильно визначити цілі та завдання забезпечення безпеки судноплавства, а також у розвитку технічних засобів судноводіння.

## 1.2 Роль судноводія в ергатичній системі "судноводій – судно"

Система "судноводій – судно" є складною інформаційною системою, в якій процес руху судна та діяльність судноводія пов'язані єдиним інформаційним процесом.

Можна виділити типи діяльності судноводія, які класифікуються залежно від функції, що виконує судноводій:

1. Технологічна діяльність. Безпосередньо включена в технологічний процес, здійснює переважно управлінські дії, чітко регламентовані інструкціями, що містять, як правило, повний набір ситуацій та рішень.

2. Маніпуляція. Основну роль в його діяльності грають механізми сенсомоторної регуляції та образного мислення.

3. Спостереження, контроль. Для даного типу діяльності характерний вплив інформаційних та концептуальних моделей.

4. Керівництво. Судноводій керує не технічними компонентами системи, а членами екіпажу. Управління здійснюється як безпосередньо, так і опосередковано через технічні засоби і канали зв'язку.

Найбільш поширеним типом діяльності судноводія є спостереження та контроль, тому вивчення цього типу діяльності видається актуальним завданням.

При організації взаємозв'язку судноводія та судна основна роль належить вже не стільки анатомічним та фізіологічним, скільки психологічним властивостям людини: сприйняттю, пам'яті, мисленню, увазі [75]. Тому від психологічних властивостей людини багато в чому залежить його інформаційна взаємодія в ергатичній системі.

Діяльність судноводія в складній системі "судноводій – судно" характеризується такими особливостями [52, 53]:

1. Інформаційні системи безперервно ускладнюються і, отже, безперервно розширюються функції судноводія та коло розв'язуваних ним завдань.

2. У складній інформаційній системі між судноводієм та судном є системи передачі та обробки інформації. Виникає проблема узгодження технічних засобів системи з можливостями судноводія за обсягом та швидкістю сприйняття та переробки інформації.

3. У сучасних суднових навігаційних системах навантаження на сенсорні канали сприйняття (зорові, слухові, тактильні) розподіляються нерівномірно. А при дистанційному управлінні основне навантаження спрямоване на зоровий канал, який часто виявляється перевантаженим.

4. Часто судноводію доводиться працювати при жорстких обмеженнях викликаних нехваткою часу та ресурсів та високою ціною помилки, великою емоційною напруженістю.

5. Робота судноводія у нештатних умовах.

6. Можливості сучасних технічних засобів інформаційних систем істотно наблизилися до можливостей людини, а за деякими показниками перевершили його. Звідси, щоб забезпечити ефективну роботу системи "судноводій-судно" в цілому, впливає велика принципова проблема: яку функцію в системі управління судном найбільш раціонально доручити судноводію, а яку засобам автоматизації.

За швидкістю, точністю, обсягом переробки окремих сигналів сучасні ЕОМ значною мірою перевершують можливості людини. Але в ЕОМ можливо відобразити лише окремі властивості явищ, а можливості щодо об'єднання та узагальнення інформації поки обмежені. На відміну від ЕОМ, людина здатна миттєво сприймати різноманітні ознаки ситуації через сигнали різних модальностей (зорових, слухових, тактильних), виробляти їх узагальнення, формувати образ і трансформувати його з позицій завдання.

Судноводій здатен пристосовуватися до умов сприйняття, долати труднощі при сприйнятті невизначеної, двозначної інформації та оцінювати

показники імовірного порядку. Судноводію властива константність сприйняття розмірів, форми, кольору тощо, що дозволяє йому незалежно від умов спостереження приймати адекватні рішення.

Перевага пам'яті ЕОМ проявляється у зберіганні однотипних даних, перевага пам'яті людини у зберіганні великої кількості зв'язків. У той же час людина здатна забувати непотрібні йому відомості.

Для відтворення на комп'ютері процесів мислення потрібне істотне збільшення можливостей обробки інформації через їх недостатню гнучкість і пластичність у процесах мислення.

Потрібна розробка такої великої кількості різних програм перетворення, об'єднання та узагальнення інформації яким володіє людина. Однак при вирішенні окремих завдань з великою числом однорідних і взаємопов'язаних даних комп'ютер значно перевершує можливості людини.

Комп'ютери здатні забезпечити точне регулювання параметрів як за величиною, так і за швидкості їх зміни. Комп'ютери можуть мати великий запас енергії. Людина ж використовує значно більшу кількість варіантів дій у відповідь, які практично дуже важко або неможливо заздалегідь передбачити у комп'ютері. Судноводій здатен до високого ступеня самоорганізації на різних рівнях. Проте в ЕОМ накопичення в пам'яті "досвіду" поки невеликі. У випадках виникнення нестандартних задач у роботі технічної ланки ергатичної системи "судноводій-судно" ЕОМ або припиняє роботу, або результат є неточним чи неадекватним. Судноводій у таких випадках шукає шляхи до збереження нормальної роботи системи і до досягнення цілей управління.

Вплив зовнішніх і внутрішніх факторів умов навігаційної обстановки на судноводія та ЕОМ є принципово різним. Судноводію притаманна втома, і йому необхідний час на відпочинок. Судноводій не здатний тривалий час зосереджувати увагу на певному об'єкті і може відволікатися. Він чутливий до різних стресових ситуацій, схильний до впливу суб'єктивних фактів та емоцій. Всі ці фактори не впливають на ЕОМ. Проте ЕОМ є чутливою до

магнітних і електричних полів (завад), до зовнішньої температури і стрибків напруги тощо.

ЕОМ добре виконує такі функції:

1. Всі види математичних розрахунків.
2. Виконання одноманітних повторюваних операцій.
3. Зберігання у пам'яті великого обсягу однорідної інформації, у базі даних та знань.
4. Розв'язання задач, що вимагають дедуктивного мислення, тобто отримання на основі загальних правил рішень для окремих випадків.
5. Виконання дій, що вимагають швидкої реакції на команду.

Для судноводія характерні такі функції:

1. Розпізнавання ситуації в цілому за багатьма складно пов'язаними характеристиками, а також при неповній інформації.
2. Індуктивне мислення, тобто здійснення узагальнень за окремими фактами, особливо при неповній інформації.
3. Розв'язання задач, для яких відсутні алгоритми чи не чітко виражених правил переробки інформації.
4. Розв'язання задач, в яких потрібна гнучкість адаптація до постійно змінюваних умов, особливо завдань, які заздалегідь важко передбачити.
5. Розв'язання задач високої відповідальності (прийняття рішень), в яких велика ціна помилки.

1.3 Особливості процесу прийняття рішень судноводієм у небезпечній ситуації під час руху судна

Небезпечні ситуації під час руху судна у складних умовах навігаційної обстановки, характеризуються непередбачуваним розвитком подій. Це не дозволяє застосовувати стандартні підходи для їх усунення, оскільки одні й ті самі ж дії у різних ситуаціях можуть виявитися неприйнятним.

Тому для зниження рівня небезпечних ситуацій на водних шляхах необхідно проводити аналіз морських подій та аварій, що дозволяє вивчити психологічні механізми виникнення помилок при судноводінні.

Оснащення морських суден автоматизованими системами управління вимагає швидкої реакції судноводіїв в небезпечних ситуаціях, навичок одночасного контролю ознак навігаційної обстановки та прийняття рішення при дефіциті часу та неповноті інформації.

На рис. 1.2 представлено основні поняття, що використовуються в процесі прийняття рішення судноводієм.

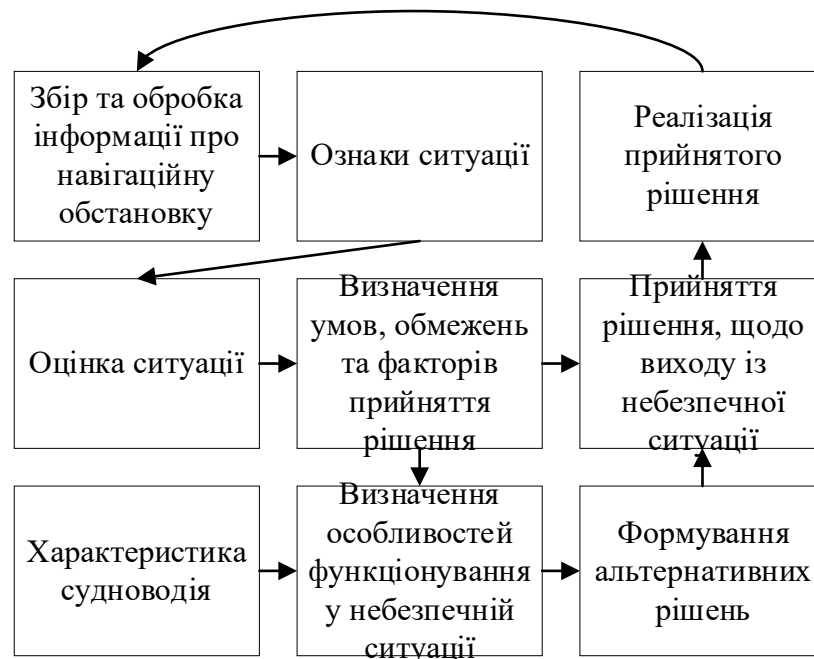


Рисунок 1.2 – Схема основних понять, що використовуються у процесі прийняття рішення судноводієм

Відповідно до навігаційної обстановки, для реалізації цільової функції судноводій повинен провести оцінку ситуації. Це передбачає опис загальний ознак ситуації, збір та обробку інформації, підготовку рішення, опис взаємозв'язків попередніх етапів прийняття рішення. Далі необхідно визначити умови та обмеження, що накладаються на прийняття рішення.

Коли судноводій усвідомить та проаналізує свій стан, тобто має проходити процес рефлексії, що дозволяє визначити рівень стресу.

Відповідно до типу особистості судноводія та його психологічного стану, прогнозується його поведінка у небезпечній ситуації.

Далі, повинен бути сформований набір ознак оптимального рішення. Він містить розгляд всіх можливих альтернатив, прийняття до уваги цілей вибору, оцінки наслідків кожної дії, планування результатів рішення. Однією з найважливіших вимог до своєчасного прийняття рішення є здатність судноводія безпосередньо прийняти рішення у небезпечній ситуації. Це означає, що судноводій має сформувати вольовий акт прийняття рішення. Затримки у цьому процесі призводять до утворення часу запізнювання, за який ситуація може змінитися, і потребуватиме іншого рішення або істотної поправки до вже сформованого рішення. Реалізація рішення вимагає злагодженості організаційного та технічного елементу ергатичної системи "судноводій-судно".

Наведена модель демонструє безпосереднє реагування судноводія на ситуацію, що склалася. Насправді, робота судноводія з підготовки рішення починається ще за довго до моменту прийняття рішення. Судноводій повинен формувати певну стратегію, яка складається з професійного досвіду прийняття рішення у різних ситуаціях судноводіння. Діяльність щодо прийняття рішення починається з самостійного прогнозування судноводієм різних ситуацій. Для судноводіїв таке прогнозування може класифікуватися у вигляді розділів: ситуації безпечні, небезпечні, аварійні, катастрофічні.

Прийняття рішення судноводієм в умовах небезпечної ситуації умовно можна представити так (рис. 1.3)

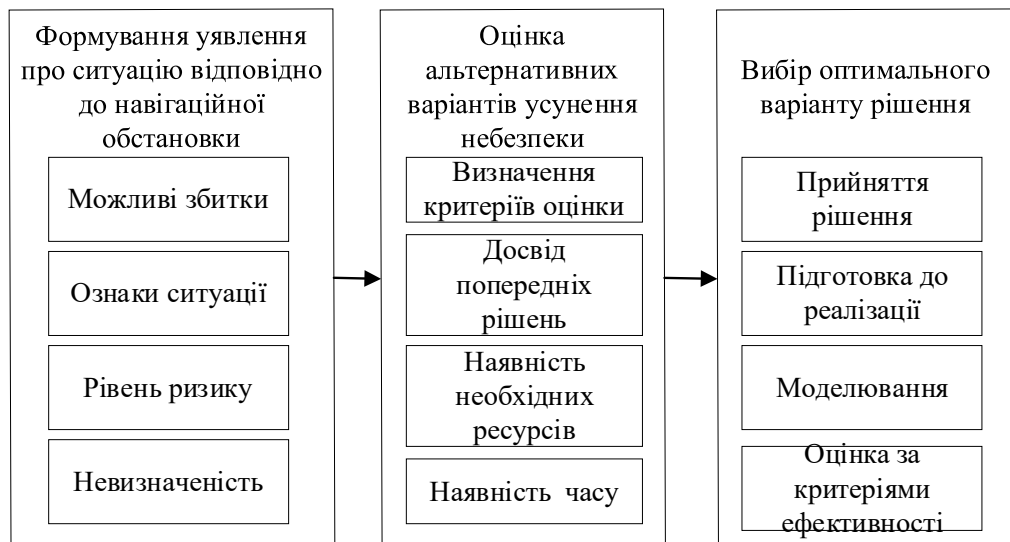


Рисунок 1.3 – Прийняття рішення судноводієм в умовах небезпечної ситуації

З рис. 1.3 видно, що мають місце елементи невизначеності при прийнятті рішення судноводієм під час руху судна. Між зростанням ступеня невизначеності та ймовірністю настання небезпечної ситуації є зв'язок, тому автоматизована система управління судном має включати методи прийняття рішень в умовах невизначеності. Судноводій оцінює результати реалізації кожної з можливих альтернативних варіантів рішень. На цьому етапі необхідно враховувати фактор часу та наявність необхідних ресурсів для їх реалізації. На етапі прийняття рішення, як правило, успішність залежить від знань та досвіду судноводія, набутих під час попередніх переходів судна.

При прийнятті рішення судноводій керується керівними документами, що регламентують його діяльність. При цьому, вони не можуть описати всю множину ситуації, що виникають на водних шляхах. Тому у небезпечних ситуаціях під час руху судна важливого значення набуває професійний досвід судноводія.

Робота судноводія протікає під впливом специфічних умов морської діяльності, що зумовлені характером навігаційної обстановки. У прийнятті рішення судноводієм необхідно відзначити те, що на адекватність його дій відповідно до вимог небезпечної ситуації рішення впливає його психологічна самооцінка. Провівши аналіз аварійних і небезпечних ситуацій, можна

відзначити, що основними факторами, що впливають на прийняття рішення судноводіями, є: наявний у нього час, його психофізіологічний стан, знання, сприйняття простору, увага.

З точки зору стилю роботи судноводія, прийняття ним рішення може характеризуватися як схильним до раціональності або до ризику. Причому, на стиль може впливати фактор часу. Роблячи висновок, можна зазначити, що судноводій, кожен раз приймаючи рішення, оцінює можливість його реалізації у часі в залежно від умов навігаційної обстановки.

З сукупності зовнішніх та внутрішніх факторів, що впливають на прийняття рішень, можна виділити ті що найбільше впливають на стан судноводія [35, 41, 52]:

Внутрішні фактори:

- високий рівень відповідальності судноводія;
- відсутність досвіду прийняття рішення у конкретній небезпечній ситуації;
- недостатній рівень кваліфікації для управління судном у заданих умовах навігаційної обстановки;
- висока інтенсивність психофізіологічних процесів;
- втома;
- пригнічений морально-психологічний стан судноводія.

Зовнішні фактори:

- дефіцит часу;
- неповнота інформації про навігаційну обстановку;
- погані гідрометеорологічні умови плавання;
- обмежені умови плавання;
- маневрені характеристики судна.

Важливо також враховувати динамічність зміни та нестабільність умов навігаційної обстановки, що зумовлює невизначеності та сприяє появі ризику при прийнятті рішення.

Діяльність судноводія у небезпечній ситуації необхідно моделювати з

урахуванням умов навігаційної обстановки, в якій виконується рух судна – очікуваних (коли дії судноводія регламентовані керівними документами) і неочікуваних (при відсутності чітких інструкцій щодо усунення небезпечної ситуації).

Аналіз літературних джерел [33, 41, 76, 82] показав, що при вирішенні питань безпеки судноплавства основна увага приділяється підвищенню рівня професійної підготовки судноводіїв. Узгодження елементів ергатичної системи "судноводій-судно" відповідно до їх можливостей та обмежень фактично не проводилось.

У будь-якій системі управління, крім інформаційних потоків, можна виділити об'єкти управління (судно) та органи управління (судноводій). Система управління відрізняється від будь-якої іншої наявністю цілей управління та зворотного зв'язку. Ергатична стійкість системи полягає у здатності виконувати встановлений мінімальний обсяг своїх функцій при відмовах в інформаційній, обчислювальній, енергетичній та біологічній елементах системи, а також під впливом зовнішнього середовища.

Цілі управління в системі управління визначається прогнозом розвитку ситуації. У разі системи управління судном – це плани маршруту переходу від початкового пункту до кінцевого пункту маршруту, а також витримування заданих параметрів безпеки руху судна.

У результаті проведеної декомпозиції ергатичної системи "судноводій-судно" отримана модель розвитку ситуації з урахуванням індивідуальних особливостей судноводія. З позицій системного підходу визначені фактори, що впливають на процес прийняття рішення: фактори професійного (рівень знань, навичок, умінь, стаж роботи, інтуїція) і непрофесійного (психофізіологічні, індивідуально-психологічні, соціально-психологічні фактори) характеру та досліджено вплив факторів непрофесійного характеру (соціально-психологічних) на професійну діяльність судноводія [57].

Процес діяльності судноводія у небезпечній ситуації та прийняття ним рішення зображено на рис. 1.4.

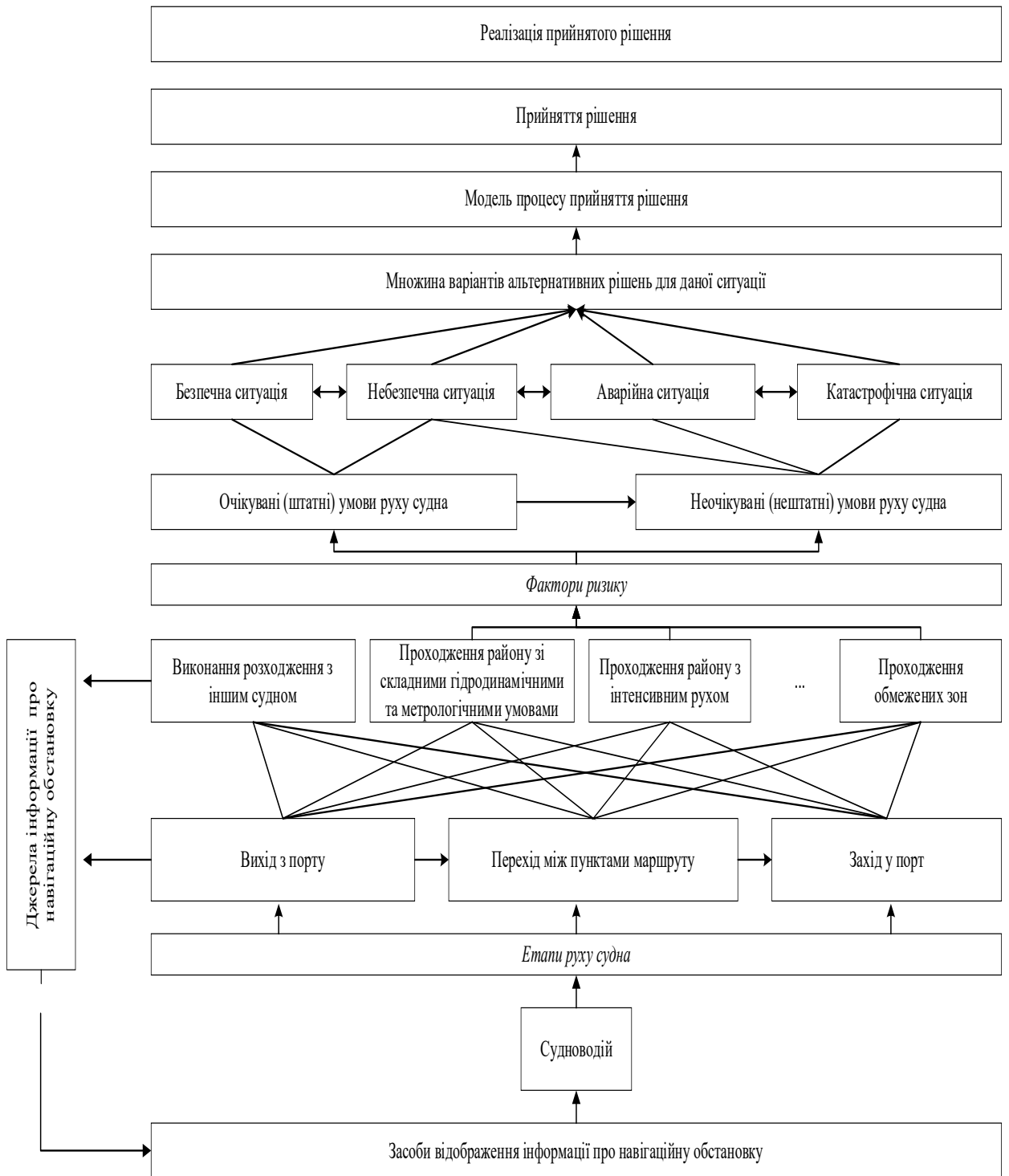


Рисунок 1.4 – Аналітична модель процесу прийняття рішення судноводієм

#### 1.4 Аналіз надійності ергатичної системи зі змінною структурою

Безпека морських перевезень є пріоритетним завданням розвитку водного транспорту. Її забезпечення присвячені роботи Вільського Г.Б. [69-70], Аксютіна Л.Р. [59], Істоміна В.І., [87], Дмитрієва В.І. [79], Мотрича В. Н [100], Вагущенко Л.Л. [59], Бужбецкого Р. Ю. [50], Беня А. П. [45]. та ін.

Обладнання ходового містка судна сучасними засобами автоматизації дозволить знизити рівень небезпеки та підтримати дії судноводія в умовах динамічної зміни навігаційної обстановки.

Основними причинами аварійних подій на морському та річковому транспорті, які сталися протягом 2020 року, є:

- неврахування судноводіями суден рекомендацій доброї морської практики та маневрених характеристик судна, а також невиконанням вимог підпунктів 1.2.2, 1.4, пунктів 6.5 та 8.2 резолюції ІМОА.741(18) (МКУБ) щодо несення вахтової служби та забезпечення ефективної підготовки екіпажу до дій у небезпечних ситуаціях, а також своєчасних та адекватних дій для забезпечення безаварійного плавання судна;

- незадовільна підготовка судна, у тому числі технічна, для плавання в обмежених умовах акваторії порту та під час плавання по річковим внутрішнім водним шляхам;

- порушення судноводіями Правил судноплавства на внутрішніх водних шляхах України, затверджених наказом Міністерства транспорту України від 16.02.2004 №91;

- судноводіями не забезпечується належна організація несення вахтової служби на ходовому містку та виконання екіпажом судна правил технічного обслуговування систем та механізмів судна;

- недотримання судноводіями вимог керівних документів в умовах обмеженої видимості;

- незадовільна підготовка екіпажу судна до дій в позаштатних ситуаціях. Судноводіями не враховується, у повній мірі, маневрені характеристики

судна та рівень оцінки ризику в обмежених умовах плавання (акваторії портів, канали, річкові умови тощо);

- відсутність у судноводіїв необхідних навичок управління судном у відповідній ситуації, яка базується на добрій морській практиці.

При розробці нових систем для підтримки дій судноводія одним з найбільш важливих критеріїв є безпека. Застосування нових підходів до розробки та вдосконалення суднового обладнання пов'язані з проблемою підвищення безпеки судноплавства. Аналіз статистики події на водному транспорті, як правило, не є наслідком прояву лише одного небезпечного чинника (однієї причини). Зазвичай вони відбуваються в результаті прояву і взаємозв'язку декількох з них. Але у більшості випадків супутніми причинами є дії (бездіяльність) судноводіїв. На сьогоднішній день частка подій та інцидентів на водному транспорті, викликаних помилковими діями судноводія, досі залишається неприпустимо високою. З цього можна зробити висновок, що вплив людського фактору на безпеку судноплавства буде тільки зростати. Це викликано розвитком суднової техніки, вдосконаленням маневрених характеристик суден та розширенням кола вирішуваних цільових завдань. Вони неминуче призведуть до того, що судноводій буде змушений практично миттєво оцінювати навігаційну обстановку та здійснювати відповідні управлінські дії, що підвищують інформаційне навантаження на нього.

Судноводії безпосередньо пов'язані з безпекою руху судна, тому їх помилки загрожують тяжкими наслідками. Помилки судноводіїв завдають великої матеріальної шкоди, а також загрозу здоров'ю і життю людей.

Однією з причин такої ситуації є недостатня увага проблемі узгодження характеристик технічного сегмента ергатичної системи "судноводій – судно" з можливостями судноводія, через недостатньо повне врахування людського фактору при проектуванні перспективних систем управління рухом судна.

Очевидно, що небезпека виникнення небезпечної ситуації, що обумовлені помилковими діями судноводія, залежить від його досвіду,

ступеня підготовки та психофізіологічних особливостей, які, змінюються у процесі його діяльності. На сьогоднішній день помилкові дії судноводіїв в теоретичному плані освітлені у наукових працях Булгакова А. Ю., Вагущенко Л. Л., Кожухова В. П., Кондрашихіна В. Т. та інших. Аналіз перерахованих вище робіт [52, 59, 78, 81] дозволяє визначити основні фактори, що впливають на діяльність судноводія.

Характеристика судноводія:

- психофізіологічні характеристики (можливості);
- рівень професійної підготовки та натренованості (рівень знань, умінь, навичок);
- особистісні якості (мотиваційні, вольові, емоційні).

При цьому необхідно зазначити, що психофізіологічний стан судноводія може динамічно змінюватися протягом нетривалого часу, та багато в чому залежить від зовнішніх факторів, переважно від змісту діяльності та складності.

2. Фактори навігаційної обстановки:

- час доби, видимість, гідродинамічні характеристики району плавання, сила вітру, район плавання;
- клас судна відповідно, пеленг, дистанція до судна, координати судна, курс, швидкість судна;
- критичність пошкоджень при зіткнення з навігаційною перешкодою, статус, категорія, вид зближення суден;

Сукупність та взаємодія цих факторів утворюють складну систему діяльності судноводія. Якщо будь-які елементи цієї системи за своїми характеристиками не відповідають заданим вимогам, то судноводій не в змозі успішно здійснювати свої професійні функції і помилкові рішення стануть для нього закономірним явищем.

У зв'язку з перерахованими обставинами проблема розробки автоматизованих систем, що реалізують в тому чи іншому вигляді функції підтримки прийняття рішення судноводієм і сприяють зниженню

інформаційного навантаження як при виконання типових завдань, так і в небезпечних ситуаціях, залишається однією з актуальних проблем створення перспективних систем управління судном.

Одним з можливих шляхів вирішення даної проблеми є створення і впровадження до складу судового обладнання систем та засобів підтримки прийняття рішення судноводієм. Використання систем даного класу дозволяє змінити інформаційне поле судноводія зі збереженням за ним функції управління, забезпечивши його при цьому додатковою інформацією, що забезпечить підтримку прийняття рішень з метою запобігання виникненню та розвитку небезпечної ситуацій в під час руху судна.

#### 1.5 Особливості розробки систем підтримки прийняття рішення судноводія в процесі управління рухом судном

Для ефективного функціонування ергатичної системи "судноводій-судно" необхідно вибирати раціональні способи взаємодії судноводія зі судовою технікою.

Особливості розробки перспективних автоматизованих систем управління судном полягають у тому, що психофізіологічні властивості судноводіїв повинні бути включені до параметрів (властивостей) системи управління.

Якщо функціонування системи управління судном відбувається в умовах невизначеності, то якість управління забезпечується якістю роботи судноводія.

Розробку СППР судноводія у процесі управління рухом можна поділити на чотири етапи:

- проєктування технічної складової системи;
- проєктування "людської складової";
- проєктування інтерфейсу взаємодії;
- визначення властивостей управління у процесі її функціонування.

Ускладнення систем управління судном викликає невідповідності характеристик технічних засобів можливостям судноводія. Основні труднощі пов'язані не тільки з покращенням технічних та програмних засобів, але і з недостатнім розвитком методів, що враховують індивідуальні особливості судноводія при створенні та експлуатації систем управління судном.

Компенсація помилкових (у першу чергу, ненавмисних, але також і навмисних) дій судноводія, які можуть привести до негативних наслідків для життя та здоров'я екіпажу та пасажирів, технічного стану судна, збитків вантажу. Тут необхідно враховувати такі особливості судноводія: можливість помилки, розосередженість уваги тощо. Рішення судноводія не мають сприйматися, якщо його дії, можуть привести до небезпечної ситуації під час руху судна. Контроль здійснює сама система і про ігнорування дій судноводія вона повинна сигналізувати. Подібні функції можливо реалізувати лише в автоматизованій системі із засобами інтелектуальної підтримки судноводія.

Формалізація психологічних аспектів логічних суджень судноводія у процесі вироблення ним рішень щодо попередження та усунення небезпечної ситуації, їх урахування їх в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішення потребує нових підходів. Проблема формалізації процесів та психологічних характеристик судноводіїв пов'язана зі спробами створення математичних моделей діяльності людини. Це обумовлено, перш за все необхідністю створення єдиної мови опису функціонування системи у цілому. Причому прийнято вважати, що розробка математичних моделей діяльності є одним з перспективних шляхів вирішення цієї проблеми.

Основний принцип побудови моделей полягає в тому, що результати, одержані за допомогою моделей, повинні відповідати експериментальними даними.

Також важливим є визначення обмежень у можливостях судноводія та систем управління судном для оптимального розподілу функцій між ними. Межі функціонування складних систем визначаються умовами і впливами,

що призводять до порушення їх функціонування. Порушення у діяльності судноводія є однією з проблем, що стоять перед проєктувальниками систем управління судна. При цьому необхідно уникнути можливості аварій (припинення функціонування) системи управління судном, причиною яких є порушення у діяльності судноводія.

Ступінь узгодженості елементів ергатичної системи "судноводій-судно" визначає ефективність її функціонування. Зрив функціонування характеризується нульовою і навіть негативною ефективністю.

Формалізація основної послідовності діяльності судноводія у залежності від ситуації, що склалася і рекомендації йому оптимального (за якимось критерієм) рішення також є складним завданням, що потребує нових підходів до його вирішення. Визначення психологічних характеристик судноводія й їх діапазонів для забезпечення комфортної взаємодії між ним та судовими системами, потребує використання сучасних технологій.

На сьогодні інтерфейси взаємодії судноводія з судовими системами представляють собою складний комплекс, що включає різні компоненти: планування, інформування та управління взаємодією; формалізацію представлення інформації, інтерпретацію повідомлень; збір та обробку даних і прийняття рішення; забезпечення надійності та ін.

Основною тенденцією перспективного розвитку та вдосконалення засобів взаємодії є створення адаптивних інтелектуальних систем, які враховують оптимальний розподіл навантаження між автоматизованою системою управління судном та судноводієм.

При розробці складних систем управління судном найбільш відповідальним етапом є процес прийняття рішення про доцільність того чи іншого нововведення та обґрунтування напрямків та методів наукових досліджень. Основною метою діяльності на цьому етапі є зниження невизначеності та ступеня ризику, пов'язаних з впровадженням дорогих нововведень, спрямованих впровадження людино-машинних систем управління на всіх стадіях її життєвого циклу [32, 68, 132].

Розробка СППР судноводія в системах управління судном потребує застосування системного підходу:

- визначення зв'язків та властивостей всіх елементів ергатичної системи "судноводій-судно";

- визначення компромісу між "судном – судноводієм – навігаційною обстановкою" для оптимізації основної цільової функції всієї системи;

Незважаючи на взаємодію судноводія та судна (через судові системи), кожна з таких складових ергатичної системи має власні властивості, принципи та закономірності свого функціонування. Необхідно також звернути увагу, що судноводію важко виконувати свої обов'язки як при дефіциті, так і при надлишку часу та інформації.

При розробці систем управління судном, необхідно враховувати те, що судноводій повинен безперервно брати участь в її функціонуванні на рівні, що відповідають можливостям на поточний момент часу.

#### 1.6 Аналіз сучасних підходів до розробки систем підтримки дій судноводія

На даний момент існують підходи щодо формування та модифікації інформаційного поля судноводія з метою вирішення завдання підтримки прийняття рішення та його дій, які можна розділити на дві основні групи:

1) підходи, в яких модифікація інформаційного поля відбувається за рахунок "доповненої реальності";

2) підходи, в яких модифікація інформаційного поля відбувається шляхом формування рекомендації судноводію, що забезпечують підтримку прийняття ним рішень під час управління судном.

Перший з вищеназваних підходів базується на створенні інтерфейсів людино-машинних систем, який полягає у розширенні можливостей сенсорних систем судноводія. На судні цей функціонал дозволяє реалізовувати опції вказівки, відображення та супроводу судна-потенційної

загрози у процесі виконання маневру розходження. Таким чином можна говорити про те, що застосування систем даного класу дозволяє в тій чи іншій мірі вирішити два основні завдання:

- 1) забезпечити зниження інформаційного навантаження на судноводія у процесі управління судном;
- 2) забезпечити формування додаткового управлінського впливу, яке істотно спрощує для судноводія процес управління судном.

Одним з важливих напрямків вдосконалення систем інформаційної підтримки судноводія на основі засобів доповненої реальності є розробка апаратно-програмних комплексів, які розширюють інформаційне поле, що сприймається сенсорами судноводія. За функціональними характеристиками системи поліпшеного бачення можна розділити на три базових класи.

Системи поліпшеної візуалізації формують покращене відображення навігаційної обстановки і відображають його на індикаторах або багатофункціональному дисплеї.

Системи синтезованого бачення, крім покращення відображення навігаційної обстановки, візуалізують дані про гідрометеорологічні умови плавання. Завдяки цьому судноводій краще інформований про навколишні обмеження викликані умовами навігаційної обстановки, що дозволяє йому з більшою ефективністю діяти в разі необхідності маневру ухилення від навігаційної обстановки.

Системи автоматизованого бачення можуть автоматизувати виявлення фарватерів та інших об'єктів при заході у порт, а також виявлення потенційно навігаційних перешкод під час руху судна.

Наступним важливим напрямком в області розробки систем підтримки дій судноводія з використанням технологій "доповненої реальності" є системи командного інтерфейсу. Такі системи реалізують можливість сприйняття команд судноводія, що віддаються голосом. Після попередньої обробки такі команди по судновим каналам зв'язку команди передаються відповідним системам суднового обладнання, які забезпечують їх виконання.

Системи формування рекомендацій судноводію, що забезпечують підтримку прийняття рішень, виконують розширення інформаційного поля за рахунок формування рекомендації на основі аналізу поточної навігаційної обстановки шляхом паралельної, по відношенню до судноводія, обробки даних з використанням алгоритмів, що імітують його роботу. Використання такого підходу також передбачає збереження за судноводієм функції керівної ланки та можливості невтручання в його діяльність при відсутності загрози виникнення і розвитку небезпечної ситуації.

В області створення систем, що забезпечують підтримку прийняття рішень, склалося кілька різних підходів. У цілому такі системи використовують в якості основи різні методи, що описують дії судноводія, які в найзагальнішому випадку можна об'єднати в дві великі групи:

- 1) суднові інформаційно-експертні системи, що використовують у тому чи іншому вигляді апріорну інформацію;
- 2) суднові інформаційні системи, засновані на моделях діяльності судноводія.

Суднові інформаційно-експертні системи в якості ядра можуть використовувати алгоритми нечіткої та багатозначної логіки, нейронні мережі, нечіткі моделі та інші методи імітації штучного інтелекту. Інформаційну основу таких систем становить база знань. Вона використовує апріорну інформацію про поточну навігаційну обстановку та поточні дані, що надходять від судових джерел інформації. В базі знань формуються правила, що описують поточний стан системи "судноводій-судно", компоненти якого визначаються на основі експертних оцінок. В якості експертів можуть, виступати досвідчені судноводії. Формування рекомендацій у таких системах реалізується на основі правил [16], повнота і несуперечність яких визначається за допомогою імітаційного моделювання, проведеного спільно з експертами. Найбільшого поширення на теперішній час отримали системи, засновані на методах нечіткої логіки, штучних нейронних мереж, механізмі прецедентів.

У системах, заснованих на методах нечіткої логіки, використовуються механізми, засновані на наборах продукційних правилах. У розробленій системі правил ситуаційному вектору, що описує через параметри поточний стан системи, ставиться у відповідність найбільш адекватна ситуація з кінцевого набору типових ситуацій. На практиці продукційні правила будуються на основі інформації, отриманої в результаті інтерв'ювання експертів або результатів дослідження імітаційних моделей. У першому випадку математична модель системи та результати її дослідження знаходяться у свідомості експерта та формалізуються в деяку сукупність правил у процесі бесід з ним.

Проте, результативні на практиці, правила будуються на основі імітаційних моделей. Суть цього підходу полягає у тому, що для деякої типової ситуації, стан якої описується імітаційною моделлю, координати якого приймають тільки кількісні значення, формується математична модель, що містить:

- множину допустимих способів дій;
- механізми зв'язку кожної дії з результатом впливу цієї дії на розвиток типової ситуації та її результат;
- механізм оцінки кожного результату.

У процесі функціонування системи, з використанням методів синтезу оптимального управління, вирішується отримана оптимізаційна задача. Метою їх розв'язання є визначення найкращого (оптимального за критерієм оцінки якості) набору дій в обраній типовій ситуації.

Для ряду завдань, що вирішуються у процесі управління рухом судна, можна виділити типові ситуації, складність яких не дозволяє сформулювати для них адекватні оптимізаційні математичні моделі. У разі, якщо для них відомий деякий набір альтернативних способів дій та множини критеріїв оцінки результату реалізації кожної альтернативи, то зазвичай застосовуються методи багатокритеріального вибору альтернатив. Слід зазначити, що при такому підході для реалізації конкретної типової ситуації,

можлива певна адаптація кожної альтернативи й оперативна переоцінка критеріїв важливості. Одним з найбільш популярних підходів до розв'язання даної задачі є метод парних порівнянь [29].

Системи, засновані на методах багатокритеріального вибору альтернатив, зазвичай застосуються такий механізм виведення:

- на основі поточної інформації, яка описує типову ситуацію і допустимі альтернативи її вирішення, генерується повний набір допустимих альтернатив. Для кожної альтернативи розраховуються числові значення кожного критерію. Таким чином, кожна альтернатива описується вектором, координати якого є числовими значеннями критеріїв. Сформовані на основі цих даних матриці парних порівнянь альтернатив для кожного критерію дозволяють визначити найбільш ефективний для вирішення типової ситуації.

Системи, засновані на механізмі прецедентів, використовуються у випадках, коли складність типових ситуацій не дозволяє провести їх конструктивну формалізацію. Але при цьому існує певний досвід успішного вирішення завдання формування вектору ознак ситуації, як за кількістю його компонент, так і за формою їх представлення. Повнота опису ситуаційного вектору і зв'язок конкретного вектору з конкретним прецедентом встановлюється при тривалій роботі з експертами. Так як ознаки ситуаційного вектору найчастіше представляють собою лінгвістичні змінні і / або нечіткі множини, то механізми виведення для таких ситуацій засновані на теорії нечітких множин та нечіткої логіці [21]. Такий підхід заснований на використанні різних алгоритмів, в основі яких можуть лежати: алгоритми композиційного правила нечіткого виведення Заде; нечітке логічне виведення Мамдані; нечітке логічне виведення Такагі-Сугено. У [71] під лінгвістичною змінною розуміється, змінна яка приймає значення на множині термів – висловлювань природної мови. При цьому кожен терм описується своєю функцією приналежності, яка і забезпечує перехід від числового значення до лінгвістичного, за допомогою визначення терма з максимальним значенням функції приналежності. Безпосередній вибір найбільш

прийняттого у даній ситуації, описаної вектором лінгвістичних змінних, рішення здійснюється на основі нечітких правил.

Крім описаних вище підходів, інформаційно-експертні системи можуть використовувати в якості основи алгоритми, засновані на методах штучних нейронних мереж. Під штучної нейронної мережею прийнято розуміти математичну модель, що являє собою систему з'єднаних і взаємодіючих між собою простих процесорів – елементарних одиниць обробки інформації, що накопичують експериментальні знання і надають їх для подальшої обробки [92, 103]. Теорія штучних нейронних мереж заснована на сучасних уявленнях про структуру та роботу центральної нервової системи людини [107]. При використанні нейромережевого підходу поняття бази знань і експертної оцінки замінюються безпосередньо самою штучною нейронною мережею і навчальною вибіркою, що використовується для визначення параметрів мережі. Під навчальною вибіркою розуміють сукупність прикладів, в якій кожному набору вхідних змінних протиставляється відомий набір вихідних. На основі навчальної вибірки з використанням спеціальної групи методів, відомих як алгоритми навчання нейронної мережі, визначається її структура і значення параметрів.

У процесі роботи на вхід навченої мережі подаються поточні компоненти вектору стану системи "судноводій-судно". Результатом роботи мережі є значення набору вихідних сигналів, які описують типові дії для вирішення поточного завдання під час руху судна. Такий підхід дозволяє говорити, про те, що якщо для навчання мережі використовуються дані, отримані у процесі попередньої діяльності судноводія, то рекомендації, що видаються йому, засновані, по суті, на його попередньому досвіді вирішення подібних завдань.

## Висновки за першим розділом

Аналіз методів формалізації, оцінки надійності та оптимізації взаємодії елементів в ергатичній системі "судноводій – судно" дозволяє встановити такі факти:

1. Рішення завдання мінімізації аварій на водному транспорті необхідно починати з формування моделі ергатичної системи управління процесом руху судна, яка повинна містити у собі адекватно задані інженерно-технічні характеристики судна, модель навігаційної обстановки та індивідуальні особливості судноводія.

2. Врахування множини різнорідних факторів навігаційної обстановки, що впливають на судноводія та судно, можливо тільки на основі застосування нових підходів, заснованих на тезі про те, що найбільш важливим елементом системи є судноводій, а програмно-технічні та інформаційні елементи лише є засобами автоматизації його діяльності.

3. Проведено аналіз можливих ризиків при управлінні судном у небезпечній ситуації. Визначено перелік етапів прийняття рішень судноводієм у складній навігаційної обстановці. На основі розробленої моделі визначено порядок аналізу прийняття рішень судноводієм і розроблена схема прийняття рішень. Визначено внутрішні та зовнішні фактори, які впливають на прийняття рішень судноводієм. Визначено, що судноводій приймає рішення, виходячи з професійного досвіду і суб'єктивної оцінки складності навігаційної ситуації.

4. Опис і оцінювання надійності алгоритмів діяльності судноводіїв, а також вибір варіантів розподілу функцій зручно проводити з використанням принципів і методів функціонально-структурної теорії ергатичних систем, що дозволяють за допомогою єдиних методологічних принципів враховувати особливості різноманітних елементів систем обробки інформації та управління, таких як судноводій, судно, навігаційна обстановка.

В існуючих наукових підходах для формалізації систем "судноводій – судно – навігаційна обстановка" не передбачено можливості врахування специфічних особливостей полієргатичних систем обробки інформації та управління.

5. Необхідність формування вхідних даних для завдання оцінювання та оптимізації елементів ергатичної системи "судноводій – судно" потребує вдосконалення наукових підходів до опису систем "судноводій – судно – навігаційна обстановка" шляхом додавання нових моделей, що дозволять повністю її описати. Виявлено невирішені завдання автоматичного аналізу функціональних стану, що описують алгоритми діяльності судноводія, та визначення залежностей надійності для випадку необхідності врахування помилок різних типів.

5. Автоматизація та взаємодія елементів системи "судноводій – судно – навігаційна обстановка" є основним підходом підвищення рівня безпеки судноплавства та ефективності морських перевезень.

Таким чином, незважаючи на впровадження на морському транспорті сучасних інформаційних і навігаційних систем, судноводій є однією з основних ланок складної ергатичної системи і залишається актуальним завданням аналізу експлуатаційної надійності як технічної частини судового навігаційного комплексу, так і судноводія, як експлуатанта інтелектуальних технічних радіонавігаційних та інформаційних систем (ГНСС, АІС, ЕКНІС) в умовах дії негативних факторів і зовнішніх впливів під час рух судна.

## РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОДАННЯ ЗНАНЬ ПРО ДІЇ СУДНА-ПОТЕНЦІЙНОЇ  
ЗАГРОЗИ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ  
НА ХОДОВОМУ МІСТКУ

Одним з основних напрямків досліджень з питань створення систем підтримки прийняття рішення (СППР) є розробка методів, пов'язаних з поданням знань у цих системах [3, 10, 13, 20, 28]. У даних дослідженнях вивчаються джерела, з яких можна отримувати знання, розробляються методи і способи отримання і формалізації знань, створюються моделі і мови їх подання, виділяються типи знань. Під поданням знань про дії судноводія судна-потенційної загрози розуміють сукупність методів, способів, форм і моделей структурування, відображення і формалізації цих знань [90]. Їх основу складають аналіз існуючих джерел, методів і форм отримання та подання знань, побудова моделі процесу отримання узагальнених характеристик судна-потенційної загрози на базі знань про можливі дії його судноводія в небезпечній ситуації. При цьому враховуються властиві даному процесу особливості та розробляються правила формування зазначених характеристик.

Впровадження автоматизованих систем управління судном на ходовому містку дозволило удосконалити процес прийняття рішень з оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози. У першому розділі досліджена діяльність судноводія при оцінці дій судноводія судна-потенційної загрози (судна-загрози), і були встановлені фактори, що впливають на ефективність прийняття рішень. Отримані результати показали, що при проектуванні автоматизованих систем управління судном, як правило, застосовується системотехнічний підхід [45, 61, 83]. У кращому випадку характеристики та обмеження, властиві людині, враховувалися при проектуванні інформаційних моделей і систем введення інформації в систему управління. При цьому враховуються в основному лише психофізіологічні параметри людини.

Подальшим напрямком удосконалення системи управління судном є введення до її структури СППР. Це дозволить розвинути управлінські інформаційні системи до високого ступеня інтелектуалізації діяльності судноводія при прийнятті рішень в ситуаціях небезпечного зближення (зіткнення), що характеризуються високою складністю, невизначеністю і слабкою структурованістю [20, 25, 43].

Концептуальною основою проектування сучасних систем управління судном, що мають у СППР, повинен бути антропометричний підхід [100].

Система управління судном, на яку передбачається покласти рішення інтелектуальних завдань оцінки дій судноводія судна-загрози, визначає необхідність дослідження інтелектуальної діяльності судноводія, використання результатів досліджень з когнітивної психології і аналіз процесу і методів вирішення завдань оцінки дій судноводія судна-загрози при проектуванні систем управління судном. Отримані результати такого дослідження можуть бути покладені в основу методів формалізації знань про процеси вирішення розглянутих завдань.

Центральним елементом систем управління з використанням СППР, є база знань, яка формується на основі вилучення експертних знань щодо вирішення завдань у процесі управління судном. При цьому використання СППР передбачає використання поряд зі знаннями, також інформаційних методів розв'язання окремих завдань оцінки навігаційної обстановки.

СППР має володіти властивостями адаптації та навчання, які характеризують судноводія в процесі його діяльності. Відмінність СППР від АСУ поширюється і на методичний апарат, який використовується при виборі проектних рішень. При проектуванні АСУ застосовувалися математичні методи і моделі дослідження операцій, що базуються на теорії ймовірностей, математичній статистиці, теорії ігор, методи оптимізації і т. д. Обробка експертних знань, вимагає застосування нового математичного апарату формальної логіки і теорії нечітких множин. Це, в свою чергу, визначає необхідність вибору моделі подання знань, що дозволяють спільне

використання когнітивних і обчислювальних підходів до вирішення завдань оцінки дій судноводія судна-загрози.

Сучасні СППР побудовані на новій технологічній базі, що у свою чергу, дозволяє розробляти і використовувати в системах управління реального часу когнітивні методи вирішення завдань.

Грунтуючись на результатах дослідження діяльності судноводія при оцінці ССПЗ і з огляду на антропоцентричний підхід до автоматизації процесів інформаційного забезпечення його діяльності, необхідно автоматизувати рішення таких завдань:

- оцінка ситуації, відповідно до навігаційної обстановки в межах відповідальності судноводія;
- оцінка дій ССПЗ в ситуації небезпечного зближення (зіткнення).

У свою чергу, використання системного підходу для підвищення оперативності процесу оцінки дій ССПЗ, визначає необхідність розробки методу формування баз знань, який би відповідав інтелектуальній діяльності судноводія, і враховував не тільки системотехнічний підхід, але й психологічні особливості його діяльності.

## 2.1 Постановка завдання по розробці методів для інформаційної підтримки прийняття рішень на ходовому містку

Аналіз процесу оцінки дій ССПЗ та оцінки навігаційної обстановки, показав, що рішення часткових завдань оцінки розподілені між СУРС і судноводієм, як показано на рис. 2.1.

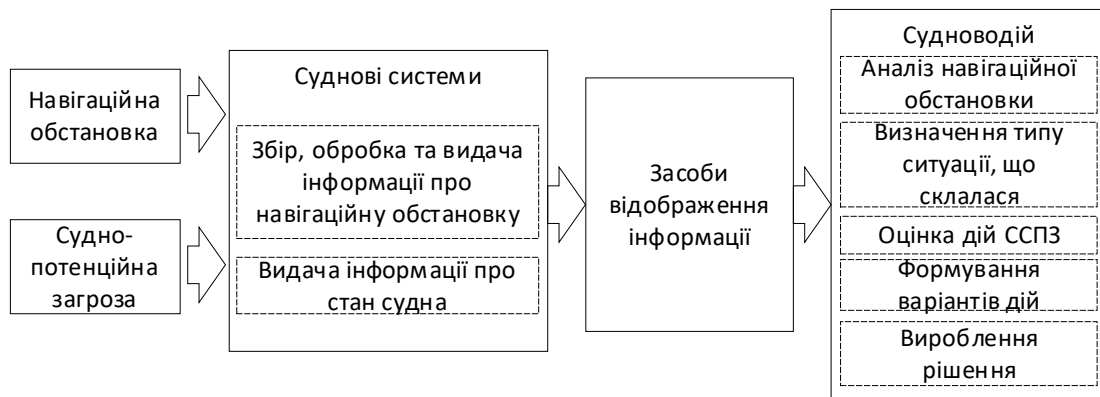


Рисунок 2.1 – Розподіл завдань оцінки навігаційної обстановки та дій судноводія судна-потенційної загрози між засобами автоматизації та судноводієм

Таким чином, зміна принципів побудови СУРС з використанням нових інформаційних технологій не змінили ні принципової структури системи інформаційного забезпечення оцінки дій ССПЗ, ні розподілу завдань, пов'язаних з оцінкою навігаційної обстановки між засобами автоматизації та судноводієм (рис. 2.2).

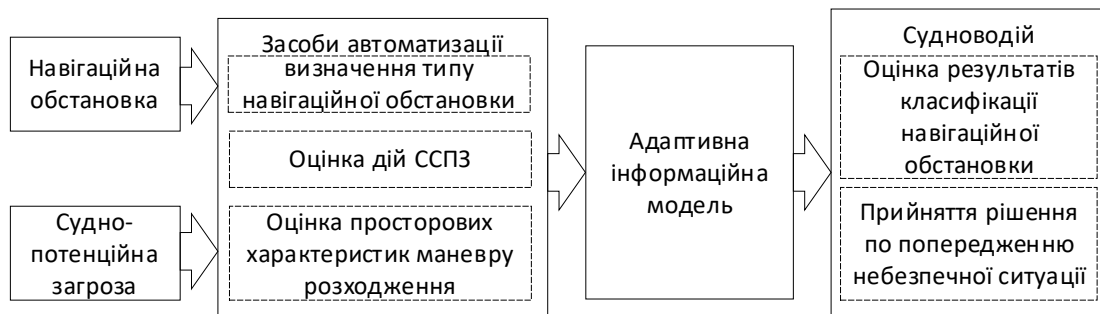


Рисунок 2.2 – Розподіл завдань оцінки навігаційної обстановки та дій судноводія судна-потенційної загрози між засобами автоматизації та судноводієм

Автоматизація процесу оцінки ССПЗ та навігаційної обстановки можлива в разі передачі частини завдань оцінки від судноводія до засобів автоматизації. Такий шлях вдосконалення інформаційного забезпечення процесу оцінки ССПЗ судноводієм призводить до необхідності розробки

методів автоматизованого рішення задач оцінки навігаційної обстановки та ССПЗ, а також зміни структури СППР.

Процес оцінки навігаційної обстановки та ССПЗ можна уявити як обробку даних, що характеризують розглянуту предметну область. Це дозволяє судноводію класифікувати навігаційну обстановку та оцінити дії ССПЗ в ситуації небезпечного зближення (зіткнення) (рис. 2.3).

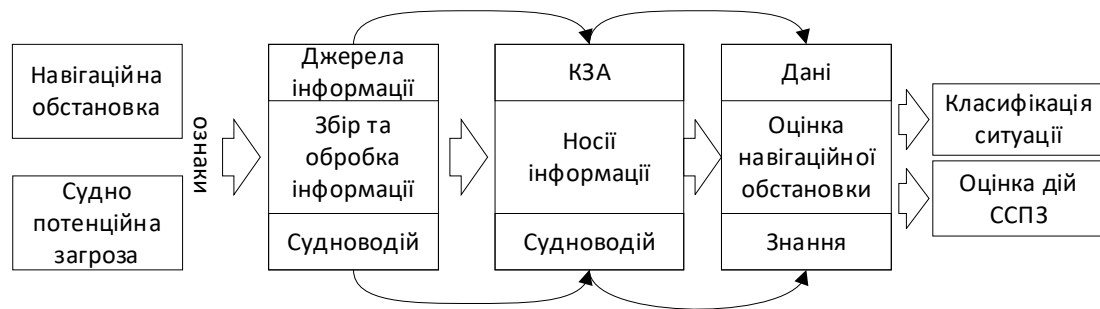


Рисунок 2.3 – Структура процесу прийняття рішення щодо оцінки навігаційної обстановки та дій судноводія судна-потенційної загрози

Такі завдання, як оцінка навігаційної обстановки і ССПЗ, мають властивості задач розпізнавання [49, 61, 66]. Для них характерно встановлення відповідності поточного стану об'єкту (процесу, явища, ситуації) одному з заздалегідь визначених станів за відомою інформацією про властивості ознак, що характеризують даний об'єкт (процес, явища, ситуації).

Для вирішення завдань розпізнавання навігаційної обстановки та дій ССПЗ необхідно використовувати і знання про властивості процесу вирішення цих завдань. Це визначає необхідність розробки методів формалізації знань про процеси вирішення завдань розпізнавання навігаційної обстановки і ССПЗ.

Вихідною інформацією для вирішення цих завдань є:

- інформація про навігаційну обстановку;
- знання про принципи зміни ситуації і дій ССПЗ в ситуаціях

небезпечного зближення (зіткнення);

- знання про правила попередження ситуацій небезпечного зближення (зіткнення);

- знання про маневрені можливості та дані про характеристику руху судна-потенційної загрози.

При розробці даного методу формалізації знань про процеси оцінки дій ССПЗ для інформаційної підтримки прийняття рішень на ходовому містку судна будуть враховуватися такі обмеження і допущення:

- використовується інформація про навігаційну обстановку, що надійшла від джерел, які забезпечують її згладжування, ототожнення і об'єднання з точносними характеристиками відповідних судових засобів радіолокації та радіонавігації;

- питання, пов'язані з методами формалізації даних, вважаються вирішеними і в роботі не розглядаються [28, 45, 47];

- питання перевірки повноти та несуперечності розробленого методу формалізації знань вважаються вирішеними;

- ССПЗ діє цілеспрямовано, при цьому він намагається мінімізувати свої втрати та збитки і керується набутим досвідом судноводіння.

Використання розробленого методу формалізації знань направлено на можливість отримання додаткової інформації про навігаційну обстановку і діях ССПЗ. Отримання додаткової інформації дозволить розширити ряд інформаційних ознак, що, у свою чергу служить інформаційною основою для розробки методу синтезу інформаційних моделей для інформаційної підтримки процесів прийняття рішень.

На рис. 2.4 представлений логічний взаємозв'язок запропонованого методу в загальній структурі розроблених методів для вирішення поставленого в роботі наукового завдання.

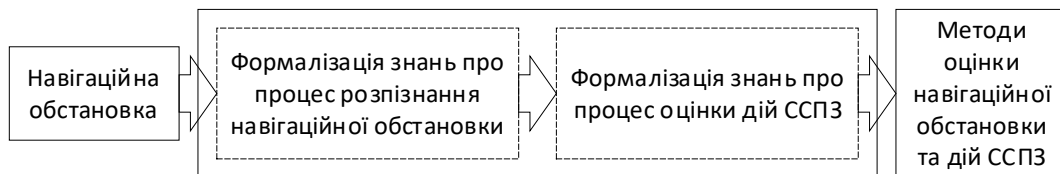


Рисунок 2.4 – Формалізація знань про дій ССПЗ та оцінки навігаційної обстановки для інформаційної підтримки прийняття рішення судноводієм

## 2.2 Розробка моделі процесу формування прогнозу можливих маршрутів руху судна-загрози на основі знань про дії судноводія у небезпечній ситуації

На основі аналізу побудови СППР судноводія, можна зробити такі висновки:

1. На етапі підготовки судна та екіпажу до попередження небезпечної ситуації джерелами апріорних знань про дії ССПЗ та характеристики судна-потенційної загрози можуть бути директивні, довідкові документи та настанови (об'єктивні джерела апріорних знань) та емпіричні знання судноводіїв (суб'єктивні джерела апріорних знань). Перераховані джерела апріорних знань і способи їх обробки наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика джерел знань про дії ССПЗ і способів їх обробки

Типи джерел	Джерела апріорних знань	Способи обробки знань
Об'єктивні джерела знань	Директиви, накази, розпорядження, керівництва, настанови, інструкції, вказівки, довідники, інформаційні бюлетені, видання періодичної преси	Аналіз інформації
Суб'єктивні джерела знань	Емпіричні знання та досвід судноводія	Протокольний аналіз Інтерв'ювання

В небезпечній ситуації джерелами інформації про ССПЗ для судноводія є радіолокаційні та радіонавігаційні засоби, автоматична інформаційна система (АІС), візуальний контроль. Дані джерела побудовані на відмінних один від

одного фізичних принципів та володіють неоднаковими характеристиками точності та повнотою (складом) відомостей про ССПЗ. Визначимо ці дані як поточні для процесу отримання узагальнених характеристик ССПЗ.

### 2.3 Аналіз моделі роботи судноводія судна-потенційної загрози в "небезпечній ситуації"

Побудову моделі роботи судноводія в "небезпечній ситуації" для задач, що розв'язуються в умовах невизначеності, можливо виконати за допомогою понять нечіткої множини і лінгвістичної змінної. У випадках, коли інша інформація, крім нечіткої, недоступна, завдання строгих обмежень або штучне введення однозначності означають, як усереднення вихідних даних сприяє отриманню неточного результату. Тоді в задачі прийняття рішення судноводієм в умовах "небезпечної ситуації" можна виділити такі найбільш важливі види невизначеності [32] (рис. 2.5).

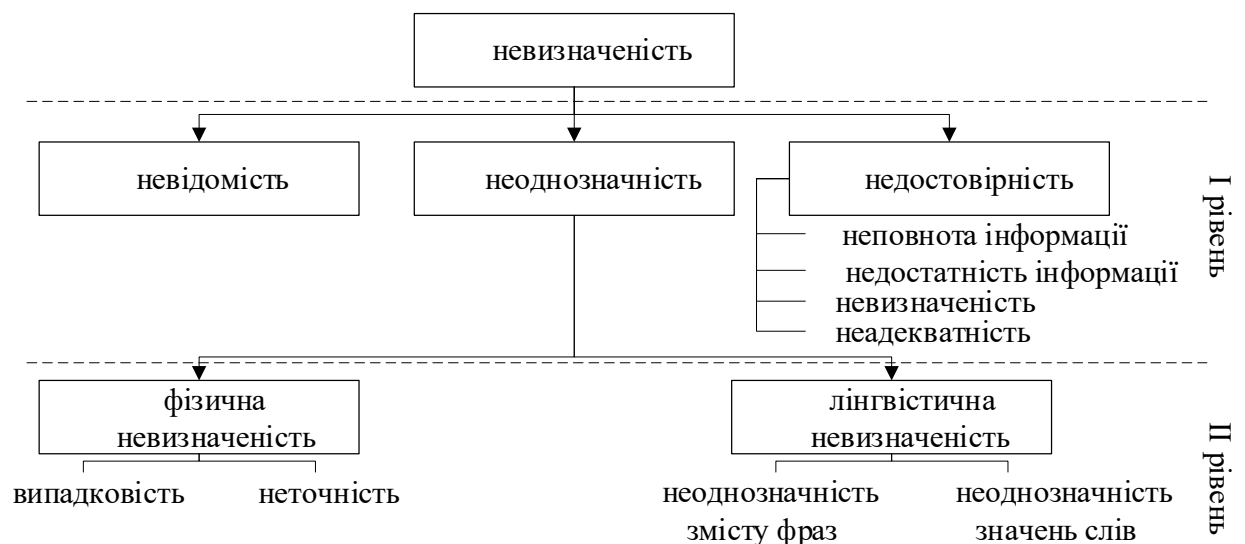


Рисунок 2.5 – Види невизначеності опису завдань

Перший рівень представленої класифікації характеризує кількість відповідної інформації про елементи навігаційної обстановки та стану судна.

У ситуації невідомості інформація практично відсутня. У процесі збору інформації про навігаційну обстановку на певному етапі може виявитися, що зібрана ще не вся можлива (неповна) або не вся необхідна (недостатність) інформація. Для деяких елементів визначені не точні характеристики, а лише множини, яким ці описи належать (невизначеність). Ряд елементів процесу прийняття рішення описаний лише за аналогією з задачами, які судноводій вже вирішував раніше, але вони лише "заміщують" опис (неадекватність). В подальшому збір інформації та визначення навігаційної обстановки може підвищити ефективність прийняття рішення, але це потребує часу, що є обмеженим ресурсом.

Другий рівень описує джерела (причини) можливої невизначеності, якими є навколишнє середовище (фізична невизначеність) і професійна мова (лінгвістична невизначеність).

У небезпечній ситуації інтерес представляє лінгвістична невизначеність, яка обумовлюється необхідністю оперувати кінцевою кількістю слів та обмеженою кількістю структур фраз для опису за кінцевий час множини різноманітних ситуацій, що виникають під час руху судна. Лінгвістична невизначеність породжується, з одного боку, множинністю значень слів (понять та відносин) мови, а, з іншого, неоднозначністю сенсу фраз.

Для переходу з небезпечної ситуації в безпечну доцільно виконати такі дії:

- провести аналіз ситуації в умовах невизначеності, а саме, провести певними способами її оцінку у вигляді визначення загроз з боку факторів зовнішнього середовища та відповідних ним ризиків;

- на підставі проведеного аналізу та отриманої оцінки загрози необхідно прийняти рішення, а саме, здійснити вибір декількох із запропонованих альтернатив.

Живучість судна є основним критерієм оцінки ефективності роботи судноводія в небезпечній ситуації. Тому аналіз ситуацій доцільно проводити на основі стану тих факторів навігаційної обстановки, які мають

першочерговий прямий і непрямий негативний вплив на властивість живучості судна у небезпечній ситуації.

Неправильна оцінка дій ССПЗ (несприйняття їх як загрози), неадекватні дії, як правило, ведуть до розвитку небезпечної ситуації або до появи нової небезпечної ситуації.

Обставини, що викликані умовами навігаційної обстановки, такі, як недостатній рівень психологічної готовності судноводія, створюють для судноводія труднощі та вводять його у стресовий стан. У даному стані судноводій може неадекватно оцінити ситуацію, що є загрозою безпеці руху судна. Тому в роботі судноводія небезпечною ситуацією є сукупність станів навігаційної обстановки, які викликають у нього стресовий стан та ставлять нерозв'язні (або складні для розв'язання) завдання.

Інтерактивні процеси, що відбуваються між елементами системи "судноводій у ситуації", визначаються причинно-наслідковими зв'язками, що існують між ними. Ці причинно-наслідкові зв'язки обумовлені, зокрема, такими [33]:

- стан системи "судноводій у ситуації" визначається взаємним впливом судноводія та навігаційної обстановки;

- професійне середовище перетворює в оперативну ситуацію як безперечно існуючу об'єктивну реальність, яка ставить судноводія в певні умови;

- судноводій у контексті оперативної ситуації діє не пасивно та не інертно сприймає зовнішні обставини і їх прояви;

- професійне середовище діє через внутрішній стан судноводія.

Дії ССПЗ у небезпечній ситуації не завжди відповідають його професійним компетентностям. Це обумовлено особистими якостями конкретного судноводія, який сприймає й оцінює навігаційну обстановку. Як наслідок, навігаційна обстановка, включаючи місце судноводія в ній, завжди є об'єктивно-суб'єктивним феноменом. Ситуація при схожих умовах навігаційної обстановки може сприйматися одним судноводієм як нормальна,

а іншим – як небезпечна. Тому:

- ССПЗ у небезпечній ситуації – це активний елемент, що має можливість впливати на ситуацію;

- дії ССПЗ змінюють навігаційну обстановку;

- характер дій ССПЗ визначається процесом його взаємодії з навігаційної ситуацією. Внутрішнє відображення ситуації і відповідні реакції, сукупність психічних процесів, які обумовлюють дії ССПЗ – сукупний результат, основою якого є індивідуальні особливості, психологічна готовність до будь-якої ситуації і активність, яка визначається свідомістю ССПЗ;

- у будь-якій ситуації ССПЗ діє, в першу чергу, як особистість, яка визначається цілісною сукупністю її індивідуальних особливостей, а його особисті відповідні реакції на зміну навігаційної обстановки безпосередньо залежать від цих особливостей.

#### 2.4 Аналіз судових джерел інформації щодо можливості оцінки дій судоводія судна-потенційної загрози

Прогнозування дій ССПЗ можливо лише за інформацією про судно-потенційну загрозу, що надходить від судових джерел інформації. Тому необхідно проаналізувати судові джерела інформації про параметри руху СПЗ та їх точнісі, і визначити їх можливості.

Збір та обробка інформації про СПЗ виконується різнорідними джерелами інформації, які наявні на судні. Відповідно до вимог SOLAS-74, всі судна оснащуються відповідним навігаційним обладнанням, що залежать від водотоннажності та типу судна. Проте на судні також встановлюють спеціальні технічні засоби та автоматизовані системи, що дозволяють зі встановленою періодичністю отримувати дані про місцезнаходження і параметри руху інших суден. Судно може обладнуватися РЛС із системою САРП, приймачами АІС. Наявність такої кількості технічних засобів дозволяє здійснювати моніторинг навігаційної обстановки в реальному масштабі часу, виконувати пошук і

виявлення судна-потенційної загрози, визначити параметри та здійснити прогноз їх руху, визначити характер дій ССПЗ. Сумісна обробка інформації від всіх перерахованих вище джерел дозволяє отримати повну інформацію про параметри руху судна-потенційної загрози.

Різні джерела інформації видають судноводію інформацію про СПЗ у різних системах координат: у полярній (пеленг та дистанція) і в географічній (географічна широта, географічна довгота). Кожен тип джерела інформації має різну точність і періодичність видачі інформації. Порівняльні дані за джерелами інформації наведені в табл. 2.2 – 2.3.

Таблиця 2.2 – Види навігаційної інформації, що отримується від судових джерел інформації

Ознаки навігаційної обстановки	Суднові джерела інформації		
	РЛС	АІС	Візуальний контроль
Пеленг	так	так	так
Дистанція	так	так	так
Координати	ні	так	ні
Курс СПЗ	так	так	ні
Швидкість СПЗ	так	так	ні
Тип СПЗ	ні	так	так
Клас СПЗ	ні	ні	так

Таблиця 2.3 – Порівняльні дані параметрів різних джерел інформації

№	Джерело інформації	Ознаки	Частота оновлення інформації	Дальність дії	Похибка
1	РЛС	$p, D, k, v$	10 с	до 24 миль	0,3° по $p$ 10 м по $D$
2	АІС	$p, D, k, v, x, y, C$	до 12 с	20-30 миль	10 - 100м $x, y$
3	Візуальний контроль	$p, D, R, C$	Період спостереження	до 5 миль	Обумовлюються психофізіологічними особливостями судноводія

Навігаційну інформацію можна перетворити з однієї системи координат в іншу та отримати дані по СПЗ в доступній для судноводія формі. Найбільш важливим є інформація у вигляді координат місця положення СПЗ, його курсу та швидкості.

Суднові джерела інформації мають забезпечити:

- збір даних про географічне положення судна (широта, довгота) з допустимими похибками не більше 10 м з імовірністю 95% в обмежених водах та похибками не більше 100 м з імовірністю 95% у відкритому морі;
- час оновлення інформації не більше 2 с.

2.4.1 Метод сумісної обробки даних від судових джерел інформації про параметри руху судна-потенційної загрози

Для зменшення похибок у процесі оцінки дій ССПЗ необхідно проводити сумісну обробку даних від різних судових джерел інформації.

Завданням сумісної обробки інформації про навігаційну обстановку є отримання якомога точніших даних. Ця точність залежить від характеристик судових джерел інформації та алгоритмів обробки навігаційних даних. Сумісне використання декількох судових джерел інформації підвищує точність та вірогідність одержуваних даних. Проте неможливо синхронізувати часову дискретність надходження інформації. Звідси випливає, що обробку даних від кожного джерела необхідно проводити у виді часового ряду параметрів. У результаті сумісної обробки можливо отримати загальний часовий ряд даних однорідної інформації.

З табл. 2.2 – 2.3 можна визначити параметри для сумісної обробки отриманих від різних судових джерел інформації. Сумісну обробку необхідно проводити окремо за кожним джерелом та за групами однотипних даних.

Узагальнену структурну схему сумісної обробки наведено на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 – Узагальнена структурна схема сумісної обробки даних про навігаційну обстановку від різних джерел інформації

Параметри, одержувані від кожного джерела інформації можна об'єднати для їх сумісної обробки та отримання можливих значень параметрів в конкретний момент часу та передачу їх значень із заданою періодичністю.

Детальна схема методу сумісної обробки даних від судових джерел інформації про параметри судна-потенційної загрози наведено на рис. 2.7.

Для попередження небезпечної ситуації на першому етапі необхідно за даними від судових джерел інформації сумісно обробити дані про координати СПЗ. В результаті обробки цієї інформації судоводію видається дані про СПЗ, щодо параметрів його руху його стан. Також видаються дані від приймача AIS з додаванням інформації про параметри самого СПЗ. При зближенні з СПЗ на дистанцію, що дозволяє здійснювати прийом даних від будь-якого джерела інформації, для сумісної обробки навігаційних параметрів в схемі сумісної обробки застосовуються різні методи фільтрації.

При отриманні даних про місцезнаходження СПЗ від одного джерела в момент часу  $T$  проводиться перевірка інформації на вірогідність (порівняння параметрів з раніше отриманими даними про параметри СПЗ). При визнанні інформації вірогідною, проводиться подальша обробка.

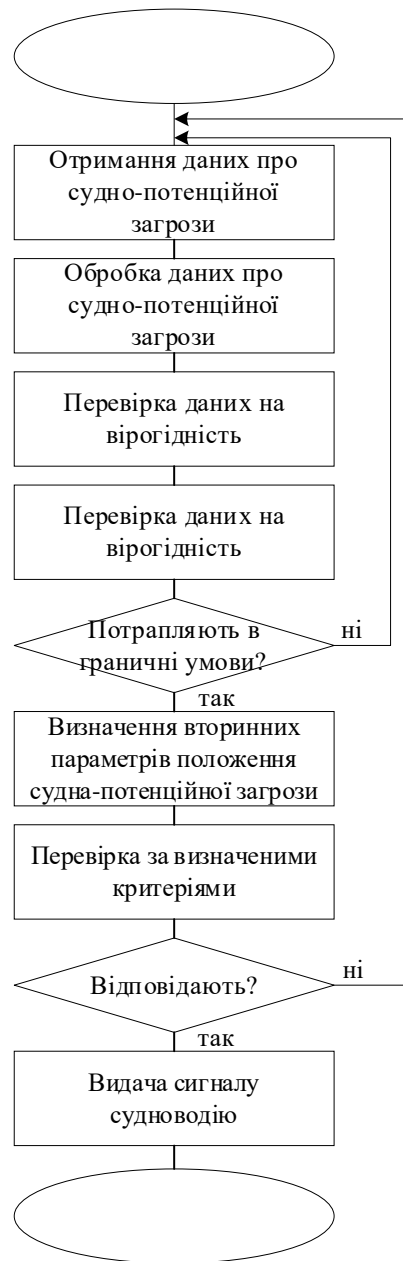


Рисунок 2.7 – Метод сумісної обробки даних від суднових джерел інформації про параметри судна-потенційної загрози

Проводиться перевірка на потрапляння в граничні умови (максимальне відхилення від попереднього параметра, що перевищує максимальне можливе значення параметра, порушення періодичності надходження інформації і т.п.). Після перевірки здійснюється видача сигналу судноводію про необхідність постановки СПЗ на контроль і проведення заходів по попередженню небезпечної ситуації.

Якщо інформація визнана вірогідною, відбувається визначення вторинних

параметрів положення СПЗ. Після цього визначається ймовірність знаходження СПЗ та їх похибки, а також можливі значення курсу та швидкості і їх похибки.

При первинному отриманні інформації за ймовірність значення приймаються прийняті первинні (отримані) та вторинні (розраховані) параметри. Далі виконується постійна видача поточних розрахункових параметрів про СПЗ.

Поточні параметри перевіряються на відповідність визначеним критеріям вірогідності та видаються судноводію. При виході будь-якого параметра за межі встановлених критеріїв вірогідності його значення може бути виділено для їх швидкого упізнання судноводієм.

При оновленні інформації від будь-якого судового джерела проводиться порівняння отриманих даних з поточними розрахунковими значеннями параметрів. Отримані дані передаються в блок прогнозування.

## 2.5 Метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози

Вдосконалення інформаційного забезпечення процесу оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози призводить до необхідності розробки методів автоматизованого рішення задач оцінки навігаційної обстановки та дій судноводія, а також зміни структури інформаційних моделей та методів управління ними.

Одним із завдань оцінки навігаційної обстановки в ході планування маневру запобігання небезпечного зближення (зіткнення) є завдання оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози. У ході вирішення даного завдання необхідно врахувати ряд допоміжних завдань. Такими завданнями є: завчасне розпізнавання судна-потенційної загрози, визначення зони можливих маневрів судна-потенційної загрози, прогнозування дій судноводія судна-загрози щодо попередження ситуації небезпечного зближення (зіткнення) та ін. Необхідно відмітити, що вирішення даного завдання значно ускладнюється в умовах

складної навігаційної обстановки (складні мето-гідрологічні умови, проходження мілководдя, вузькостей, райони з інтенсивним рухом та ін.). За цих умов судноводії не можуть у повній мірі користуватися вимогами керівних документів щодо запобігання ситуацій небезпечного зближення (зіткнення). Оскільки виконуючи маневр відповідно до вимог керівних документів, може виникнути ситуація небезпечного зближення (зіткнення) з іншою навігаційною перешкодою. Далі розглянемо метод рішення завдання оцінки маневру судна-загрози при виникненні ситуації небезпечного зближення (зіткнення).

Рішення оцінки маневру судна-загрози є однією зі складових процесу оцінки навігаційної обстановки судноводієм. Якість вирішення даного завдання у значній мірі впливає на формування рішення при плануванні маневру розходження в ситуації небезпечного зближення (зіткнення). Оцінка маневру судна-загрози проводиться на основі аналізу таких даних:

1. Дані про власне судно.
2. Навігаційна обстановка в зоні відповідальності судноводія.
3. Дані про судно-загрозу.
4. Можливі напрямки руху, найбільш ймовірні маневри; можливі варіанти дій судноводія судна-загрози та ін.

Визначити маневр судна-загрози з урахуванням даних про його просторове положення, знань про цілі та завдання покладених на судноводія судна-загрози. Методи вирішення завдання визначення маневру судна загрози були розглянуті в роботах [27, 35, 58, 99].

Проведений аналіз показує, що існуючі методи оцінки маневру судна-загрози не дозволяють врахувати динаміку зміни навігаційної обстановки в умовах накопичення інформації про дії судноводія судна-загрози, а також використовувати знання про способи побудови виконання маневру розходження в ситуації небезпечного зближення (зіткнення). Не враховуються також цілі та завдання, які вирішуються судноводієм в ситуації небезпечного зближення (зіткнення). Таким чином, актуальним є розробка методу оцінки маневру судна-загрози в небезпечних ситуаціях, що враховує недоліки

зазначені вище. При розробці методу оцінки маневру судна-загрози введемо ряд припущень і обмежень:

1. Судноводій судна-загрози діє цілеспрямовано і прагне до досягнення своїх цілей.

2. Основною метою дій судноводія судна-загрози є забезпечення безпеки плавання, збереження життя та здоров'я екіпажу, недопущення пошкодження або втрати судна та вантажу.

3. Судноводій судна-загрози керується накопиченим досвідом управління судном, що робить можливим використання даного досвіду при розробці пропонованого методу.

4. Судноводій судна-загрози намагається мінімізувати свої втрати в ситуації небезпечного зближення (зіткнення).

5. Судноводій судна-загрози керується вимогами керівних документів при побудові маневру розходження, і ці дані використовує при визначенні маршруту при запобіганні ситуації небезпечного зближення зіткнення.

6. Маневр розходження судно-загроза здійснює найкоротшим шляхом. В ситуації небезпечного зближення (зіткнення) судноводій судна-загрози змінює маршрут тільки після зникнення небезпеки для власного судна.

Керуючись даними припущеннями та обмеженнями, перейдемо до розробки методу оцінки маневру судна-загрози в ситуації небезпечного зближення зіткнення, який буде включати в себе наступні складові:

Нехай відомі такі дані про судно-загрозу:

$$I_{pt}(x_{pt}, y_{pt}, q_{pt}, v_{pt}), \quad (2.1)$$

де  $x_{pt}, y_{pt}$  – координати ССПЗ;

$q_{pt}$  – курс ССПЗ;

$v_{pt}$  – швидкість повітряного об'єкта.

Нехай також відомі дані про розміри та глибину зони взаємних обов'язків:

$$Z_{res} [l_z, s_z, d_z], \quad (2.2)$$

де  $l_z, s_z, d_z$  – просторові характеристики ширини довжини та глибини  $Z_{res}$ .

Тоді можна задати зону маневру ССПЗ, в якій можлива побудова маршруту розходження:

$$Z_{mov}^{pt} [l_{mov}^{pt}, s_{mov}^{pt}, d_{mov}^{pt}], \quad (2.3)$$

де  $l_{mov}^{pt}, s_{mov}^{pt}, d_{mov}^{pt}$  – просторові характеристики ширини довжини та глибини  $Z_{mov}^{pt}$ .

При цьому,  $l_{mov}^{pt}, s_{mov}^{pt}$  визначаються навігаційною обстановкою, а  $d_{mov}^{pt}$  – технічними можливостями ССПЗ. Умовне графічне зображення  $Z_{mov}^{pt}$  та  $Z_{res}$  при наявності навігаційних перешкод в ситуації небезпечного зближення зіткнення показано на рис. 2.8.

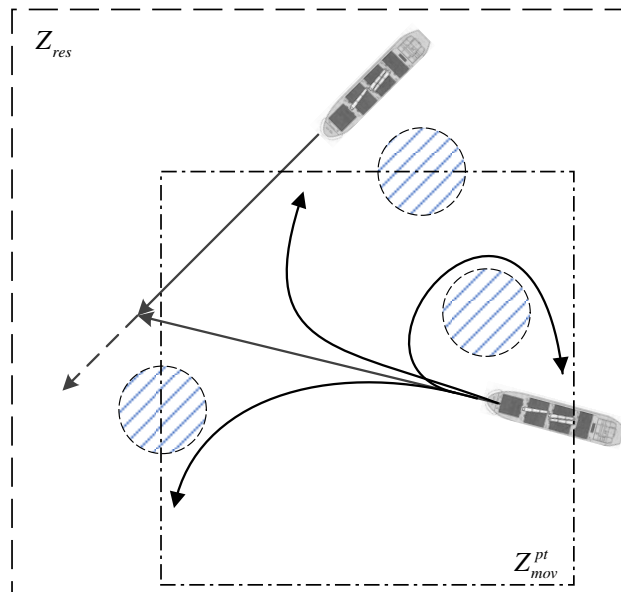


Рисунок 2.8 – Умовне графічне зображення  $Z_{mov}^{pt}$  та  $Z_{res}$  при наявності навігаційних перешкод

Визначення  $Z_{mov}^{pt}$  ССПЗ дозволяє судноводію визначити можливі маневри розходження, що може застосувати судноводій судна-загрози при настанні ситуації небезпечного зближення (зіткнення). Але для більш повного врахування чинників, що впливають на вибір маневру розходження, необхідно врахувати завдання, що вирішуються судноводієм судна-загрози при плануванні маршруту, а також цілі, які стоять перед ним відповідно до обстановки, що складається. Для цього необхідно формалізувати знання про множину завдань, що вирішуються судноводієм ССПЗ:

$$G(g_i), i = \overline{1, I}. \quad (2.4)$$

Множина цілей, що стоять перед судноводієм судна-загрози при плануванні маневру розходження, визначимо як

$$C(c_j), j = \overline{1, J}. \quad (2.5)$$

Множину можливих маневрів судна-загрози представимо як

$$M(m_v), v = \overline{1, V}. \quad (2.6)$$

Множину завдань, вирішення яких необхідне для досягнення цілі  $c_j$ , можна задати морфізмом

$$\mu^{c_j} : c_j \xrightarrow{i=\overline{1, I}} g_i. \quad (2.7)$$

Таким чином, можна задати морфізм, що визначає перелік можливих маневрів судна-загрози, до виконання яких судноводій буде прагнути, вирішуючи завдання  $g_i$  для досягнення цілей  $c_j$ :

$$\mu^{g_i} : g_i \xrightarrow{v=1, V} m_v. \quad (2.8)$$

Після чого визначається множина маневрів, які судноводієві дозволяють виконати характеристики судна-загрози. Далі перевіряємо, чи потрапляють маневри з  $m_v$  зону маневру судна-загрози.

Структура методу формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози наведена на рис. 2.9.

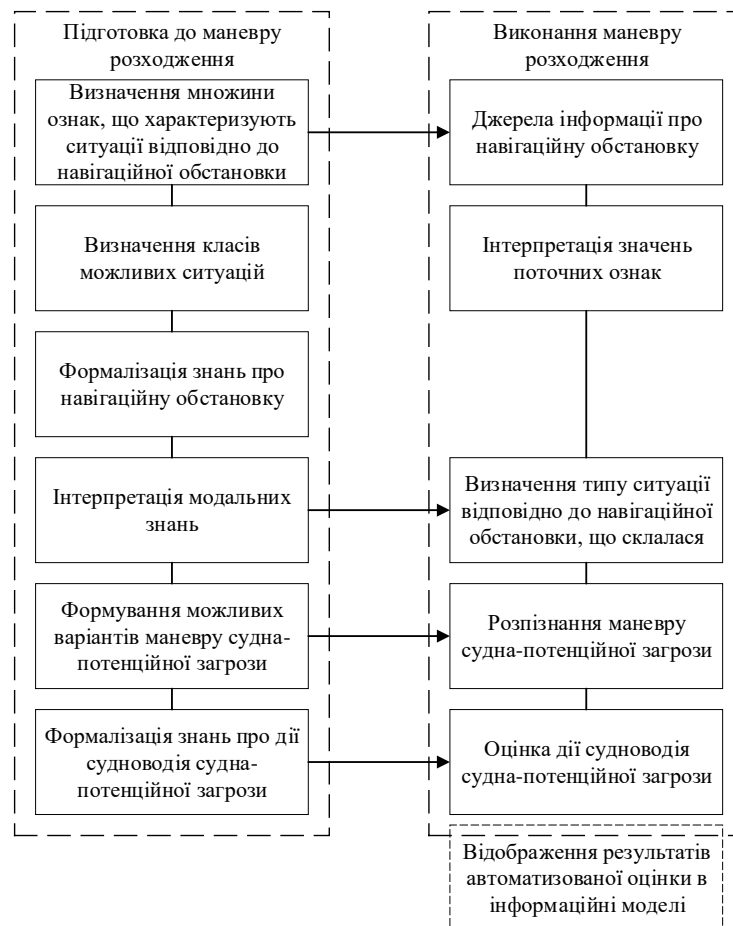


Рисунок 2.9– Структура методу формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози

Далі для формалізації знань, що використовуються при вирішенні завдання оцінки маневру судна загрози, в якості вхідних даних візьмемо такі:

$$I_{pt} (x_{pt}, y_{pt}, q_{pt}, v_{pt}), \quad (2.9)$$

$$Z_{res} [l_z, s_z, d_z], \quad (2.10)$$

$$Z_{mov}^{pt} [l_{mov}^{pt}, s_{mov}^{pt}, d_{mov}^{pt}], \quad (2.11)$$

$$G(g_i), i = \overline{1, I}, \quad (2.12)$$

$$M(m_v), v = \overline{1, V}, \quad (2.13)$$

$$C(c_j), j = \overline{1, J}. \quad (2.14)$$

У запропонованому методі формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози вперше запропоновано спільне використання методів розпізнавання навігаційної обстановки зі знаннями про цілі та завдання судноводія судна-загрози. При цьому забезпечується можливість обліку результатів етапу планування і динаміки зміни навігаційної обстановки.

## 2.6 Формалізація процесу отримання узагальнених характеристик судна-потенційної загрози

Аналіз об'єктивних джерел знань [6, 20, 23, 67] та вивчення досвіду дій судноводіїв у небезпечній ситуації [35, 50, 103] дає змогу визначити основні етапи процесу отримання узагальнених характеристик судна-потенційної загрози на основі знань про можливі дії ССПЗ та склад можливої інформації від джерел. Сукупність характеристик ССПЗ повинна мати у своєму складі такі характеристики як статус судна та його тип, маневрені характеристики, категорія судна за ступенем небезпеки для власного судна, вид зближення, наявність з ним радіозв'язку, чи виконує ССПЗ вимоги керівних документів, тощо.

Представимо інформацію про  $j$ -те судно-потенційну загрозу:

$$I^j = \{x_j, y_j, v_j, k_j, t_j, p_j, R_{ij}, B_{ij}, C_{ij}\}; \quad (2.26)$$

де  $x_j, y_j$  – поточні координати  $j$ -го СПЗ;

$v_j$  – швидкість  $j$ -го СПЗ;

$k_j$  – курс  $j$ -го СПЗ;

$p_j$  – пеленг на  $j$ -те СПЗ;

$R_{ij}$  – статус СПЗ по відношенню до власного судна;

$B_{ij}$  – категорія СПЗ за ступеню небезпеки для власного судна;

$C_{ij}$  – вид зближення СПЗ та власного зближення.

$W_{ij}$  – клас  $j$ -го СПЗ.

Визначимо для перерахованих характеристик інтегральну узагальнену оцінку

$$\gamma_{\Sigma} = \{\gamma_{xy}, \gamma_v, \gamma_k, \gamma_p, \gamma_R, \gamma_B, \gamma_C\}, \quad (2.27)$$

де  $\gamma_{xy}$  – оцінка поточних координати  $j$ -того СПЗ;

$\gamma_v$  – оцінка швидкості  $j$ -го СПЗ;

$\gamma_k$  – оцінка курсу  $j$ -го СПЗ;

$\gamma_p$  – оцінка пеленгу на  $j$ -е СПЗ;

$\gamma_R$  – оцінка статусу  $j$ -го СПЗ по відношенню до власного судна;

$\gamma_B$  – оцінка категорії  $j$ -го СПЗ за ступеню небезпеки для власного судна;

$\gamma_C$  – виду зближення  $j$ -го СПЗ та власного зближення.

У свою чергу, кожна часткова оцінка СПЗ може бути описана своєю множиною значень.

### 2.6.1 Логіко-лінгвістичні описи відношень у процесі оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози

Для опису відношень (зв'язків) між поточними даними про дії ССПЗ, які надходять від джерел інформації та цільовими установками процесу отримання узагальнених оцінок на основі знань про дії судноводія в небезпечній ситуації застосовуються експертні знання та вивчення керівних і методичних матеріалів, що регламентують взаємодію суден у процесі розходження [30, 56]. Як результат отримуємо логіко-лінгвістичні описи часткових оцінок дій ССПЗ на основі проявів окремих властивостей руху СПЗ у небезпечній ситуації та використання цих проявів на практиці судноводіння для оцінки дій ССПЗ та формування узагальнених оцінок.

Розглянемо логіко-лінгвістичні описи часткових оцінок дій СПЗ на основі МПЗЗС-72. Позначимо вимоги відповідно до правил МПЗЗС-72 щодо взаємодії кортежем:

$$H = h_i \langle x_h^i, y_h^i, v_h^i, k_h^i, p_h^i, R_h^i, B_h^i, C_h^i \rangle, \quad (2.28)$$

де  $x_h^i, y_h^i$  – вимоги  $i$ -го правила щодо місця положення СПЗ;

$v_h^i$  – вимоги  $i$ -го правила, щодо швидкості СПЗ;

$k_h^i$  – вимоги  $i$ -го правила, щодо курсу СПЗ;

$p_h^i$  – вимоги  $i$ -го правила, щодо пеленгу на СПЗ;

$R_h^i$  – вимоги  $i$ -го правила, щодо статусу СПЗ по відношенню до власного судна;

$B_h^i$  – вимоги  $i$ -го правила, щодо категорії СПЗ за ступеню небезпеки для власного судна;

$C_h^i$  – вимоги  $i$ -го правила, щодо виду зближення СПЗ.

Аналіз МПЗЗС-72 показує, що в його основу покладено принцип

координації. Згідно з ним, кожному судну в небезпечній ситуації пропонуються множина елементарних стратегій розходження, які мають забезпечити безпеку руху судна. Для регламентації взаємодії суден у небезпечній ситуації у МПЗЗС-72 вибираються не конкретні стратегії, а деяка множина дій. Судноводію для попередження небезпечній ситуації пропонується змінити курс. Тому для взаємодії суден  $H = \{h_i\}$  вихідними стратегіями є множина курсів власного судна  $k_i$  та СПЗ  $k_j$ .

Визначальними параметрами  $H$  при визначенні необхідної стратегії з множини дій є  $R_r^i, B_r^i, C_r^i$ , що визначають можливість маневрування судна при розходженні. Для повного опису необхідно враховувати параметр, що характеризує видимість  $Vis$  та динаміку розвитку ситуації, яку запропоновано визначати швидкістю зближення  $\bar{V}_{зб} = \bar{v}_i + \bar{v}_j$ . Тому вираз (2.28) для координації  $H$  має вид:

$$H = h_i \langle Vis, V_{зб}, x_h^i, y_h^i, v_h^i, k_h^i, p_h^i, R_h^i, B_h^i, C_h^i \rangle, \quad (2.29)$$

Розглянемо координацію при гарній видимості. У цьому випадку параметр видимості, який задано лінгвістичною змінною "видимість" ( $Vis$ ), що визначена універсальною множиною  $U = [0;1]$  з терм-множинами "погана" ( $b_v$ ), "гарна" ( $g_v$ )  $T = \{b_v, g_v\}$ . Визначимо для параметру статус судна лінгвістичну зміну  $R_h^i$  на універсальній множині  $U = [0;3]$  з термами "рівний" ( $riv_j$ ), "вищий" ( $high_j$ ), "нижчий" ( $low_j$ ) з  $T =$  терм-множиною  $\{riv_j, high_j, low_j\}$ . Відповідно до правила 17 МПЗЗС-72 за умови гарної видимості для при різних значеннях  $R_h^i$  виникають такі ситуації:

1. Перша ситуація ( $S_r^1$ ), в якій рекомендується стандартна взаємодія, коли судно з вищим статусом зобов'язане зберігати курс та швидкість руху, а судно з нижчим статусом виконує маневр розходження.

2. Друга ситуація ( $S_r^2$ ) характеризується активізацією взаємодії, коли судно з вищим статусом отримує право змінювати параметри руху на розсуд судноводія.

3. Третя ситуація ( $S_r^3$ ) відповідає випадку, коли обидва судна рівні за статусом і зобов'язані маневрувати для попередження зіткнення.

Основним принципом координації, який покладено в основу МПЗЗС-72, є встановлення відносини пріоритету взаємодіючих суден в небезпечній ситуації. При цьому відношення пріоритету може бути жорстким, як у першій ситуації, коли жорстко регламентується однозначна поведінка кожного з взаємодіючих суден, або "м'яка" регламентація (друга ситуація) – коли однозначно регламентується поведінка тільки судна, з нижчим статусом. У разі взаємодії коли є відсутність пріоритету, але на відміну від першої ситуації, є жорстка регламентація дій обох судноводіїв, причому відсутня узгодженість їх дії.

Для встановлення відносини пріоритету в МПЗЗС-72 введені дві системи, одна з яких призначає пріоритет суднам, які взаємодіють в ситуації обгону (правило 13 МПЗЗС-72), а друга – у всіх інших ситуаціях. Причому остання містить сім рівнів, упорядкованих ставленням пріоритету: мале судно; судно з механічним двигуном; парусне судно; рибальське судно; судно зі стисненою осадкою; судно обмежене в можливості маневрувати; судно, яке не може управлятися (правила 9, 10 і 18). Для ситуації  $S_r^1$  призначення пріоритетів передбачено тільки для суден з механічним двигуном і вітрильних суден (правила 12, 14 і 15), причому тільки в цьому випадку є вимоги та рекомендації щодо вибору сторони ухилення при розходженні.

Тому, в залежності від приналежності початкової ситуації пропонується формувати правила про тип взаємодії та координації, які в разі необхідності визначають ставлення пріоритету і ступінь його жорсткості, враховуючи при цьому належність кожного з суден одному з класів.

Таким чином, для умов гарної видимості прогнозувати дії ССПЗ можна так:

$$U_j = S_r^n \{h_i\}. \quad (2.30)$$

Множина можливих варіантів дій ССПЗ, відповідно до МПЗЗС-72 можуть містити підмножину курсів ухилення вправо  $k_j^r$  та вліво  $k_j^l$  від заданого курсу попереднього маршруту, причому:

$$K_j = k_j^r \cup k_j^l. \quad (2.31)$$

Підмножини  $k_j^r$  та  $k_j^l$  можуть бути повними та порожніми. Якщо судно ССПЗ є вищим за статусом, то має зберігати свої параметри руху, і для нього множини  $k_j^r$  та  $k_j^l$  є порожніми, тобто  $K_j \in \emptyset$ . В інших ситуаціях множина  $K_j$  визначається:

$$K_j = k_j^r; (k_j^l \in \emptyset), \quad (2.32)$$

$$K_j = k_j^l; (k_j^r \in \emptyset). \quad (2.33)$$

Так як в МПЗЗС-72 рекомендується тільки сторона розходження, то прогноз дій ССПЗ можна визначити множиною

$$U_j = \{u_j^n\}, \quad (2.34)$$

в якій  $u_j^1$  – параметри руху зберігаються,  $u_j^2$  – дії ССПЗ, якщо правилами поворот вправо дозволений,  $u_j^3$  – дії ССПЗ, якщо правилами поворот вліво

дозволений,  $u_j^4$  – дії ССПЗ, якщо правила забороняють поворот вправо,  $u_j^5$  – дії ССПЗ, якщо правила забороняють поворот вліво,  $u_j^6$  – дії ССПЗ, зміна параметрів руху не регламентуються МПЗЗС-72.

В умовах гарної видимості для кожної з ситуації можна оцінити дії ССПЗ:

$$\gamma_{\Sigma}(U_j) \rightarrow u_j^1, \quad (2.35)$$

при

$$\gamma_{xy}\left(\frac{x_j, y_j}{x_h^i, y_h^i}\right) \rightarrow x_h^{S_r^1}, y_h^{S_r^1}, \quad (2.36)$$

$$\gamma_R\left(\frac{R_{ij}}{R_h^i}\right) \rightarrow high, \quad (2.37)$$

$$\gamma_k\left(\frac{k_j}{k_h^i}\right) \rightarrow const, \quad (2.38)$$

$$\gamma_v(v_j) \rightarrow const. \quad (2.39)$$

Якщо в даній ситуації СПЗ не зберігає параметри руху, тобто  $\gamma_k\left(\frac{k_j}{k_h^i}\right) \not\rightarrow const$  та/або  $\gamma_v(v_j) \not\rightarrow const$ , то різниця між суднами за статусом відсутня  $\gamma_R\left(\frac{R_{ij}}{R_h^i}\right) \rightarrow riv_j$  і настає  $S_r^3$ . У даній ситуації, необхідно з підмножини  $u_j^6$  визначити підмножину  $K_j$ , в якій обмежуються підмножини курсів ухилення. Причому для підмножини ситуацій  $S_r^3$ , коли власне судно знаходиться попереду траверзу СПЗ і не є тим, що обгоняється, множина курсів ухилення вліво має бути порожньою  $K_j = k_j^r$ ; ( $k_j^l \in \emptyset$ ). Коли власне судно знаходиться на траверзі або позаду траверзу СПЗ, то не можна змінювати курс у бік судна, що означає множина курсів ухилення вправо є

порожнім  $K_j = k_j^l$ ; ( $k_j^r \in \emptyset$ ), якщо власне судно знаходиться відносно СПЗ за пеленгом праворуч. Якщо ж власне судно знаходиться відносно СПЗ за пеленгом зліва, то множина курсів ухилення вліво має бути порожнім. В інших випадках немає обмежень на напрям ухилення судна. Тоді аналогічно необхідно визначити узагальнені оцінки дій ССПЗ для кожної ситуації:

$$\gamma_{\Sigma}(U_j) \rightarrow \begin{cases} u_j^1, \text{ в ситуації } S_r^1; \\ u_j^2, \text{ в ситуації } S_r^2; \\ u_j^3, \text{ в ситуації } S_r^2; \\ u_j^4, \text{ в ситуації } S_r^2; \\ u_j^5, \text{ в ситуації } S_r^2; \\ u_j^6, \text{ в ситуації } S_r^3. \end{cases} \quad (2.40)$$

Таким чином, вимоги МПЗЗС-72 в частині взаємних обов'язків судноводіїв при маневруванні в небезпечній ситуації можуть бути представлені моделлю узагальненої оцінки, які при наявності ситуацій зближення однозначно визначають поведінку ССПЗ, що, у свою чергу, дають можливість прогнозу маневру та параметрів руху СПЗ. За узагальненою оцінкою можна виявити підмножину можливих дій і тип взаємодії з СПЗ.

## 2.6.2 Опис мережевої моделі процесу отримання узагальненої оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози

Необхідну виразність представлення знань про предметну область розв'язуваної задачі можна досягти шляхом побудови мережевих моделей. Мережеві моделі, як відомо мають ряд переваг [62, 74]. По-перше, вони мають більші виразні можливості і наочність; по-друге, вони здатні відображати відношення різних типів. У зв'язку з цим для опису предметної області процесу отримання узагальненої оцінки дій ССПЗ необхідно

використовувати мережеву модель.

Початковими умовами для отримання значень узагальнених характеристик повітряних об'єктів, сукупність яких може бути представлена кореневою вершиною мережі є дані отримані від джерел інформації, які містять поточні дані  $I^j$ , описані співвідношеннями (2.26), і апріорні знання, представлені у вигляді відомостей  $H$  і системи правил (2.28) – (2.29), в яких використовуються відношення різного типу.

В якості вершин мережевої моделі при вирішенні поставленого завдання отримання узагальненої оцінки дій ССПЗ повинні бути використані складові поточні дані (елементи початкових умов рішення завдання), апріорні відомості про СПЗ, що входять до правила-продукції, елементи цільових установок завдання (типи узагальнених оцінок СПЗ) і елементи дій щодо реалізації правил виведення (продукцій). Крім того, до складу вершин слід ввести вершини вибору поточних даних від різних типів джерел інформації за максимумом значень лінгвістичних змінних та достовірності поточних даних, які можна визначити як вершини вибору початкових умов (або вершини адаптації) мережі.

Відношення між елементами мережевої моделі можна описати відношеннями двох типів: класифікації (структуризації елементів цільових установок) і дій, які описують порядок виконання правил і включають відношення приналежності, подібності, просторові та ознак.

Схема мережевої моделі процесу отримання узагальненої оцінки дій ССПЗ на основі знань про нього наведена на рис. 2.9.

Таким чином, розроблена модель дозволяє наочно представити весь процес отримання узагальненої оцінки дій ССПЗ.

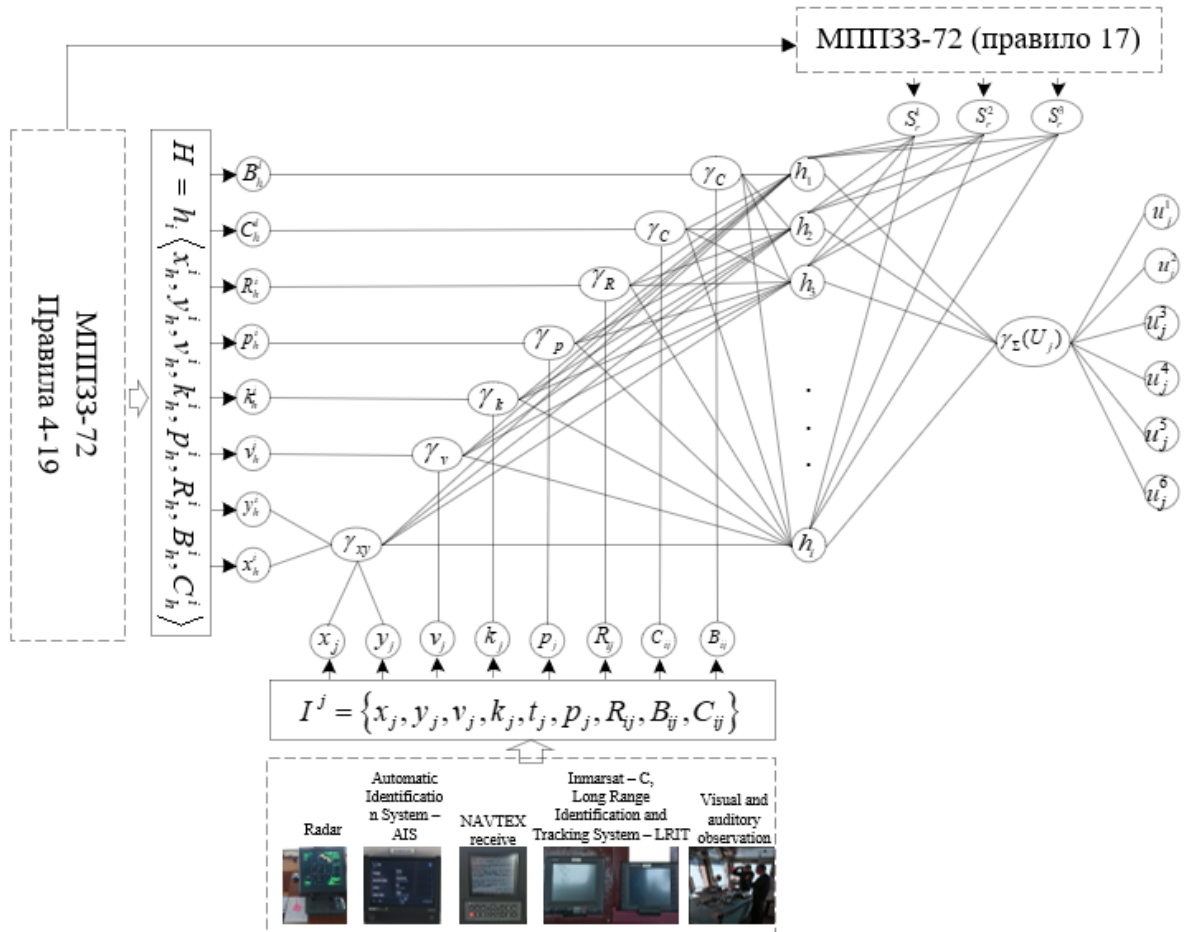


Рисунок 2.9 – Мережева модель процесу отримання узагальненої оцінки дій ССПЗ

## Висновки за другим розділом

1. Вперше розроблено метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози, який базується на спільному використанні методів розпізнавання навігаційної обстановки зі знаннями про цілі та завдання судноводія судна-загрози та дозволяє:

- розробку формалізованого опису цільових установок ССПЗ;
- розробку представлень вхідних даних про об'єкти, що розглядаються;
- побудову моделі оцінки дій ССПЗ;
- добування та класифікація необхідних знань для оцінки дій ССПЗ;
- формалізацію знань і подання їх у формі, зручній для зберігання та обробки ЕОМ.

2. В основу розробки моделі процесу отримання узагальненої оцінки дій ССПЗ покладено логіко-лінгвістичні описи відношень між поточними даними і апріорними даними і знаннями експертів про прояви окремих властивостей і дій ССПЗ у небезпечній ситуації.

3. Розроблений метод дозволив класифікувати відношення поточних даних з апріорними даними і знаннями, які виявляються на основі даних, що надходять від різних судових джерел інформації як просторові відношення і відношення приналежності і подібності та розробити правила оцінки їх істинності.

4. Запропоновані правила оцінки істинності відношень визначили модель подання знань про дії ССПЗ, в якості якого була обрана продукційна модель. В силу ряду переваг продукційна модель дозволяє перейти до розробки процедури реалізації логічного виведення для реалізації в судових системах СППР.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ПРО ПРОЦЕСИ ОЦІНКИ НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ В НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЯХ

Для забезпечення безпеки руху судна судноводій має постійно оцінювати навігаційну обстановку та приймати на основі отриманих висновків оптимальні рішення. Оперативність та обґрунтованість прийнятого рішення в першу чергу залежить від швидкості та адекватності аналізу ситуації, що складається. Вчасно розпізнана небезпека дозволить отримати вигоду у часі, що за умови динамічної зміни навігаційної обстановки дозволить судноводію безпечно виконати маневр розходження.

У розділі розроблений метод вибору дій для попередження ситуацій небезпечного зближення та представлений підхід до формування маршрутів руху судна у безпечну зону.

#### 3.1 Особливості прийняття рішень у процесі управління судном в умовах динамічної зміни навігаційної обстановки

Аналіз процесу управління судном показує, що прийняття оптимального рішення судноводієм у небезпечній ситуації при динамічній зміні навігаційної обстановки, що ускладнено різким збільшенням потоків інформації та зменшенням часу на її обробку, можливо за рахунок створення та оснащення ходового містка системами автоматизованого управління рухом судна [44].

У загальному вигляді невизначеність умов, які проявляються при оцінці навігаційної обстановки та прийняття рішення судноводієм, може бути представлена так (рис. 3.1).

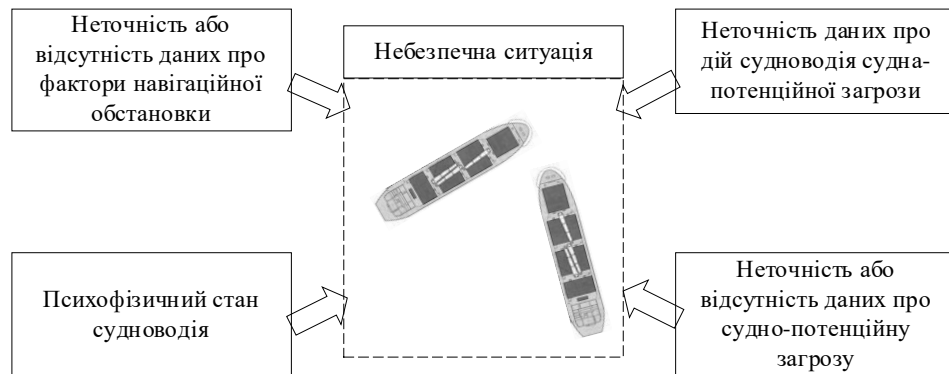


Рисунок 3.1 – Модель умов невизначеності, притаманні небезпечній ситуації

Обмеженість або неточність даних, а також врахування можливих помилок в розрахунках щодо прогнозу руху суден відносно один одного призводить до необхідності вирішення основних завдань:

- в умовах ризику;
- при наявності невизначеності.

У першому випадку ступінь неповноти даних виражається через функцію розподілу ймовірностей. У другому випадку існування подібних функцій не гарантується [66].

В умовах невизначеності функція розподілу ймовірностей невідома або не може бути визначена. Невизначеність не означає повної відсутності інформації про навігаційну обстановку. Поки невідомі ймовірності значень факторів навколишнього середовища, ситуація розглядається як задача прийняття рішень в умовах невизначеності.

Ступінь обмежень можливостей отримання достовірних і повних даних визначає, яким чином може бути задача формалізована та розв'язана. Неповнота даних ускладнює завдання прийняття рішень і неминуче призводить до менш задовільних результатів.

Присутність у процесі прийняття рішень невизначеності не дозволяє точно оцінити вплив управлінських впливів на цільову функцію.

Якщо невизначеності, що існують як в самій системі управління, так і в спостереженнях, можуть бути представлені як стохастичні процеси, то до

таких завдань застосовні методи стохастичного управління. Однак є порівняно великий клас проблем, при вирішенні яких ці методи є неефективними. Останнє можна пояснити тим, що набір стандартних імовірнісних понять і методів виявляється неадекватним для опису розглянутих ситуацій, а також труднощами отримання необхідних статистичних характеристик параметрів та відсутністю ергодичності в процесах і їх суттєвою нестаціонарністю. Складність систем судна та невизначеність інформації про них зростає, а вимоги до точності прийняття рішення підвищуються. Проблема подання невизначеності є однією з ключових, але в той же час і найменш вивченою для об'єктів управління, яким є судно.

Завдання прийняття рішень вирішується у просторі ситуацій, опис яких включає стан навігаційної обстановки та стан інформаційної системи, що характеризуються рядом параметрів. Ситуації утворюють уявлення про деякі узагальнені стани навігаційної обстановки, а інформаційна система та зміни у навколишньому середовищі призводять до зміни актуалізованих станів у даний момент часу. Серед ситуацій виділяються деякі вихідні стани, а саме початкове положення судна в просторі та кінцевий (цільовий стан). Завдання полягає в пошуку шляху, що веде з вихідного стану до одного з кінцевих.

Вирішується завдання пошуку, в умовах невизначеності, альтернативних варіантів рішень для підвищення живучості судна в небезпечній ситуації. Альтернативне рішення – варіант вирішення, який задовольняє обмеженням, що дозволяє попередити наслідки реалізації негативного впливу умов небезпечної ситуації, що входить до множини варіантів допустимих рішень, але відрізняється більш кращими значеннями одного або декількох показників ефективності. Модель судна як ергатичної системи наведено на рис. 3.2.

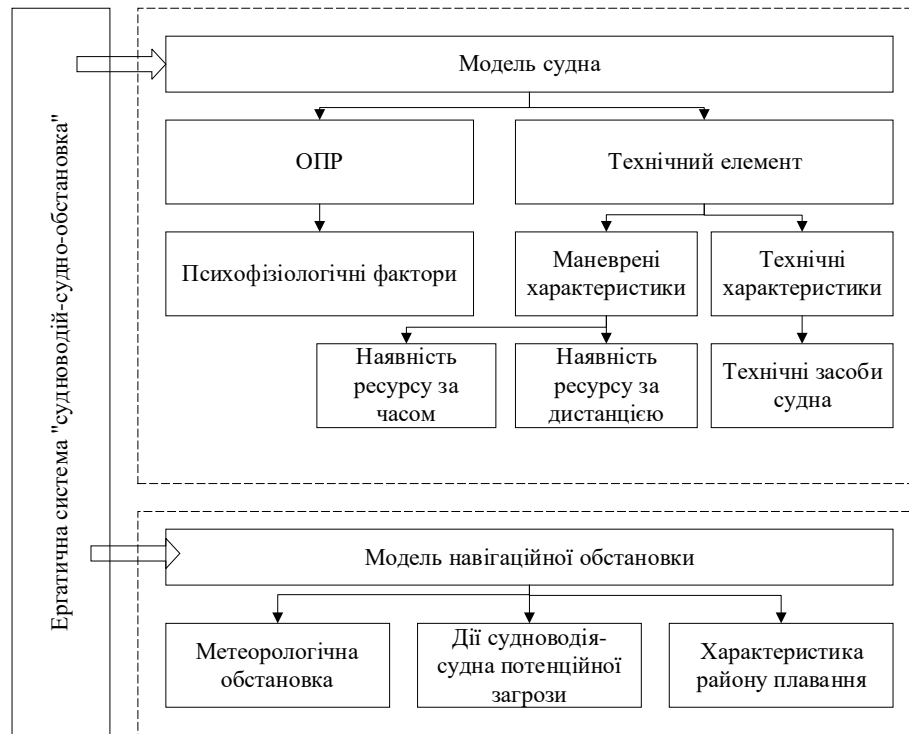


Рисунок 3.1 – Взаємодія моделі судна як ергатичної системи та моделі навігаційної обстановки

У ході вирішення цього завдання необхідно проводити уточнення відповідних компонентів ергатичної системи та подавати їх у формі, зручній для комплексної обробки, включення всіх необхідних параметрів, а також встановлення зв'язків між компонентами. Повнота опису завдання визначається вимогами до результатів прийнятого рішення. Встановлення зв'язків (відношень) між компонентами системи – це досить складна задача і її успішне розв'язання дозволяє побудувати ефективну систему обробки даних у небезпечній ситуації.

3.2 Вимоги та обмеження, що пред'являються до системи підтримки прийняття рішення в умовах динамічної зміни навігаційної обстановки

Для підтримки прийняття рішень судноводієм в умовах небезпечної ситуації виникає необхідність в розробці системи, що дозволяє аналізувати множину параметрів і факторів стану навколишнього середовища, проводити

оцінку результатів аналізу і виробляти альтернативні за критерієм забезпечення безпеки руху судна та часу варіанти рішень для судноводія в при управлінні судном.

Аналіз сучасних суднових систем підтримки прийняття рішень різного призначення з використанням геоінформаційних технологій [20, 37], дозволив сформулювати основні вимоги, до розроблюваної СППР.

1. Можливість обробляти інформацію про навігаційну обстановку, необхідну для прийняття обґрунтованого рішення.

2. Здатність системи до вироблення альтернативних (можливих) варіантів рішень з кількісними і якісними показниками.

3. Можливість моделювання вироблених варіантів рішень та їх оцінки;

4. Зручний інтерфейс для взаємодії з судноводієм.

5. Можливість зв'язку з джерелами інформації про навколишнє середовище з різних джерел обстановки.

6. Швидкодія системи підтримки прийняття рішень має бути, близькою до режиму реального часу.

7. Сумісність системи підтримки прийняття рішень з доступним програмним забезпеченням.

Обмеження, що накладаються умовами руху судна:

1. Кількість джерел інформації має фіксоване значення та залежить від класу, розмірів та оснащення судна.

2. Зона маневру – максимальний за розмірами район для виконання маневру, що обмежується характеристиками судна, районом плавання та нормативно-правовим документами, що регламентують рух суден у різних умовах навігаційної обстановки.

3. Межі району можливого переміщення судна, визначені на етапі планування маневру.

Під навігаційною обстановкою будемо розуміти сукупність суттєвих характеристик, параметрів, факторів навколишнього середовища, що впливають (негативно або позитивно) на безпеку руху судна.

Динамічна зміна навігаційної обстановки – це ситуація, при якій існуючі характеристики, параметри, фактори навігаційної обстановки, змінюються протягом часу, що впливають на безпеку руху судна.

Для оцінки небезпечної ситуації необхідно провести аналіз параметрів і факторів, що характеризують стан навігаційної обстановки, що впливає на безпеку руху судна. На рис. 3.3 наведена структура вхідних даних про стан небезпечної ситуації.

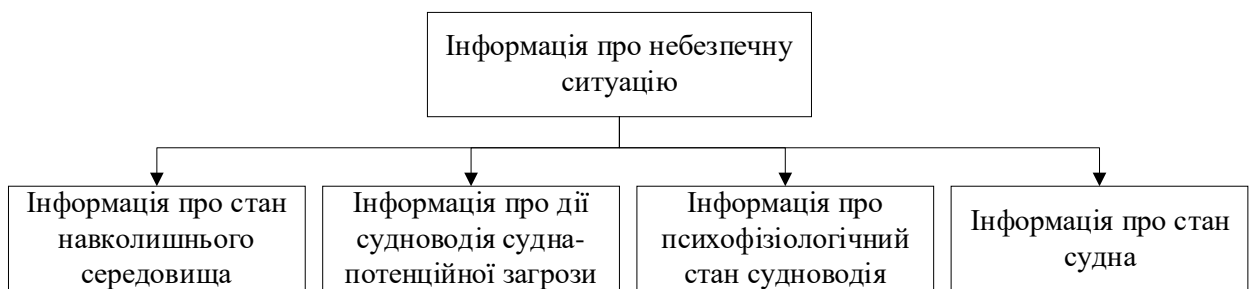


Рисунок 3.3 – Склад вхідних даних про небезпечну ситуацію

Вже згадана СППР в умовах динамічної зміни навігаційної обстановки передбачає вирішення завдання з розробки підходів, що забезпечує аналіз заданої множини вхідних даних про зміну факторів навколишнього середовища, вироблення можливих (альтернативних) варіантів рішень для забезпечення безпеки руху судна, а також моделювання вироблених рішень, їх оцінку і видачу рекомендацій судноводію.

Згідно постановці завдання досліджень для їх вирішення необхідно вирішити ряд часткових завдань:

1. Формування вхідних даних про стан навколишнього середовища.
2. Аналіз вхідних даних про стан навколишнього середовища.
3. Формування динамічного простору рівнів небезпеки зон у районі плавання при вирішенні задачі розходження судна з навігаційними небезпеками.
4. Формування можливих (альтернативних) варіантів безпечного руху судна з урахуванням динамічного простору рівнів небезпеки.

5. Формування електронної карти місцевості з навігаційною обстановкою на момент вироблення альтернативних варіантів рішень системою підтримки прийняття рішень.

6. Формування маршрутів (таблиць маршрутів) руху судна в рекомендовані райони безпечного переміщення.

7. Моделювання рекомендованих варіантів безпечного руху судна і оцінка цих варіантів рішень.

8. Вироблення рекомендацій по використанню запропонованих варіантів рішень.

Згідно [60], структуру, склад і взаємодію окремих блоків структурно-логічної (концептуальної) моделі системи підтримки прийняття рішень в умовах динамічної зміни обстановки можна подати у вигляді моделі (рис. 3.4):



Рисунок 3.4 – Структурно-логічна (концептуальна) модель системи підтримки прийняття рішення судноводія в ергатичній системі "судноводій-судно"

Для аналізу небезпечної ситуації, що склалася в даний час, широко застосовуються методи інтелектуального аналізу даних [65, 125]. У нашому випадку така інформація складається з даних про стан елементів, що характеризують умови ситуації. Даний підхід полягає у застосуванні алгоритмів обробки даних для виявлення прихованих тенденцій, закономірностей, взаємозв'язків і перспектив розвитку ситуації, врахування яких допомагає підвищити оперативність та обґрунтованість прийняття рішень судноводієм.

В ході аналізу небезпечної ситуації відбувається перетворення вхідних даних про стан навігаційної обстановки в імовірнісні значення рівня безпеки впливу з боку навколишнього середовища для кожної точки району плавання, в якій можливе перебування судна. З урахуванням координат точок маршруту руху судна та координат району плавання формується динамічний простір рівнів безпеки. Графік створюється шляхом проектування на координатну площину району плавання ( $X, Y$ ), що дозволяє судноводію візуально оцінити небезпечну ситуацію. Проектування рівнів безпеки на навігаційну карту реальної місцевості дає високу наочність і додаткову інформацію для судноводія зробити остаточний вибір варіанту дії, що сприяє підвищенню оперативності рішення та дозволяє підвищити безпеку руху судна.

На основі даних, отриманих після аналізу ситуацій, здійснюється формування безпечних точок району плавання, по яких визначаються варіанти безпечних маршрутів для виходу з небезпеки місця і визначення маршрутів, необхідних для їх переміщення. Дана інформація у вигляді таблиці маршрутів та запропонованих координат кінцевих точок маршрут розходження передається у блок моделювання рішень, а також у блок геоінформаційної системи (ГІС).

У свою чергу, на основі застосування можливостей ГІС для аналізу навігаційної обстановки можна отримати відображення положення судна на електронній карті в режимі реального часу, а також зміни положення

навігаційної небезпеки, що впливають на безпеку руху судна. Це дозволить візуально оцінити судноводію складність навігаційної обстановки в районі плавання. Електронна карта дозволяє отримати необхідну якісну характеристику району плавання, що дозволяє підвищити достовірність процесу моделювання вироблених варіантів маршруту руху судна в безпечні зони.

У блоці моделювання вироблених рішень виконується прогноз розвитку ситуації та відбувається визначення можливості переміщення в безпечний район та час, необхідний для переміщення судна по виробленому маршрутом  $t_{sh}^m$ .

Блоці оцінки вірогідності результатів моделювання вироблених рішень проводиться порівняння  $t_{sh}^m$  з  $t_{наяв}^m$ . Для кожного виробленого варіанту розміщення судна, де  $t_{наяв}^m$  – максимально допустимий час для здійснення маневру в безпечну зону. Всі варіанти формуються на основі технічних можливостей судна, вимог керівних документів та досвіду судноводія, для яких значення  $t_{sh}^m < t_{наяв}^m$  передаються в блок формування варіантів маршруту, де виконується формування ієрархічного списку альтернативних варіантів рішення за ступенями збільшення часу  $t_{sh}^m$  або за рівнем небезпеки.

За наявності множини варіантів безпечних маршрутів, що можуть бути візуально відображені засобами, які наявні на ходовому містку, та відображення безпечних районів у небезпечній ситуації та маршрутів руху судна на електронній карті розглянутого району плавання, дозволить оптимізувати процес вироблення рішень судноводієм [59].

Використання запропонованої моделі дозволяє формалізувати невизначеність небезпечної ситуації, неповноту даних та знизити неточність відомостей про стан навігаційної ситуації. Останнє досягається за рахунок того, що імовірнісний підхід враховує загрози та ризики отримання критичних пошкоджень судна, вантажу, пасажирів та екіпажу в результаті зіткнення у вигляді інтегрованої оцінки, що включає інформацію з джерел

інформації та можливий прогноз, який отриманий на основі результатів рішень, що приймалися раніше в небезпечних ситуаціях [33, 24, 34, 64].

### 3.3 Визначення вхідної інформації про стан навігаційної обстановки

Суть прийняття будь-якого рішення у процесі судноводіння полягає у визначенні судноводієм на основі оцінки стану навігаційної обстановки, мети дій, конкретного завдання, послідовності способів та термінів виконання маневру, а також визначення заходів щодо забезпечення безпеки руху судна.

У ході виконання збору та обробки інформації про навігаційну обстановку, з чого починається безпосередньо процес управління судном, проводиться аналіз навігаційної обстановки, що реально склалася на даний момент часу, за елементами, наведеними на рис. 3.5.

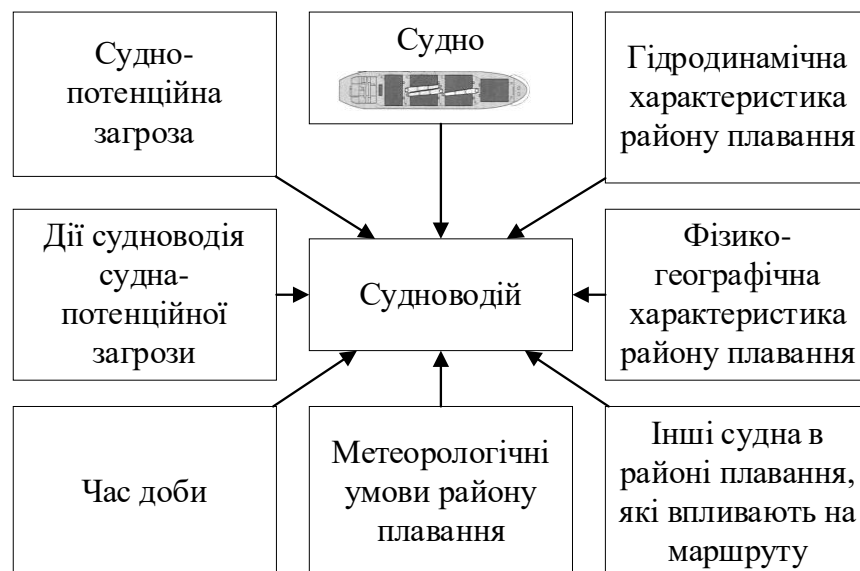


Рисунок 3.5 – Елементи навколишнього середовища в районі плавання та її зв'язок з судноводієм

Інформація про стан багатьох елементів навігаційної обстановки будуть динамічно змінюватись. Деякі з них, особливо інформація про стан і місце знаходження судна-потенційної загрози та дії судноводія цього судна, буде

носити не повний, суперечливий, завідомо невизначений характер.

При розгляді проблеми розробки засобів підтримки прийняття рішень в умовах динамічної зміни навігаційної обстановки, важливо враховувати те, що ряд даних важко або майже неможливо досить точно виміряти кількісно. До них, наприклад, слід віднести відомості про моральний та психологічний стан судноводія судна-потенційної загрози, про ступінь його кваліфікації, досвід дій у небезпечній ситуації.

У відомостях про судно-потенційну загрозу необхідно знати дані про типи судна, координати його місця знаходження, параметри руху судна.

Тому система має мати у своєму складі бази даних про технічні характеристики суден типових конструкцій, що дозволить визначити потенційні можливості негативного їх впливу на власне судно. Виходячи з цього, найбільш важливим завданням збору та обробки інформації про судно-потенційну загрозу є ідентифікація та прогнозування параметрів його руху, а також визначення координат його місця знаходження.

У ході обробки (аналізу) даних про навігаційну обстановку, поряд з визначенням кількісних характеристик можливого негативного впливу на судно, дуже важливо мати можливість прогнозування її зміни з урахуванням стану та параметри руху судна-потенційної загрози. Ці дані будуть формуватися в результаті інтегрованої оцінки потенційних можливостей дій судноводія судна-потенційної загрози з візуалізацією цих даних із застосуванням геоінформаційних технологій, що дозволить судноводію оперативно та обґрунтовано оцінювати навігаційну обстановку в районі плавання [52].

Аналіз даних про параметри власного судна може проводитись за тими ж показниками, що і по судну-загрозі. Поряд з одержуваними даними щодо руху власного судна, необхідно встановити вплив параметрів руху судна-загрози на безпеку власного судна.

Автоматизоване відображення даних з використанням ГІС про навігаційну обстановку в районі плавання, про стан та прогноз погоди, стан

моря, маневрені можливості судна-загрози, має забезпечити прогнозування зміну в небезпечній ситуації, встановлення ступеня негативного впливу як на власне судно.

Наведене обґрунтування організації вхідної інформації та особливостей розроблюваного блоку аналізу інформації про стан навколишнього середовища, моделі СППР в умовах динамічної зміни навігаційної обстановки дозволить отримати дані за елементами, що характеризує у своїй сукупності небезпечну ситуацію, що дозволяє візуально оцінити судноводію негативні фактори, що безпосередньо впливають на безпеку руху судна.

3.4 Метод формування динамічного простору рівнів безпеки зон у районі плавання при вирішенні завдання розходження судна з навігаційними небезпеками

Наявність невизначеності у процесі прийняття рішень не дозволяє точно оцінити вплив дій судноводія на цільову функцію. Якщо невизначеності, що існують як в самій системі "судноводій-середовище-судно-загроза", так і в спостереженнях, можуть бути представлені як стохастичні процеси, то до таких завдань застосовні методи стохастичного управління. Однак є порівняно великий клас проблем, при вирішенні яких ці методи неефективні. Останнє можна пояснити тим, що набір стандартних імовірнісних понять і методів виявляється неадекватним для опису розглянутих ситуацій. Також існують труднощі отримання необхідних статистичних характеристик параметрів, процеси характеризуються відсутністю ергодичності та їх суттєвою нестаціонарністю. Складність технологічних комплексів і невизначеність інформації про них зростає, а вимоги до точності одержуваного рішення підвищуються. Проблема подання невизначеності є однією з ключових для процесу управління судном. Завдання прийняття рішень вирішується у просторі ситуацій, опис яких включає стан навігаційної обстановки (іншими словами стан факторів навколишнього середовища) і

станом інформаційної системи, що характеризуються рядом параметрів. Ситуації утворюють деяку узагальнену модель, а дія інформаційної системи або зміни у зовнішньому середовищі призводять до зміни актуалізованих у даний момент станів. Серед узагальнених станів виділяються деякий початковий стан і кінцевий (цільовий) стан. Завдання полягає в пошуку шляху, що веде з початкового стану в один з кінцевих. Встановлення зв'язків (відношень) між компонентами моделі є досить складною проблемою і її успішне рішення дозволяє побудувати ефективну систему обробки даних у небезпечних ситуаціях в яких присутні елементи невизначеності.

В основу побудови показника рівня безпеки покладено причинно-наслідковий принцип. Причиною безпеки є названі вище загрози та ризики, а наслідком – збитки, та виражається через оцінку, яка пов'язує вихідні негативні фактори.

Система прийняття рішень працює з даними, що динамічно змінюються в часі і які часто носять випадковий характер. Тому запропоновано використовувати імовірнісний підхід, що передбачає розподіл відомих значень ймовірностей в заданому полі подій або наявність можливостей для їх отримання.

При формуванні імовірнісних оцінок рівнів безпеки ситуацій необхідно враховувати в першу чергу ті види загроз, які можуть створювати найбільш складні небезпечні ситуації для судна. Іншими словами, потрібно вибрати найбільш важливі, з точки зору безпеки руху судна, фактори, що мають негативний вплив. Це дозволяє визначити:

- ймовірність зіткнення;
- ймовірність небезпечного зближення.
- ймовірність отримання критичних збитків при зіткненні.

Для обґрунтування вибору запропонованих чинників можна використовувати такі аргументи:

1) Зіткнення призводить до пошкодження судна, вантажу, та нанесення шкоди життю та здоров'ю екіпажу та пасажирів.

2) Небезпечне зближення у складній навігаційній обстановці та при недостатній оперативності та обґрунтованості рішень судноводія може призвести до зіткнення.

3) Критичні збитки можуть призвести до затоплення, і як наслідок втрати судна, вантажу та загибелі членів екіпажу та пасажирів.

Інші фактори негативного впливу є менш значущими, і призводять до часткової втрати ресурсів. Наприклад, збільшення часу переходу або перевитрата палива не можуть завдати такого ж раптового збитку, як виділені вище фактори.

Введемо позначення подій:

$\theta$  – зіткнення;

$\eta$  – небезпечне зближення;

$\zeta$  – зіткнення з критичними збитками.

Тоді ймовірність затоплення судна  $P_{затоп}$  можна так:

$$P_{затоп} = P(\zeta) \cdot P(\eta) \cdot P(\theta|\eta), \quad (3.1)$$

де  $P(\zeta)$  – ймовірність зіткнення з критичними збитками;

$P(\eta)$  – ймовірність небезпечне зближення;

$P(\theta|\eta)$  – ймовірність зіткнення;

Вираз (3.1) описує всі основні події, негативно впливають на стан судна і таким чином відображає основні чинники небезпечних ситуацій.

Розглянемо ситуації, яким можна поставити у відповідність деякі значення ймовірностей  $P(\zeta)$ ,  $P(\eta)$ ,  $P(\theta|\eta)$ . Для цього будемо розглядати кожну з трьох подій, як події з двома наслідками “так” і “ні” з відповідними ймовірностями.

Складемо з трьох зазначених вище подій вектор ситуацій вигляду:

$$S = \{S_{\text{без}}^{\text{нав}}, S_{\text{небез}}^{\text{нав}}, S_{\text{авар}}^{\text{нав}}, S_{\text{кат}}^{\text{нав}}\}, \quad (3.2)$$

де  $S_{\text{без}}^{\text{нав}}$  – “безпечна навігаційна ситуація”, в якій низька ймовірність настання наведених вище подій;

$S_{\text{небез}}^{\text{нав}}$  – “небезпечна навігаційна ситуація”, яка призводить до високої ймовірності настання події “небезпечного зближення”;

$S_{\text{авар}}^{\text{нав}}$  – “аварійна навігаційна ситуація”, яка призводить до високої ймовірності настання події “зіткнення”;

$S_{\text{кат}}^{\text{нав}}$  – “катастрофічна навігаційна ситуація”, яка призводить до високої ймовірності настання події “отримання критичних збитків при зіткненні”.

Запропонована модель небезпечних ситуацій, дозволяє формально виділити з множини ситуацій критичні і зосередити увагу судноводія на них. Виділені ситуації ( $S_{\text{небез}}^{\text{нав}}, S_{\text{авар}}^{\text{нав}}, S_{\text{кат}}^{\text{нав}}$ ) є критичними і подальше усунення (або зведення до мінімуму) невизначеності відбувається за рахунок отримання достовірних вхідних даних в необхідній кількості.

Ймовірність настання події можуть приймати різні значення з інтервалу  $[0,1]$  і носять динамічний характер. Звідси кількість можливих варіантів і ситуацій може прагнути до нескінченності. Тому вибір з цієї множини найбільш небезпечних може бути здійснений за умови задання обмежень на основі реального досвіду. Проте, ситуації  $S_{\text{авар}}^{\text{нав}}, S_{\text{кат}}^{\text{нав}}$  настають після ситуації  $S_{\text{небез}}^{\text{нав}}$ . Тому побудову динамічного простору рівнів безпеки слід проводити ймовірностями настання події небезпечного зближення. А вже в ситуації небезпечного зближення розглядати ймовірності настання інших подій, що дозволить будувати простір безпеки за обмежений час.

Ймовірність події небезпечного зближення у точці району плавання можна подати так [23]:

$$P_{ij}(\eta) = 1 - K_{ij}^{S_{необ}^{nav}} \cdot P(T_{manev}) \cdot P(D_{manev}), \quad (3.3)$$

$$\text{де } K_{ij}^{S_{необ}^{nav}} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } d_{manev}^s \geq d_p^s > d_{min}^s; \\ 0, & \text{якщо } d_p^s \leq d_{min}^s, \end{cases} \quad (3.4)$$

$d_p^s$  – поточна дистанція між суднами;

$d_{manev}^s$  – дистанція початку маневру розходження;

$d_{min}^s$  – мінімальна дистанція зближення між суднами;

$P(T_{manev})$  – ймовірність своєчасного виконання маневру розходження;

$P(D_{manev})$  – ймовірність виконання маневру розходження.

Маневр розходження із судном-потенційною загрозою – це рух судна по оптимальній, найбільш віддаленій від зустрічного судна траєкторії, що забезпечує безаварійне розходження з ним на мінімально достатній для цього дистанції [112].

Оптимальна траєкторія руху судна тут визначається таким режимом роботи головного двигуна, положенням гвинта регульованого кроку і пера керма, будь-яка зміна яких призведе до збільшення дистанції розходження. У свою чергу, під мінімально допустимою дистанцією розходження необхідно розуміти таку дистанцію, зменшення якої на деяку нескінченно малу величину, призведе до зіткнення.

Для дистанції  $D_{manev}$  в [112, 131] запропонований такий алгоритм оцінки:

$$D_{manev} = \bar{D}_{manev} + \Delta D_{manev}, \quad (3.5)$$

де

$$\bar{D}_{manev} = \frac{3,688tg(\gamma/2)m(50Ld_{cp} + 1,12L^2 + 28B^2)\sqrt{1 + \left(\frac{v_d}{v_a}\right) - 2\left(\frac{v_d}{v_a}\right)\cos\gamma}}{d_{cp}^2\gamma^{0,2465}(L^{2+25B})\left(1 + 0,1d_{cp}/h - 0,71(d_{cp}/h)^2\right)} \times$$

$$\times \left[ -1519 \cdot \left(\frac{m}{C_\delta L^2 d_{cp}}\right)^3 + 622,96 \left(\frac{m}{C_\delta L^2 d_{cp}}\right)^2 - \frac{85,926m}{C_\delta L^2 d_{cp}} + 4,3384 \right], \quad (3.6)$$

$$\Delta D_{manev} = \begin{cases} 7B / \sin \gamma \sqrt{1 + (v_b / v_a) \cos \gamma}, & \text{при } \gamma < 90^\circ; \\ 4B / \sin \gamma \sqrt{1 + (v_b / v_a) \cos \gamma}, & \text{при } \gamma \geq 90^\circ, \end{cases} \quad (3.7)$$

$v_b, v_a$  – швидкості власного судна, та судна-потенційної загрози;

$m$  – вагова водотоннажність власного судна;

$L$  – довжина власного судна по ватерлінії;

$B$  – ширина власного судна по ватерлінії;

$d_{cp}$  – середня осадка власного судна;

$\gamma$  – кут перетину курсів;

$C_\delta$  – коефіцієнт повноти діаметральної площини власного судна;

$\Delta D_{manev}$  – поправка на ширину суден та їх гідродинамічної взаємодії при розходженні.

З наведеної математичної моделі дистанція маневру не залежить ні від умов навігаційної обстановки, ні від індивідуальних особливостей судноводія. Чим нижче рівень стійкості до стресу судноводія та складніша навігаційна ситуація, тобто чим вище екстремальність навігаційної ситуації, тим раніше (на більшій, ніж передбачено формулами (3.4) – (3.7) відстані) необхідно вжити маневр, щоб, в першу чергу, залишити запас часу і простору для компенсації невпевнених або помилкових рішень і дій судноводія. Таким чином, маневр необхідно починати при відстані між судами, яке залежить від екстремальності навігаційної ситуації.

Необхідний на виконання маневру розходження час, можна визначити так [29]:

$$m_{manev}^t = m_{вияв}^t + m_{обр}^t + m_{підг}^t + m_{вик}^t, \quad (3.8)$$

де  $m_{вияв}^t$  – математичне сподівання часу, витраченого на виявлення суднопотенційної загрози;

$m_{обр}^t$  – математичне сподівання часу, витраченого обробку інформації, прийняття і доведення рішення;

$m_{підг}^t$  – математичне сподівання часу, витраченого на безпосередню підготовку до виконання маневру;

$m_{вик}^t$  – математичне сподівання часу, необхідного на виконання маневру розходження.

Під зіткненням морських (річкових) суден розуміється зближення суден до фізичного контакту між ними, що супроводжується заподіянням шкоди цим суднам, їх технічному стану, вантажу, екіпажу та пасажиром [112].

До зіткнення призводять промахи в оцінці навігаційної обстановки та помилки, як при прийнятті рішення, так і при його реалізації судноводієм, в ситуації  $S_{небез}^{nav}$ . Складна навігаційна обстановка завжди впливає на судноводія. Індивідуальні особливості судноводія визначають його підготовленість до зустрічі з різними об'єктивними і суб'єктивними перешкодами, його стійкість до можливих негативних впливів з боку складності навігаційної обстановки.

Звідси можна виділити таку характеристику навігаційної ситуації як екстремальність. Екстремальність – показник специфічного стану системи "судноводій в ситуації", який змінюється в певному інтервалі залежно від різних факторів. У загальному вигляді екстремальність  $E_x$  можна представити [82, 104]:

$$Ex = f(DS^{nav}, HF), \quad (3.9)$$

де  $DS^{nav}$  – складність навігаційної ситуації;

$HF$  – показник, що характеризує стан судноводія, який обумовлює якість прийнятих ним рішень та їх реалізацію під час руху судна.

Тому перехід з  $S_{небез}^{nav}$  в  $S_{авар}^{nav}$  у кожен конкретний момент часу визначається поточним станом судноводія, що визначають можливість промахів та помилок при прийнятті ним рішень. У роботі [12] у результаті експерименту визначено, що апіорна оцінка ймовірності промаху  $P_m = 0,077$ . Проте, з ростом екстремальності навігаційної ситуації ймовірність промаху збільшується за експоненціальним законом до одиниці. Тоді ймовірність виникнення аварійної ситуації відповідно реальних умов навігаційної обстановки і поточного стану судноводія має вигляд [113]:

$$P(\theta) = e^{2,564(Ex-1)}. \quad (3.10)$$

Перехід із  $S_{авар}^{nav}$  в  $S_{кат}^{nav}$  відбувається при отриманні судном критичних пошкоджень, наслідком яких є втрата остійності та плавучості судна і його подальше затоплення. Основним критерієм стійкості (живучості) судна при зіткненні суден є глибина проникнення елементів одного судна в міжкорпусний простір іншого. Відомі кілька підходів до вирішення цього завдання. Глибина проникнення повинна бути меншою максимально безпечного пошкодження. Підхід щодо розрахунку критичних параметрів зіткнень суден враховує кут  $\gamma$  під яким судно таранить перешкоду за рахунок введення поправочного коефіцієнта  $1/\sin \gamma$  до розрахунків удару під прямим кутом відносно борту судна.

Але при зіткненнях, як правило, не витримується перпендикулярність

діаметральної площини судна, що таранить та судна, яке таранять.

Судно, що таранять також має хід, при цьому вектор швидкості судна, яке таранять, спрямований протилежно проекції швидкості судна на поздовжню вісь судна, що таранять тобто наявність ходу у судна, що таранять збільшує швидкість відносного руху суден.

Масштаб пошкодження, що викають при зіткненні, і довжина проникнення по борту з урахуванням траверзного зміщення будуть змінюватися за період часу зіткнення (взаємодії судів).

При цьому визначальними параметрами процесу є як маса суден (з урахуванням приєднання маси води при русі лагом), так і кути:  $\alpha$ , що характеризує відхилення кута між діаметральною площиною суден в момент зіткнення від прямої, і  $\beta$ , що враховує розташування центру мас суден. На рис. 3.6 наведені результати розрахунків залежності величини пробоїни ( $l$ ) у борту судна, яке таранять, залежно від відносної швидкості ( $\vec{V}_{відн}$ ) руху суден при [25]:

$$|\vec{V}_1| = |\vec{V}_2| = |\vec{V}_0|, \quad (3.11)$$

$$V_0 = V_{відн} \sqrt{2(1 + \sin \alpha)}, \quad (3.12)$$

та кута зіткнення ( $\pi + \alpha$ ) для типових конструкцій корпусу суден водотоннажністю 50 тис. т без урахування обертального руху судна. Встановлено, що максимальна довжина пробоїни досягається при куті зіткнення суден  $45^\circ$ .

Вимоги щодо непотоплюваності суден визначаються правилами класифікації та побудови морських суден. Вимогами до поділу судна на відсіки, будуються на ймовірнісній основі.

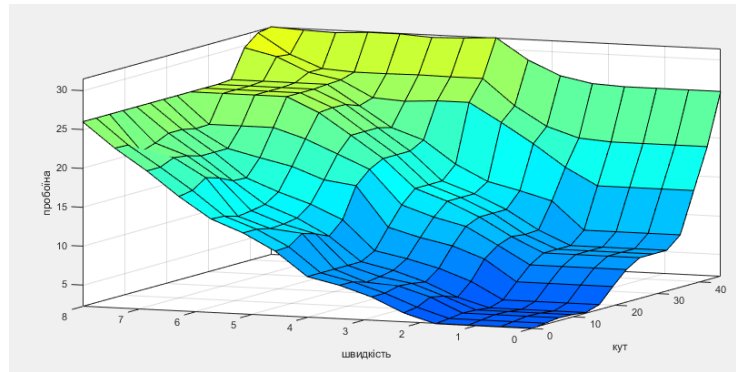


Рисунок 3.6 – Залежність розміру пробоїни судна після зіткнення

При цьому ймовірність збереження плавучості судна після отримання пробоїни, яка характеризується індексом поділу  $A$ , повинна бути не нижче величини, що характеризується необхідним індексом поділу  $R$ , тобто  $A \geq R$ . Величина  $R$  визначається довжиною судна, його призначенням і кількістю людей, що перевозяться судном.

Індекс  $A$  визначається сумою по всіх відсіках, ймовірністю затоплення відсіку (групи відсіків)  $P^{відс}$ , помножених на ймовірність збереження судна при пошкодженні  $P_{зб}^c$ , та визначається [17]:

$$A = \sum_{i=0}^n P_i^{відс} P_{зб}^c, \quad (3.13)$$

де

$$P^{відс} = p_{pos} \times p_l, \quad (3.14)$$

$$P_{зб}^c = c \times p_c, \quad (3.15)$$

$p_{pos}$  – вплив положення відсіку з урахуванням закону розподілу положення пробоїни відносно довжини судна;

$p_l$  – вплив довжини відсіку з урахуванням закону розподілу довжини пробоїни;

$c$  – умовний вплив аварійної остійності на ймовірність  $P_{зб}^c$ ;

$p_c$  – закон розподілу осадки і коефіцієнта проникності для вантажних трюмів.

Розрахунок  $A$  та  $R$  наведені в правилах [115]. На підставі проведеного вище аналізу і врахування впливу випадкових подій, наявності невизначеності, викликаних неповнотою та несвоечасністю отримання інформації, необхідної для оцінки ситуації, що включає вибрану множину найбільш значущих чинників, що впливають на якість прийняття рішень судноводієм, пропонується обчислювати інтегральне значення ймовірності отримання пошкоджень судном в районі плавання. Враховуючи вираз (3.1), значення ймовірності отримання пошкоджень судном можна представити так:

$$P_d(posXY) = \left(1 - K_{xy}^{S_{неб}} \cdot P_{xy}(T_{manev}) \cdot P_{xy}(D_{manev})\right) P_{xy}(\zeta) \cdot e^{2,564(Ex_{xy}-1)}, \quad (3.16)$$

де  $P_d(posXY)$  – вектор, що фіксує рівень потенціалу небезпеки в конкретній точці простору  $(P, X, Y)$  над обраною (конкретною) зоною з координатами  $(X, Y)$ , які прив'язані до центру зони.

Вираз (3.16) є моделлю аналізованої ситуації та відображає події, що носять в цілому випадковий характер.

Загальна структура методу формування динамічного простору рівнів небезпеки зон у районі плавання при вирішенні завдання розходження судна з навігаційними небезпеками наведена на рис. 3.7.

Час, протягом якого значення вектору  $P_d(posXY)$  буде достовірним, залежить від швидкості зміни вхідних даних. Звідси випливає, що процес прийняття рішень є кінцевим, і його часовий інтервал повинен бути відомий судноводію.

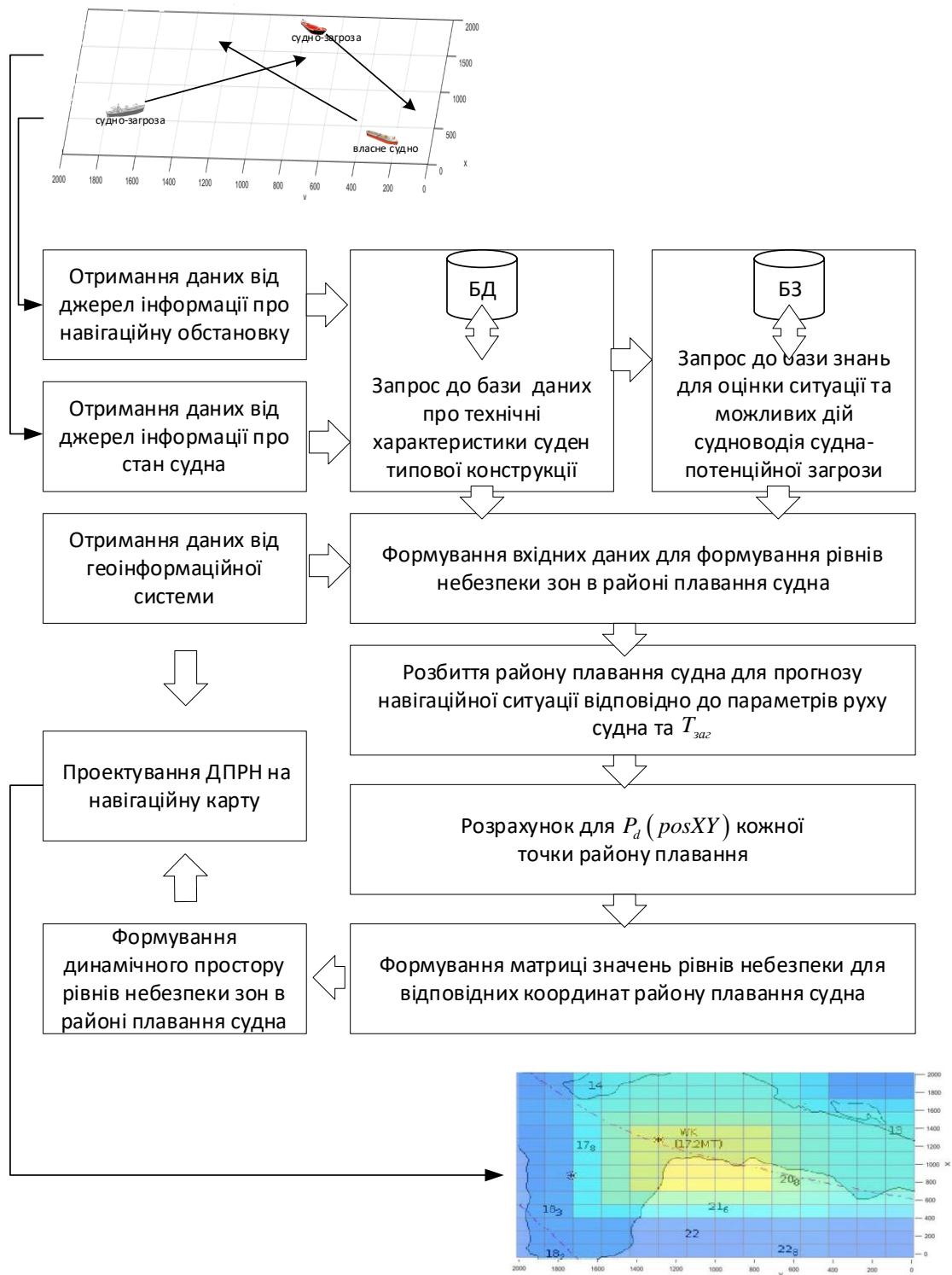


Рисунок 3.7 – Загальна структура методу формування динамічного простору рівнів небезпеки зон у районі плавання при вирішенні завдання розходження судна з навігаційними небезпеками

Процес моделювання варіантів переміщення судна в безпечну зони вимагає певного часу. У зв'язку з цим загальний час з початку збору вхідних даних про стан навігаційної обстановки до видачі варіантів маршрутів складатиме

$$T_{заг} = t_{зб} + t_{розр} + t_{мод}, \quad (3.17)$$

де  $t_{зб}$  – час, необхідний на збір даних та їх перетворення у зручну для автоматизованої обробки форму;

$t_{розр}$  – час, необхідний для обчислення  $P_d(posXY)$  району плавання судна;

$t_{мод}$  – час, необхідний для моделювання динамічного простору рівнів небезпеки для вироблення варіантів рішень щодо маневру розходження.

Звідси випливає, що інтервал розбиття динамічного простору рівнів небезпеки (ДПРН) можна визначити так:

$$I = V_{sh} T_{заг}, \quad (3.18)$$

де  $V_{sh}$  – швидкість власного судна.

Відповідно  $P_d(posXY)$  прогнозується для кожної точки району плавання з урахуванням характеристик руху суден. Розбиття району плавання відповідно до часу прогнозу показано на рис. 3.8.

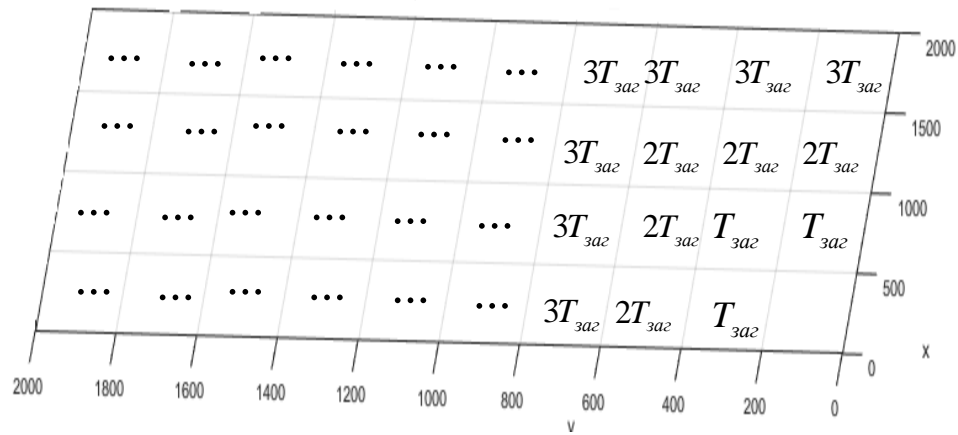


Рисунок 3.8 – Розбиття району плавання відповідно до інтервалів прогнозу

$$P_d(posXY)$$

З цього можна зробити висновок, що чим менше часу буде витрачено на збір даних, їх обробку і процес моделювання, тим більше часу залишиться у судноводія для остаточного прийняття рішення та його реалізації, а також безпосередньо і для самого маневру судна. З огляду на це завдання на цьому етапі полягає в тому, щоб мінімізувати  $T_{заг}$ . Зауважимо, що прогноз робиться за умови руху суден з визначеним курсом та швидкістю.

В результаті аналізу даних про стан навігаційної обстановки та прогнозу руху судна, що надходять від джерел інформації, формується масив вхідних даних для визначення  $P_d(posXY)$ . Кінцевим результатом роботи блоку аналізу вхідних даних про стан навігаційної обстановки буде матриця значень рівнів небезпеки для відповідних координат району плавання судна (табл. 3.1).

Для судноводія найбільш зручною формою сприйняття і візуальної оцінки стану навігаційної обстановки в районі плавання судна і в можливих точках його знаходження є подання рівнів небезпеки у вигляді тривимірної поверхні.

Таблиця 3.1 – Матриця значень рівнів небезпеки для відповідних координат району плавання судна

координата X \ координата Y	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	...	$x_i$
$y_1$	$P_{d(1,1)}$	$P_{d(1,2)}$	$P_{d(1,3)}$	$P_{d(1,4)}$	...	$P_{d(1,i)}$
$y_2$	$P_{d(2,1)}$	$P_{d(2,2)}$	$P_{d(2,3)}$	$P_{d(2,4)}$	...	$P_{d(2,i)}$
$y_3$	$P_{d(3,1)}$	$P_{d(3,2)}$	$P_{d(3,3)}$	$P_{d(3,4)}$	...	$P_{d(3,i)}$
...	...	...	...	...	...	...
$y_j$	$P_{d(j,1)}$	$P_{d(j,2)}$	$P_{d(j,3)}$	$P_{d(j,4)}$	...	$P_{d(j,i)}$

Судноводію найбільш зручною формою сприйняття і візуальної оцінки стану навігаційної обстановки в районі плавання судна і в можливих точках його знаходження є подання рівнів небезпеки у вигляді тривимірної поверхні. Даний підхід дозволяє проводити попередню оцінку ситуації і робити вибір варіанта рішення в реальному масштабі часу, коли дуже мало часу на виконання повного комплексу дій з вироблення варіантів рішень, за умови настання небезпечної ситуації. Іншою перевагою даного подання результатів аналізу навігаційної обстановки для судноводія є можливість відслідковувати зміну рівнів небезпеки не тільки для поточних координат судна, а й у всіх можливих місцях розташування судна, що визначаються межами (координатами) всього району плавання.

Для отримання тривимірної поверхні матриця значень рівнів небезпеки відображається на площину  $(X, Y)$ , на якій задані розбиття з координатами  $(x_i, y_j)$ . Вершинами такої поверхні є значення рівнів небезпеки  $P_d(posXY)$  моделі (3.16), які виражаються скалярним вектором і визначають висоту або рівень поверхні. З'єднання векторів між собою формує поверхню динамічного простору рівнів небезпек. Використовуючи різні кольорові гами при формуванні тривимірної поверхні, які відповідають різним рівням небезпеки, значно підвищується інформативність представлення результатів аналізу навігаційної обстановки.

В результаті на основі наведених в табл. 3.1 даних, формується

динамічний простір рівнів небезпеки, одержуваного шляхом проектування на карту, де  $(X, Y)$  є координатами району плавання рис. 3.9.

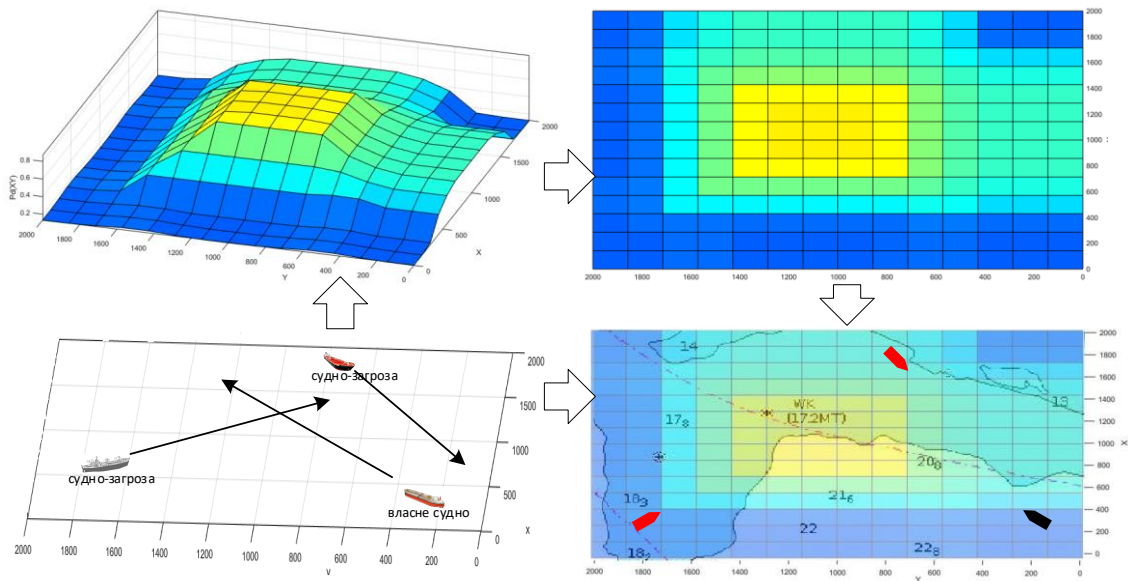


Рисунок 3.9 – Формування динамічного простору рівнів небезпеки та його проектування на карту

Для підвищення достовірності відображення навігаційної обстановки у вигляді ДПРН необхідно класифікувати значення рівнів небезпеки в точках координат району плавання. Наведена в табл. 3.2 класифікація рівнів небезпеки визначена на інтервалі від 0 до 1 відповідно до  $[P_d(posXY)_{\min}, P_d(posXY)_{\max}]$ .

Таблиця 3.2 – Класифікація інтервалів рівнів небезпеки

Клас небезпеки	Ступінь небезпеки	Інтервал значень
1 клас	"Катастрофічно"	$P_d(posXY) \geq 0,8$
2 клас	"Аварійно"	$0,8 > P_d(posXY) \geq 0,6$
3 клас	"Небезпечно"	$0,6 > P_d(posXY) \geq 0,3$
4 клас	"Безпечно"	$0,3 > P_d(posXY) \geq 0$

Використання запропонованої класифікації ступенів небезпеки визначає приналежність зон району плавання судна до класу небезпеки. Це дозволить

виключити з розгляду можливих зон для маневру, що відносяться до 1 та 2 класу небезпеки.

Проведений аналіз процесу оцінки навігаційної обстановки та прийняття рішень при управлінні рухом судна в небезпечній ситуації показав, що він характеризується невизначеністю, відсутністю, неповнотою або суперечливістю інформації про стан навколишнього середовища. На основі формалізації знань про процес оцінки навігаційної обстановки та дій судноводія судна-потенційної загрози, а також запропонованих можливих ситуацій розроблено метод формування динамічного простору рівнів небезпеки зон в районі плавання при вирішенні задачі розходження судна з навігаційними небезпеками. Розроблено математичну модель рівнів небезпеки, що дозволяє обчислювати їх значення і враховувати множину динамічно змінюваних чинників. Запропоновано модель відображення небезпечних ситуацій у вигляді динамічного простору рівнів небезпеки, яка підвищує ефективність аналізу навігаційної обстановки в умовах обмеженого часу. Це дозволить підвищити безпеку судноплавства за рахунок своєчасного виявлення та попередження небезпечної ситуації.

### 3.5 Формування маршрутів руху судна для безпечного розходження в небезпечній ситуації

У результаті аналізу потенційних дій судноводія судна-потенційної загрози, реалізованих на основі математичної моделі рівнів небезпеки, можна отримати ймовірні значення рівнів небезпеки в точках можливого руху судна.

Виходячи з цього, можна визначити дані, що у свою чергу будуть, вихідними даними для формування маршрутів руху: безпечних точок в які можливо виконати безпечний маневр. Таким чином, необхідно вирішити для формування маршруту, це зіставлення перерахованих вище даних зі схемою можливих маршрутів руху у небезпечній ситуації. На основі методу

виключення всіх небезпечних районів і непридатних для переміщення маршрутів руху судна на виході отримуємо дані про всі менш небезпечні райони для виходу із небезпечної ситуації та вибрати маневр для руху до них. У свою чергу ці дані будуть одними з вхідних даних для блоку моделювання визначених варіантів маршруту для виходу в безпечні райони. На рис. 3.10 наведено схему організації вхідних та вихідних даних для формування маршруту.

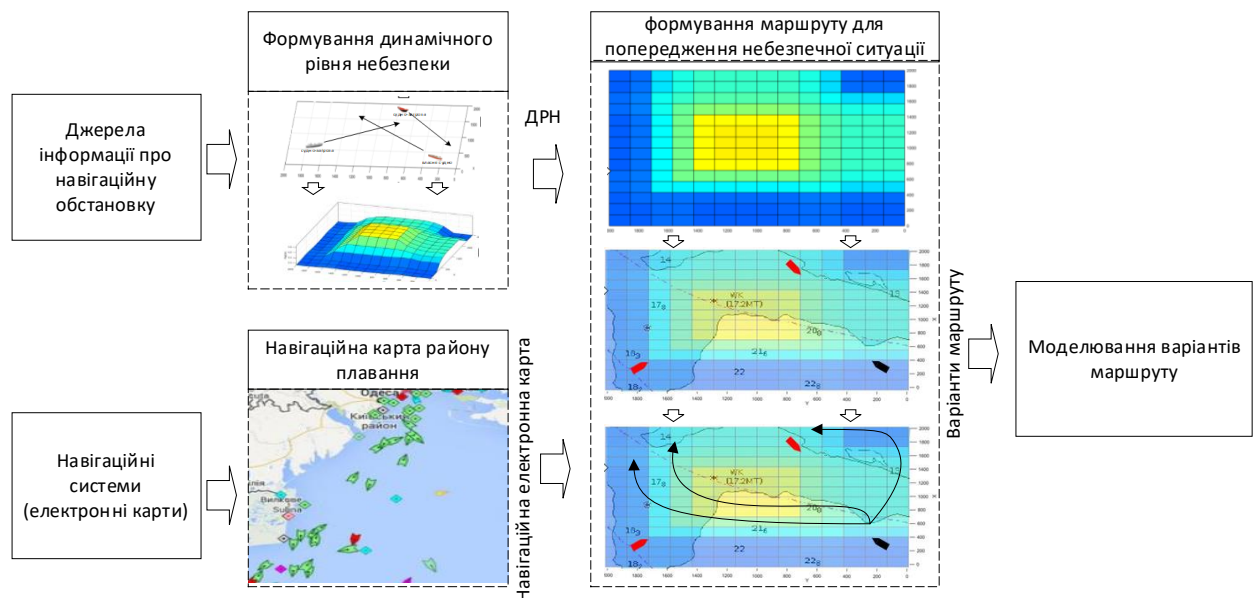


Рисунок 3.10 – Схема організації вхідних та вихідних даних для формування маршрутів при попередженні небезпечної ситуації

Для формування маршрутів необхідно отримати вихідні дані, які формуються на етапі оцінки навігаційної обстановки, та визначити координати всіх можливих точок району плавання, в яких забезпечується безпека руху судна. На основі цих даних формуються можливі маршрути пересування між початковою точкою, в якій знаходиться судно, та кінцевою безпечною точкою в даному районі плавання. На основі отриманих даних ДРН відбувається виключення з розгляду кінцевих точок руху судна, що належать до класу "небезпечні" і "аварійні" або "катастрофічні", а також маршрути, що пролягають через них. Якщо ж обстановка не змінилася,

проводиться перевірка зміни вхідних даних. При зміні вхідних даних відбувається їх уточнення. В іншому випадку отримують оновлену ДРН, куди надходять дані оцінки навігаційної обстановки у вигляді ДПРН. На основі наведеного ітераційного процесу проводиться формування маршрутів руху судна не менше, ніж в одну безпечну точку маршруту. Далі відбувається аналіз стану вихідних даних, і при відсутності змін відбувається виведення сформованих маршрутів і перехід до алгоритму моделювання варіантів руху судна. Загальна структура алгоритму формування маршрутів руху судна для попередження небезпечної ситуації наведено на рис. 3.11.

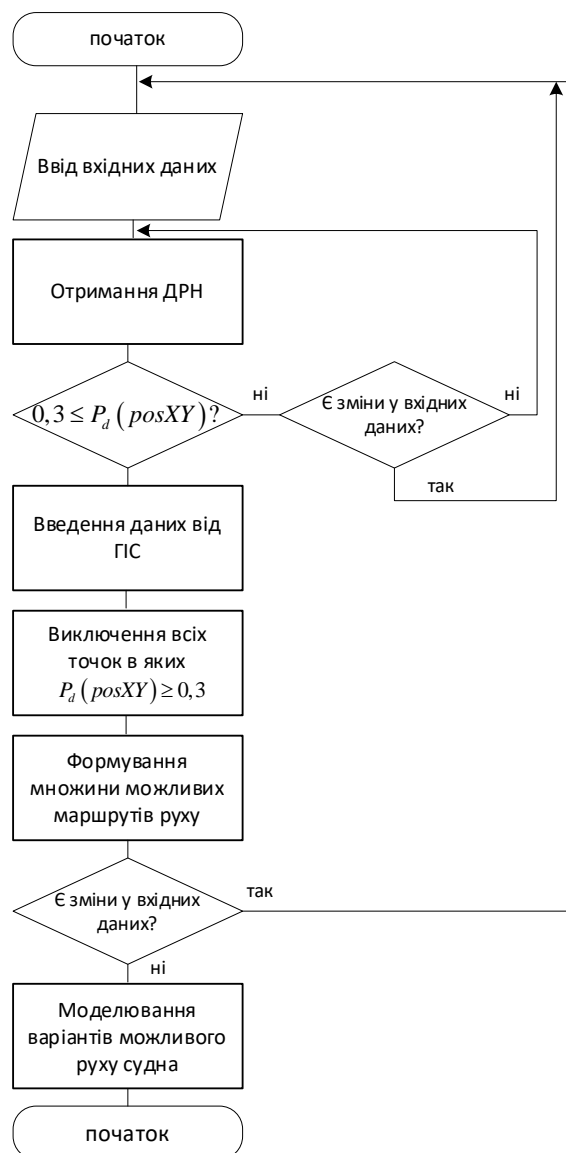


Рисунок 3.11 – Структура алгоритм формування можливих маршрутів руху судна

Отже, виключаючи з розгляду всі небезпечні зони руху судна, переходимо до етапу формування маршрутів, визначаються всі можливі безпечні маршрути руху судна, з урахуванням даних ДПРН та ГІС.

При формуванні маршрутів безпечного руху судна необхідно враховувати вплив динамічної зміни навігаційної обстановки в районі плавання. При попаданні в умови реалізації небезпечної ситуації, район плавання характеризується високим темпом зміни факторів навколишнього середовища. Врахування цих факторів, які є основним джерелом негативного впливу, а також стану судна і впливу метеорологічних умов, вказує на необхідність оцінки динаміки зміни навігаційної обстановки на основі часових схем формування маршруту руху судна. Розглянемо інтервалу безпеки на якому показано залежність часу прийняття рішення судноводієм та часу здійснення маневру від наявного часу до моменту небезпечного зближення (зіткнення) (рис. 3.12).

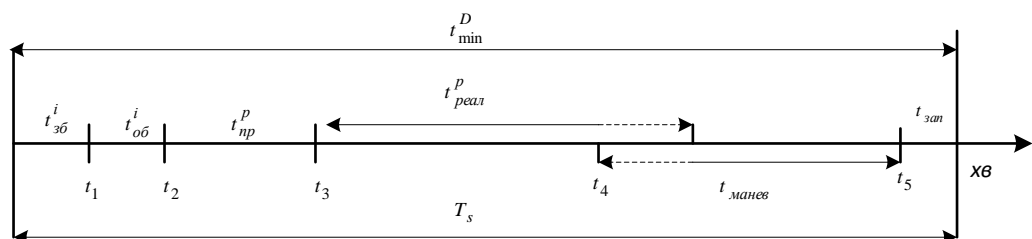


Рисунок 3.12 – Безпечний інтервал часу для попередження небезпечної ситуації під час руху судна

З рис. 3.12 видно, що час, необхідний для прийняття рішень  $t_{np}^P$ , буде складатися з часу, необхідного на збір інформації  $t_{зб}^i$ , часу на обробку інформації  $t_{об}^i$  та часу вироблення рішення судноводієм  $t_{вир}^P$ :

$$t_{np}^P = t_{зб}^i + t_{об}^i + t_{вир}^P. \quad (3.20)$$

Час, необхідний на реалізацію прийнятого рішення, складається з часу

на доведення рішення  $t_{\text{дов}}^P$  та часу, який складає затримку на виконання управлінського впливу  $t_{\text{затр}}^P$ :

$$t_{\text{реал}}^P = t_{\text{дов}}^P + t_{\text{затр}}^P. \quad (3.21)$$

$t_{\text{манев}}^P$  – час, необхідний на для виконання безпосередньо маневру розходження та руху судна у безпечну зону.

$t_{\text{min}}^D$  – мінімальний час, необхідний на для виконання безпосередньо маневру розходження та руху судна у безпечну зону. Цей час визначається на етапі аналізу факторів навколишнього середовища і залежить, в першу чергу, від наявних у судноводія джерел інформації про навігаційну обстановку.

Звідси випливає, що для забезпечення безпеки розходження суден в небезпечній ситуації необхідно при виявленні навігаційної небезпеки залишити якомога більше часу на виконання маневру. Це зумовлено тим, що є мінімальний час виконання маневру, який залежить від маневрених характеристик судна, і судноводій не може на нього вплинути. Тому отримати вигравш у часі можна лише при:

$$\begin{cases} t_{\text{нр}}^P \rightarrow \min \\ t_{\text{реал}}^P \rightarrow \min \\ t_{\text{манев}}^P \rightarrow \max \end{cases}. \quad (3.21)$$

З виразу (3.21) визначимо залежність:

$$t_{\text{манев}}^{\max} = t_{\text{min}}^D - t_{\text{нр}(\min)}^P - t_{\text{реал}(\min)}^P. \quad (3.22)$$

З виразів (3.21-3.22) випливає критерій оцінки для вибору варіанту маршруту судна в безпечний район. Його суть полягає у тому, що різниця

між часом до моменту небезпечного зближення (зіткнення) і часом на прийняття рішення на здійснення маневру в безпечний район має бути максимальною. Також важливо збільшити час, необхідний на реалізацію прийнятого рішення та маневр. Це дозволить оцінити варіанти маршрутів щодо попередження небезпечної ситуації та уникнення зіткнення:

$$(t_{\min}^D - t_{np}^P) \rightarrow \max > t_{маневр} + t_{реал}^P. \quad (3.23)$$

Якщо  $t_{\min}^D - t_{np}^P = 0$ , то виконання маневру розходження є недоцільним, оскільки, судно буде знаходитися в зоні зіткнення, і на заходи пов'язані з підготовкою та виконанням маневру часу вже не буде. У цьому випадку необхідно застосовувати підходи, не пов'язані з маневром розходження, а виконати маневр останнього моменту та почати підготовку до ліквідації (мінімізації) наслідків зіткнення.

З аналізу запропонованого критерію можна визначити, що час, при якому забезпечується безпека розходження суден  $T_s$ , жорстко залежить від  $t_{\min}^D$ . Тому справедлива нерівність

$$T_s < t_{\min}^D. \quad (3.24)$$

В умовах динамічної зміни навігаційної обстановки на основі аналізу безпечного інтервалу часу для руху судна виникне необхідність корегування маршруту руху судна при розходженні з навігаційною небезпекою.

Відповідно до виразу (3.20), однією з важливих складових  $t_{np}^P \in t_{зб}^i$ , який необхідна на оновлення інформації про стан навігаційної обстановки. Тому коли є запас часу  $t_{зан}$ , і він більш ніж в два рази  $t_{зан} > t_{np}^P$ , з'являється можливість коригування маршруту руху судна в безпечну зону. За такої умови у судноводія з'являється можливість від одного і більше разів змінити

маршрут руху судна в безпечну зону.

Динамічна зміна навігаційної обстановки впливає не тільки на маршрут руху судна. Іноді виникає велика ймовірність того, що кінцевий або проміжний пункт маршруту руху судна виявиться в "аварійній" або "катастрофічній" зоні. Рух судна через ці зони може бути не менш потенційно небезпечним, ніж залишатися на попередньому маршруті. Це є недоліком підходу, суть якого полягає у коригуванні маршруту руху судна лише в одну безпечну зону. Альтернативним рішенням є коригування маршрутів та безпечних зон, що забезпечує на основі оперативного аналізу навігаційної обстановки адекватну реакцію на пропозицію не тільки найбільш безпечного маршруту руху судна, але і вибору менш небезпечної зони.

За час  $t_{np}^p$  навігаційна обстановка може різко змінитися так, що початковий маршрут безпечного розходження стане небезпечним, або кінцева точка маршруту виявиться у небезпечній зоні. У результаті аналізу навігаційної обстановки системою буде рекомендовано змінити маршрут, а при зміні рівнів безпеки у безпечній зоні змінити маршрут і безпечну зону. Таким чином, у результаті моніторингу зміни навігаційної обстановки формується комбінований маршрут руху у безпечну зону.

## Висновки за третім розділом

1. Удосконалено метод формалізації процесу оцінки навігаційної обстановки у районі плавання, який, на відміну від відомих базується, на використанні моделі динамічного простору рівнів небезпеки зон в районі плавання, яка враховує екстремальність ситуації та стан судноводія, що дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень судноводієм.

2. На основі формалізації задачі оцінки навігаційної обстановки та аналізу можливих ситуацій розроблено концептуальну модель підтримки прийняття рішень, що є основою для створення реальної системи і детального проєктування її компонентів.

3. Розроблено математичну модель рівнів небезпеки, що дозволяє обчислювати їх значення та враховувати множину факторів навігаційної обстановки, що впливають на безпеку руху судна.

4. Запропоновано геометричну модель динамічного простору рівнів небезпеки, що дозволяє відображати небезпечні ситуації на морі, і яка підвищує ефективність оперативності та обґрунтованість оцінки навігаційної обстановки в умовах обмеженого часу.

5. Розроблено алгоритм формування маршрутів руху судна у безпечну зону та порядок коригування маршрутів відповідно до умов динамічної зміни навігаційної обстановки.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА МЕТОДУ УЗГОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ «СУДНОВОДІЙ – СУДНО». ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ

Методи, запропоновані в другому і третьому розділах даної роботи, спрямовані на підвищення оперативності оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози та навігаційної обстановки в небезпечній ситуації.

При цьому контроль поточних управлінських дій судноводія та формування рекомендацій щодо управління ґрунтуються на прогнозі точності приведення судна в безпечну зону. У разі, якщо прогнозується перевищення допустимих значень відхилень від центру області, то система підтримки формує рекомендації, спрямовані на стимулювання судноводія до здійснення таких управлінських дій, які дозволяють забезпечити виконання вимог безпеки руху судна.

#### 4.1 Модель оцінки надійності роботи судноводія в небезпечній ситуації

Причинами помилок при виявленні та попередженні небезпечної ситуації судноводієм є такі:

- недостатня професійна підготовленість судноводія;
- когнітивні особливості сприйняття (уважність, пильність, тощо);
- стан втоми у процесі несення вахти;
- ергономічні властивості засобів управління судном;
- експлуатаційні характеристики ходового містка (шум, освітлення, тощо).

За показник надійності роботи судноводія можна взяти ймовірність безпомилкового виконання операції  $j$ -го типу  $i$ -им судноводієм –  $P_{ij}^{rel}$  [48]:

$$P_{ij}^{rel} = \frac{a_{ij}^{true}}{A_{ij}}, \quad (4.1)$$

де  $a_{ij}^{true}$  – кількість дій із  $A_{ij}$  виконані судноводієм правильно;

$A_{ij}$  – кількість дій  $j$ -го типу виконані  $i$ -м судноводієм за певний період часу.

Також для визначення надійності судноводія можна розглядати ймовірність готовності до виконання дії  $j$ -го типу  $i$ -м судноводієм [50]:

$$P_{ij}^{som} = \frac{r_{ij}^{time}}{R_{ij}}, \quad (4.2)$$

де  $r_{ij}^{time}$  – кількість дій із  $A_{ij}$ , виконані судноводієм своєчасно;

$R_{ij}$  – кількість дій  $j$ -го типу, виконані  $i$ -им судноводієм за певний період часу.

Оцінки надійності роботи судноводія в для визначення небезпечної ситуації можна здійснити за виразом [132]

$$t = CD - FD, \quad (4.3)$$

де  $CD$  – кількість правильно визначених небезпечних ситуацій;

$FD$  – кількість невизначених або хибних визначень небезпечних ситуацій.

Ймовірнісну модель роботи судноводія відповідно до рівня його підготовки можна розрахувати за виразом

$$P_i(nav) = \frac{e^{t_i(lp_i - ld)}}{1 + e^{t_i(lp_i - ld)}}, \quad (4.4)$$

де  $t_i$  – рівень підготовки  $i$ -го судноводія;

$ld$  – складність навігаційної обстановки;

$lp_i$  – рівень структурованості знань  $i$ -го судноводія.

У моделі (4.4) надійність роботи судноводія визначається як різниця рівня підготовки та складності навігаційної обстановки, а також відповідності та структурованості професійних знань судноводія щодо ситуацій, що виникають під час руху судна.

Аналіз дій судноводіїв у небезпечній ситуації показує, що крім компетентності на надійність роботи судноводія впливають наявні ресурси для вироблення та реалізації управлінських впливів.

У цьому випадку під ресурсом розуміється чинники, які дозволяють функціонування судноводія на певному рівні.

У свою чергу під загрозою розуміються дії судноводія, які потенційно можуть привести до зниження заданої безпеки руху. Загроза може бути реалізована за рахунок вразливостей.

Критичність ресурсу – це міра важливості ресурсу для безпеки руху судна, тобто, наскільки реалізація загрози вплине на працездатність судноводія. Загрози, що впливають на конкретний ресурс та вразливості, зумовлюють ризики, що можуть знизити надійність діяльності судноводія.

На основі розглянутого підходу до аналізу діяльності судноводія можна побудувати модель надійності роботи судноводія (рис. 4.1):

Наведена структурна модель системи оцінки надійності судноводія дозволяє визначити вплив об'єктивних зовнішніх та внутрішніх факторів, а також визначити ступінь їх впливу на стан судноводія та на прийняття ним рішень у небезпечній ситуації.

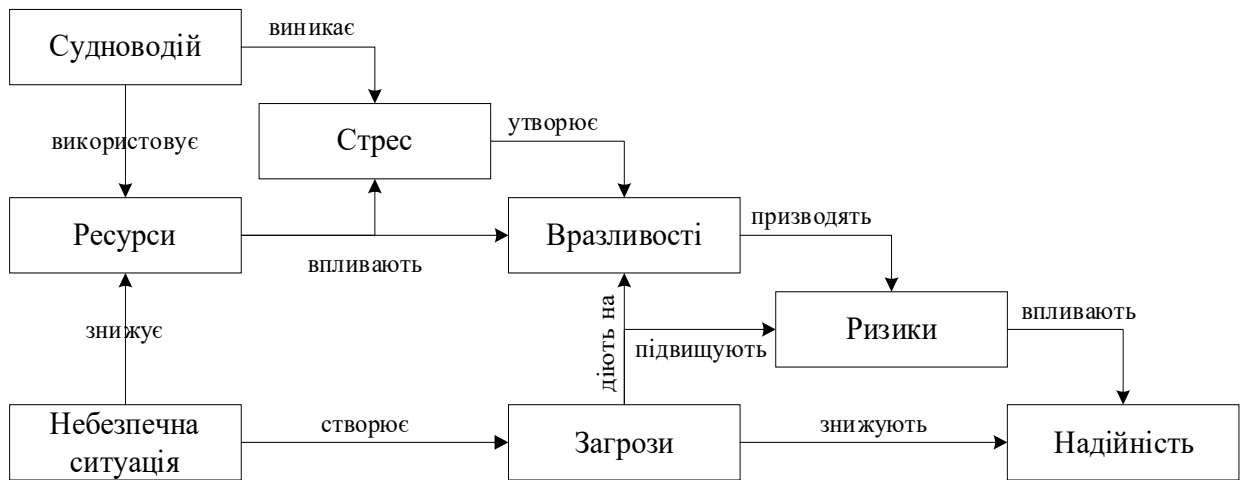


Рисунок 4.1 – Структурна модель надійності роботи судноводія

Небезпечна ситуація є основним джерелом дестабілізуючих факторів. Дестабілізуючі фактори проявляються у вигляді загроз, збільшення вразливостей та підвищення ризику зниження надійності роботи судноводія. Сукупність дестабілізуючих факторів утворюють загрози, які представляють можливість виникнення помилок у діях судноводія.

Помилки не є аномальною поведінкою. Вони являють собою природний побічний результат практично всіх зусиль людини. Повністю їх уникнути в діяльності судноводія не вдається, але вони піддаються контролю за допомогою застосування удосконалення систем управління судном, відповідної підготовки та належної правки процедур. Помилки судноводія можна класифікувати так:

- промахи (дії, які виконані не так, як планувалося);
- упущення (неврахування того чи іншого фактору, або пропуску важливої інформації при прийнятті рішення);
- помилки сприйняття (помилки розпізнання ситуації, коли судноводій приймає рішення на основі власних суджень, що не відповідають реальній навігаційній обстановці).

Усі ці помилки радикально відрізняються від порушень, хоча і ті й інші можуть призвести до небезпечної ситуації. Порушення – це навмисний акт судноводія. Повне виключення помилок у діяльності судноводія неможливо.

Проблема не тільки в тому, щоб запобігати помилкам, але і в тому, щоб навчитися безпечно долати неминучі помилки.

У свою чергу, загрози впливають на вразливості, що призводять до збільшення ризику виникнення помилок у роботі судноводія. Таким чином, розглянуті ризики в сукупності з виникаючими загрозами негативно впливають на надійність роботи судноводія – його здатність виконувати свої функції на заданому рівні в умовах небезпечної ситуації.

#### 4.2 Обґрунтування використання апарату нечітких нейронних мереж для формування моделі дій судноводія

Для вирішення завдання прогнозу точності приведення судна в безпечну зону на основі поточного стану необхідно визначити модель дій судноводія. При цьому з урахуванням індивідуальної манери управління судном необхідно визначити такий спосіб побудови моделі, яка б враховувала манеру управління судном. Для цього можна скористатися методами штучного інтелекту.

Перевагою нейромережевого підходу є відсутність необхідності вибору виду моделі діяльності судноводія. У роботах [119, 126], індивідуальні особливості управління рухом судна відображається у структурі нейронної мережі, значень її параметрів і наборі вхідних сигналів мережі. Навчання мережі може здійснюватися з використанням даних, які отримані від аналізу попередньої діяльності судноводія [48, 129]. На основі визначення значення відхилення від центру безпечної зони формуються рекомендації судноводію.

Основною перевагою нейронних мереж є їх адаптивність. Тобто нейронні мережі можна навчити виробляти правильні реакції на певні умови середовища. А при появі нових значень параметрів умов обстановки її можна перенавчити та адаптувати до адекватних дій. В умовах динамічної зміни умов обстановки стійкість роботи системи можна забезпечити підвищенням здібностей системи до адаптації.

Нейронні мережі мають високу стійкість до відмов. У критичних умовах роботи їх продуктивність може знизитися. При пошкодженні нейрону або зв'язку з ним ускладнюється доступ до інформації, але це не призведе до катастрофічних наслідків. Проте, важливим є характер пошкоджень. Розподілений характер зберігання інформації в нейронній мережі вказує на те, що серйозні пошкодження структури нейронної мережі істотно вплинуть на її працездатність. Нейронні мережі є універсальним механізмом обробки інформації, що дозволяє однаково структуру нейронної мережі використовувати для моделювання роботи різних судноводіїв.

#### 4.3 Моделювання діяльності судноводія нечіткою нейронною мережі

Формування бази знань для вирішення задачі оцінки надійності роботи судноводія на основі знань експерта відбувається за рахунок суб'єктивної побудови лінгвістичного опису поведінки судноводія в небезпечній ситуації [29, 49]. Це знання сформульовано у вигляді нечітких правил "якщо-то". Однак у багатьох випадках знання експерта недоступні. Деякі знання можуть бути помилковими і привести до неправильної моделі. До того ж неможливо у повному обсязі змоделювати процес попередження небезпечної ситуації під час руху судна. Для усунення цих недоліків перспективними представляються підходи, які полягають в автоматичній генерації нечітких продукційних моделей, виходячи з даних, отриманих під час руху судна.

Системи управління на основі математичного апарату нечітких множин та нечіткої логіки можна застосовувати для вирішення тих же завдань, де використовуються й штучні нейронні мережі. При цьому аналіз навченої нейронної мережі є складним процесом, оскільки накопичені знання розподілені між усіма нейронами і недоступні для оцінки. Системи управління з нечіткою логікою, позбавлені цих недоліків. У той же час нейронні мережі, на відміну від системи управління з нечіткою логікою мають здатність до навчання та адаптації. Таким чином, нечіткі нейронні

мережі мають переваги кожного з підходів. Нечітка нейронна мережа (ННМ) може бути представлена у формі багатошарової мережі з прямим розповсюдженням сигналу [61]. Їх виведення гуртуються на апараті нечіткої логіки, а функції приналежності підлаштовуються під використання алгоритмів навчання нейронних мереж (зокрема, алгоритму зворотного поширення помилки). Нечіткі нейронні мережі не тільки використовують апріорну інформацію, а й набувають нових знань.

Нечітка нейронна мережа – це нейронна мережа з чіткими вхідними значеннями, вагами та активаційною функцією, але з об'єднанням вхідного сигналу ( $x_i$ ) та ваги входу ( $w_i$ ) з використанням  $t$ -норми,  $t$ -конорми або деяких інших безперервних операцій [29]. Входи, виходи і ваги ННМ – числа, що належать на відрізьку  $[0, 1]$ .

У даній роботі використовувалася архітектура ННМ ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) з логічним виведенням Сугено. База знань цієї мережі будується у вигляді сукупності нечітких продукційних правил (НПП). Вхідні змінні, це фактори, що впливають на надійність роботи судноводія.

Вихід мережі при кількості правил  $M$  має вигляд

$$y(x) = \frac{\sum_{i=1}^M w_i y_i(x)}{\sum_{i=1}^M w_i}, \quad (4.5)$$

де

$$y_i = p_{i0} + \sum_j^N p_{ij} x_j. \quad (4.6)$$

ННМ в загальному вигляді може бути описана так [39]:

*Перший шар:* фазифікація кожної змінної.

*Другий шар:* агрегування окремих змінних, визначення ваг  $w_i$  для  $x_j$ , визначення результуючого коефіцієнта приналежності:

$$w_i = \mu_A^i(x). \quad (4.7)$$

*Третій шар:* генератор функції Сугено, розрахунок значень  $y_i$  і  $w_i y_i(x)$ , де  $w_i$  сформовані у попередньому шарі.

*Четвертий шар:* два нейрона-суматора – один розраховує суму сигналів  $y_i(x)$ , другий - суму ваг  $w_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ .

*П'ятий шар:* один нейрон, який нормалізує шар, в якому вихідний сигнал агрегується.

#### 4.4 Метод узгодження елементів ергатичної системи "судноводій – судно" з використанням нечіткої нейронної мережі

Ергатичні системи управління зі змінною структурою є невід'ємною частиною сучасних суден. Вони забезпечують автоматизацію технологічних процесів і, як правило, передбачають можливість переходу від автоматичного управління до неавтоматичного і, навпаки, за участю судноводія.

В одній і тій же ситуації зближення діапазон прийнятих рішень є досить широким як за маневром, так і його просторово часовими параметрами залежно від факторів, наведених на рис. 4.2.

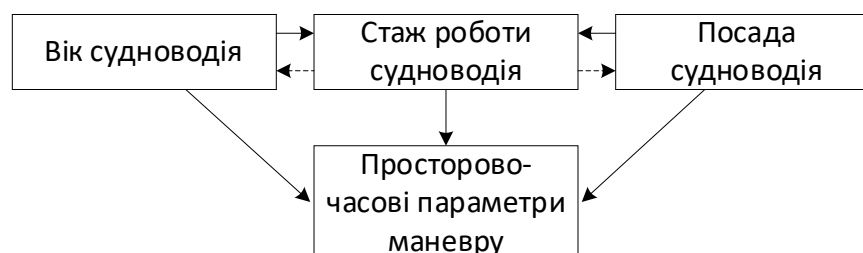


Рисунок 4.2 – Схема впливу людського фактору на вид та параметри маневру розходження

Статистичний аналіз дій судноводіїв у небезпечній ситуації дозволяє виявити такі закономірності:

- чим більше вік у судноводіїв, тим більше значення дистанції початку маневру і фактичної дистанції розходження;

- чим вища посада у судноводіїв, тим більше значення дистанції початку маневру і фактичної дистанції розходження;

- чим більше стаж роботи у судноводіїв, тим більше значення дистанції початку маневру і фактичної дистанції розходження;

- вибране значення дистанції початку маневру і значення фактичної дистанції розходження збільшуються при підвищенні сумарних значень всіх трьох чинників.

Проведений аналіз у роботі [45] показує, що у конкретній ситуації відповідно до правила 17 (а), судноводії вибирають наступну дистанцію та вид маневру:

- 7% судноводіїв змінюють курс вправо на 90-120°;

- 4% судноводіїв змінюють швидкість;

- 3% судноводіїв змінюють курс вліво;

- 6% судноводіїв змінюють курс вправо та швидкість;

- 44% судноводіїв виконують циркуляцію вправо;

- 18% судноводіїв змінюють курс вправо та йдуть паралельним курсом з СПЗ;

- 18% судноводіїв змінюють курс вправо на 20-40°;

Більшість судноводіїв роблять маневр на дистанції від 11 до 22 кабельтових і розходяться на дистанції від 5 до 17 кабельтових. Визначено, що маневрування курсом вправо в тих чи інших його модифікаціях використовується більшістю судноводіїв (93%).

Виконання циркуляції вправо є найбільш поширений маневр. Проте, у випадках запізнитої дії судноводія (особливо великотоннажного судна) цей маневр в деяких випадках не забезпечує безпечне розходження. При великих курсових кутах, зміна курсу вправо з виходом на курс, паралельний курсу

судна-потенційної загрози є найбезпечнішим варіантом дій, якому поступаються дорогою.

Також виявлено і ряд істотних порушень МПЗЗС-72 та рекомендацій доброї морської практики. Це і незастосування більшістю судноводіїв звукових і світлових сигналів, прописаних правилами 34 та 36.

Як відомо, людина досить швидко втомлюється. Він може одночасно обробляти лише невеликий потік інформації з невисокою швидкістю і не в змозі управляти процесами, що стрімко протікають та контролювати їх. Судноводій може робити помилки та промахи навіть у найпростіших ситуаціях. У той же час він здатний творчо осмислювати контрольований процес та передбачити його розвиток. Разом з тим судноводій в системі управління технічними засобами судна може істотно поліпшити характеристики надійності автоматизованих агрегатів і комплексів.

У той же час було відзначено, що найслабшою ланкою системи "людина-судно-середовище" є судноводій. Отже, необхідно допомогти судноводію впоратися з тими завданнями, які вирішити в повній мірі він не може. Із загальної теорії управління відомо, що надійність системи залежить в першу чергу від часу, необхідного для виконання операції з управління.

Помилки судноводія, як правило, пов'язані з браком часу на прийняття рішення (відсутністю необхідного часу резервування). Причому, чим складніша навігаційна обстановка, тим менше проміжок часу, протягом якого судноводій може адекватно здійснювати свою діяльність. У роботах [12, 23, 45, 61] встановлено гранично допустимі навантаження на людину та доведено, що умови роботи є важкими, якщо кількість одночасно контрольованих факторів становить 10-25, а частка часу зосередженого спостереження за зміну 0,5-0,75.

Судноводій при несенні ходової вахти постійно контролює близько 20 факторів, які впливають на безпеку руху судна, причому деяких з них - відразу за кількома параметрами. Так, що при плаванні в обмежених зонах та зонах з інтенсивним рухом та при поганій видимості зосереджене

спостереження ведеться постійно, тобто 100% часу діяльності судноводія. Тому важливим елементом у забезпеченні надійності суднової ергатичної системи управління зі змінною структурою є "людський елемент". Отже при аналізі надійності такої системи необхідно використовувати модель надійності роботи судноводія, включеного до складу цієї системи.

Завдання оперативного контролю та аналізу управлінських дій судноводія після прибуття в порт, грають одну з найважливіших ролей в області підвищення безпеки судноплавства та ефективності використання ресурсів судна. На сьогоднішній день тенденції розвитку в області судноплавства характеризуються безперервним розширенням кола завдань, що вирішуються екіпажем судна. Ця обставина поряд з такими чинниками, як підвищення технічних характеристик суден, ускладнення комплексу судового обладнання та високі вимоги до рівня безпеки призвело до підвищення психофізіологічного навантаження на судноводія у процесі плавання та визначає підвищені вимоги до його підготовки.

Вирішення завдання узгодження технічного та біологічного сегментів ергатичної системи "судноводій-судно", як зазначено у роботах [13, 56], дозволить підвищити рівень безпеки судноплавства та ефективності експлуатації судна. У них запропонований підхід до вирішення завдання узгодження шляхом підвищення ефективності управлінських дій судноводія на основі індивідуально-адаптованого оперативного контролю та аналізу його управляючих впливів. Зв'язок завдань оперативного контролю та аналізу з проблемою узгодження технічного і біологічного сегментів визначається тим, що судноводій (біологічний сегмент) є по суті основним елементом, який впливає на судно (технічний сегмент), здійснюючи безперервне управління. При цьому, оскільки об'єктом і контролю, і аналізу є одна і та ж сутність дії судноводія при управлінні судном, доцільно розглядати спільне рішення цих завдань. Саме тому розробка загальних підходів, методів, алгоритмів і моделей, які могли б служити базою для вирішення перерахованих вище завдань, є актуальним завданням.

Відмітимо, що, незважаючи на різні причини виникнення та наслідки небезпечних ситуацій під час руху судна, переважна більшість аварій, були викликані помилками судноводіїв та берегових працівників, пов'язаних з рухом суден (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Статистика аварій по причинах їх виникнення

Це особливо важливо, оскільки серед причин зниження безпеки мореплавання та аварійності домінує "людський фактор": кількість аварій з вини судноводіїв суден досягає за даними різних авторів 75-80% [13].

До важких порушень заходів безпеки в судноплаванні можна віднести випадки, коли наслідки небезпечної ситуації призводять до морських катастроф, а саме до загибелі суден, людських жертв, екологічних проблем. Всі аварії суден, викликані людським фактором, можуть бути розділені на такі групи:

- навігаційні (викликані некомпетентністю судноводія та/або екіпажу, відсутністю відповідного досвіду, вміння приймати швидкі та обґрунтовані рішення у небезпечних ситуаціях);

- технологічні (викликані порушенням міцності корпусу судна, його механізмів, втратою остійності, переміщенням вантажів, виникненням пожежі, попаданням води у внутрішні відсіки);

- технічні (викликані неналежним технічним обслуговуванням та/або експлуатацією судна).

На сучасному етапі основним напрямком розвитку судноплавання для зниження аварійності є продовження автоматизації процесів управління

судном, що значно видозмінює діяльність судноводія та екіпажу. Управління судном та судновими системами спрощується, але різко зростають навантаження, пов'язані з прийомом та обробкою інформації щодо контролю за роботою систем. Усе більше підвищується психологічне навантаження на членів екіпажу. Суднові інформаційні системи (СІС) є тією частиною суднового обладнання, з якими судноводій безпосередньо взаємодіє. Взаємодію судноводія з СІС можна представити як взаємодію двох інформаційних процесорів людини та ЕОМ, що обмінюються даними за допомогою інтерфейсу з вузькою смугою пропускання (від 2-6 до 10 біт/с).

Під ергатичною системою "судноводій – судно" (рис. 4.4) розуміється комплекс, що забезпечує вплив судноводія на судно та його системи за допомогою різних засобів та органів управління, а з іншого боку, інформування судноводія про стан судна за допомогою суднових інформаційних систем.

Основними принципами при розробці ергатичної системи зі змінною структурою «судноводій – судно» є:

- виконання вимог ергономіки;
- логіка роботи системи повинна бути зрозумілою для судноводія, тобто вона повинна описуватися набором доступних правил;
- за безпеку і ефективність плавання відповідає судноводій. У судноводія повинна бути можливість відключити автоматичний режим та перейти на ручний, при цьому автоматика не повинна впливати на робочий режим;

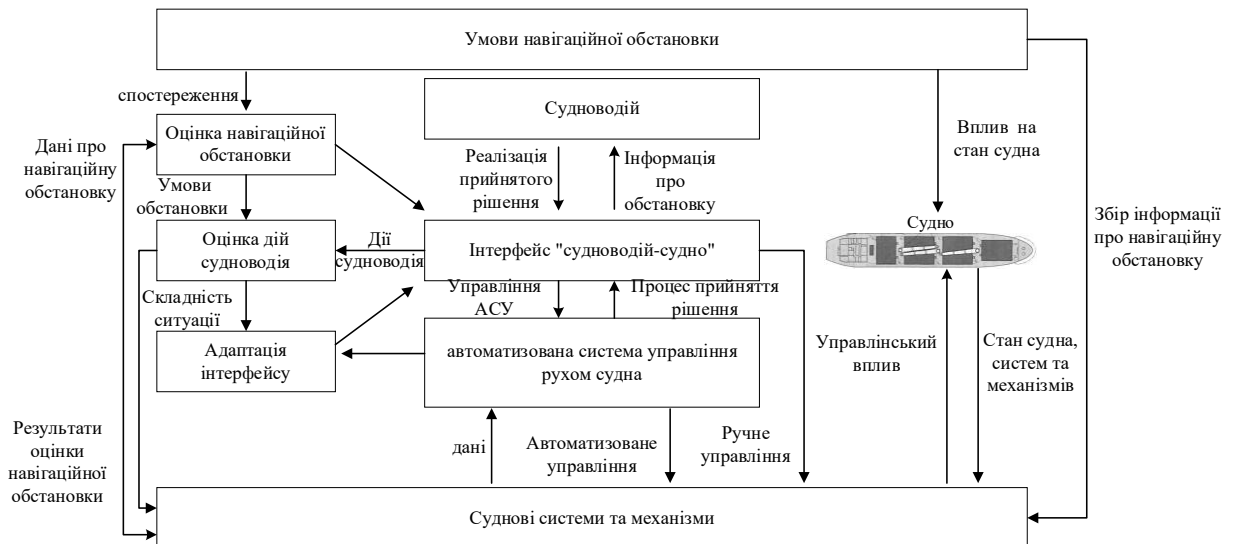


Рисунок 4.4 – Структурна схема ергатичної системи "судноводій- судно" зі змінною структурою

- при відмові автоматики повинні бути створені умови для виконання завдання судноводієм. Ручний режим повинен пересилювати автоматичний;
- якщо судноводій вибрав потенційно небезпечний режим, автоматизована система повинна його про це попередити та у небезпечних випадках реагувати;
- судноводій постійно повинен бути обізнаний про всі завдання, які виконуються системою, і повинен усвідомлювати, в якому стані знаходиться кожне із завдань;
- система повинна інформувати судноводія про режим роботи і свій стан (справна / несправна);
- у судноводія повинна бути можливість доступу до вихідної інформації з метою перевірки безпомилковості роботи системи при відображенні інформації;
- на всіх етапах плавання судноводій повинен бути постійно включений до контуру управління судном та його системами;
- автоматизацію функції слід здійснювати тільки у тому випадку, коли підвищується ймовірність помилки судноводія;
- принцип цільової спрямованості – максимальна ймовірність рішення екіпажем поставленого завдання;

- принцип мінімуму часових витрат
- при виконанні алгоритмів роботи екіпажу, окремих членів екіпажу мінімізуються витрати часу;
- принцип оптимальної функціональності при ергатичної системи зі змінною структурою.

В ергатичній системі інтерфейс "судноводій-судно" залежно від ситуації, що складається під час руху судна повинен адаптуватися в частині обсягу наданої інформації, способів її надання, рівня автоматизації функцій (коли і що потрібно знати судноводію, в якій формі слід представляти йому інформацію і за допомогою яких засобів: візуальних, звукових, тактильних, лінгвістичних).

Інтерфейс фільтрує інформацію і визначає порядок її надання (встановлює пріоритети). Інтерфейс оцінює дії судноводія, навантаження на нього та здатність впоратися з негативними умовами обстановки, підлаштовується під стан судноводія.

При накопиченні досвіду судноводій набуває багато індивідуальних, тільки йому властивих особливостей отримання інформації. Він може легко розпізнавати типи ситуації та може передбачити хід їх подальшого розвитку. В області виконавчих функцій судноводій може адаптивно використовувати різні методи виконання робіт. Проте судноводій поступається автоматичним системам у швидкості та точності обробки інформації, реалізації управлінських функцій. Можливості судноводія обмежені психофізіологічними особливостями його організму. Небезпечні ситуації, пов'язані з діяльністю судноводія, що кваліфікуються як "помилка судноводія", може бути, і не були б такими, якщо оцінити їх з точки зору можливостей людського організму.

Розглянемо можливості використання ННМ ж як індивідуально-адаптованих нейромережєвих моделей судноводія для вирішення завдань оперативного контролю та аналізу його управляючих впливів з метою

узгодження технічного та біологічного сегментів системи "судноводій-судно".

Під моделлю дій судноводія буде розуміється залежність  $\delta(S, d)$ , яка для кожного значення дальності  $d$  до деякої заздалегідь відомої точки маршруту для системи "судноводій-судно" визначає прогнозовану точність приведення судна в деяку термінальну точку, що характеризується деякою скалярною величиною  $\delta$ . Модель  $\delta(S, d)$  представляється у вигляді нечіткої нейронної мережі типу ANFIS. Індивідуальні особливості керуючих реакцій судноводія проявляються в структурі та параметрах мережі, які визначаються за результатами процедури "навчання" з використанням даних, накопичених у попередніх плаваннях.

Параметри ННМ періодично уточнюються по мірі надходження нових даних в результаті виконання судноводієм своїх обов'язків, з урахуванням накопиченого досвіду та зміни кваліфікації. Для визначення параметрів нейронної мережі введемо поняття режиму плавання.

Під режимом плавання у даній роботі розуміються етапи руху судна, в яких судноводій переходить з одного алгоритму дій до іншого. Наприклад плавання у відкритих водах, плавання в обмежених навігаційних умовах, етапи приходу суден у порт та вихід у море, та ін.

В якості небезпечного режиму плавання будуть розглядатися ситуації розходження суден. Цей режим є найбільш суворо регламентованим, що дозволяє припустити, що, якщо індивідуальні особливості управління судном проявляються на ньому, то на інших режимах плавання ці прояви будуть ще більш істотними.

Для судноводія будемо застосовувати такий параметр, що характеризує безпеку приведення судна в термінальну точку траєкторії при виконанні маневру розходження в ситуації небезпечного зближення (зіткнення) [14]:

$$\eta_i = \sqrt{\frac{D_{зб}^{\min}}{d_{saf}^{\min}} + \frac{T_{зб}^{\min}}{t_{mv}^{\min}}}, \quad (4.8)$$

де  $D_{зб}^{\min}, T_{зб}^{\min}$  – відповідно дистанція та час найкоротшого зближення;

$d_{saf}^{\min}, t_{mv}^{\min}$  – відповідно мінімально-допустима дистанція найкоротшого зближення та час гальмування або циркуляції.

Вибір оптимально безпечного маневру, тобто значень швидкості  $V$  та курсу  $K$  виконується шляхом пошуку відповідних значень керуючих впливів  $u \in U$  (кут відхилення стерна та обороти двигуна) за допомогою нечіткої нейромережевої моделі, що враховує правила МПЗЗС-72 та динаміку руху судна. Наявність індивідуально-адаптованих нечітких нейромережевих моделей судноводія у вигляді залежностей  $\delta(S, d)$  дозволяє реалізувати контроль, а при необхідності підтримку прийняття рішення судноводієм.

Вибір структури наведеного на рисунку алгоритму обумовлений тим, що його використання ні в якому разі не повинно призводити до збільшення навантаження на судноводія.

Ця вимога є принциповим обмеженням, що впливає на спосіб практичної реалізації функції підтримки. Тому формування рекомендацій, спрямованих на підтримку прийняття рішення судноводієм, має проводитися лише у разі, коли виникає реальна небезпека виникнення небезпечних ситуацій, викликаних як діями судноводія оперуючого судна, так і діями судноводія судна-потенційної загрози.

На рис. 4.5 наведена схема методу індивідуально-адаптованого контролю і підтримки прийняття рішення судноводієм при виконанні маневру розходження.

В рамках наведеної на рис. 4.5 схеми момент активізації алгоритмів підтримки прийняття рішення визначається умовами:

$$\eta_i < 1, \quad (4.9)$$

що свідчить про небезпеку виникнення небезпечної ситуації зближення (зіткнення). Дана нерівність має місце, якщо поточні дії судноводія не забезпечують заданих вимог МПЗЗС-72. У цих випадках виникає необхідність підтримки прийняття рішення дій судноводія для виключення небезпеки зіткнення. Проблема вибору конкретного способу реалізації рекомендацій, спрямованих на підтримку дій судноводія, є складним комплексним завданням, що виникає в процесі проектування будь-якої людино-машинної системи.

Аналіз наслідків небезпечних ситуацій показує, що в дуже схожих умовах навігаційної обстановки результат дій судноводія буває зовсім різним. Тобто, рішення, прийняті одним і тим же судноводієм, можуть змінюватися в широкому діапазоні залежно від впливу прямих і непрямих факторів та випадкових впливів, навіть при схожих умовах обстановки. Відповідно, усвідомлення того, як помилки судноводіїв впливають на їх здатність приймати рішення дозволять здійснювати їх перехоплення та обробку при виникненні ситуації небезпечного зближення (зіткнення) система може реагувати на помилки судноводія та/або екіпажу так:

а) моніторинг помилок (зниження частоти помилок за рахунок моніторингу факторів, що сприяють їх виникненню, та при підвищенні ймовірності помилки подавати відповідні сигнали);

б) перехоплення помилок (помилка вже зроблена, але виявлена системою до прояву своїх негативних наслідків, та виробленні відповідні рекомендації щодо її виправлення);

в) толерантність до помилок (здатність системи управління реагувати на помилку для попередження негативних наслідків, резервування управління).

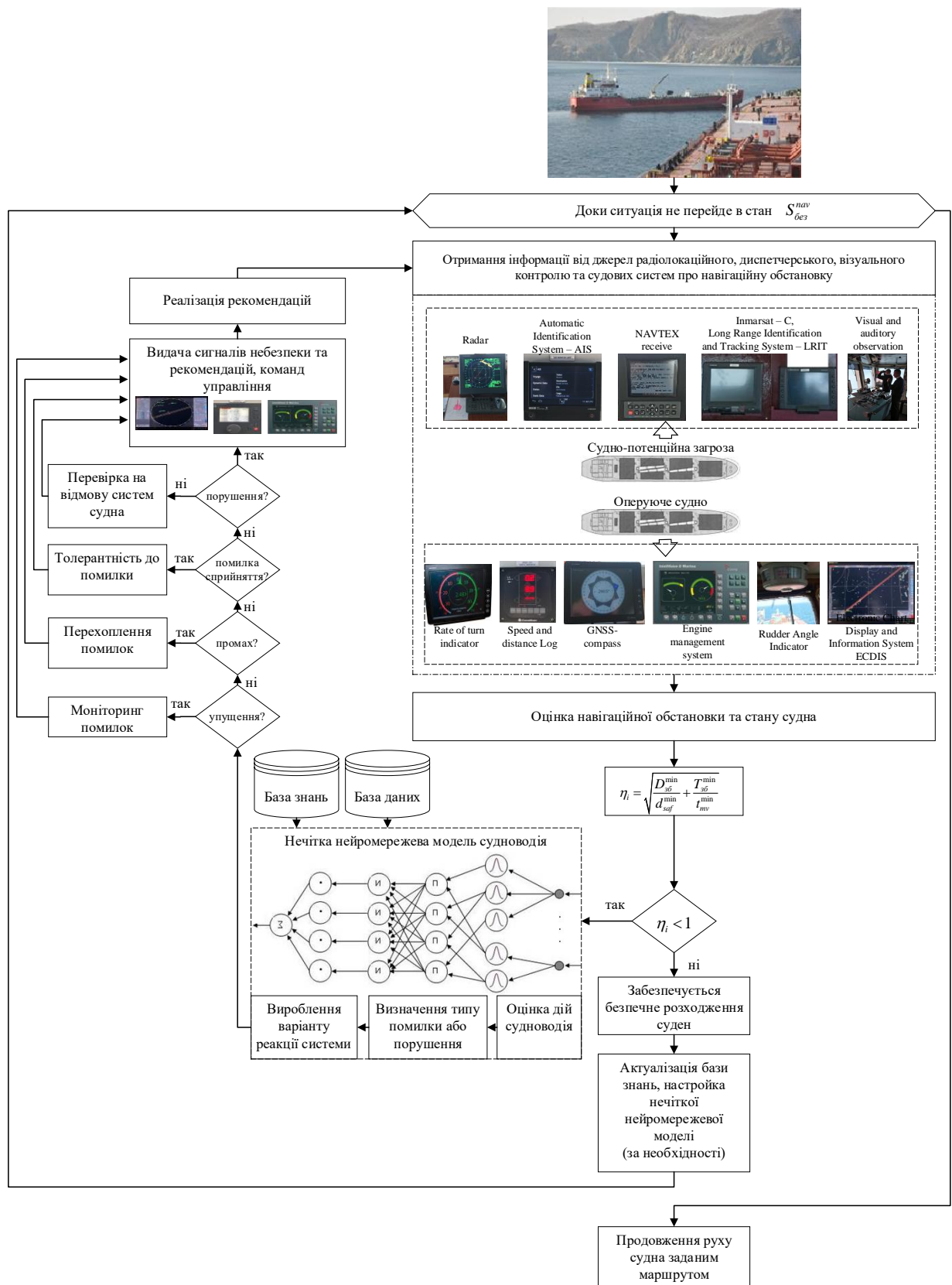


Рисунок 4.5 – Схема методу індивідуально-адаптованого контролю і підтримки прийняття рішення судноводієм при виконанні маневру розходження

Реалізація наведених вище шляхів зменшення впливу помилки можливо в системах управління судном тільки при розробці та впровадження СППР судноводія при виникненні небезпечних ситуацій з урахуванням стресу та дефіциту часу на прийняття рішення. Вивчення поведінки судноводія в небезпечних ситуаціях зближення (зіткнення) в реальних умовах і на тренажері дозволяє встановити, що надійність дій судноводія визначається характеристиками сигнальної інформації. До неї відноситься здатність привернути увагу, від чого залежать ймовірність та час виявлення сигналів, і їх змісту, що впливає на надійність розпізнання поточної навігаційної обстановки та прийняття рішення [15]. Для ефективності дій екіпажу важливо, щоб сам сигнал, по можливості, мінімально відволікав судноводіння, але сприяв при цьому організації адекватних дій.

Для роботи судноводія при управлінні судном, характерна підвищена концентрація уваги на індикаторах джерел інформації про навігаційну обстановку, а також про стан та рух власного судна, на що приділяється до 70-80% часу [34]. Тому можна, зберігаючи його штатну базову компоновку, формувати сигнали, що реалізують принцип індивідуально-адаптованої допомоги судноводію. Найбільш просто ця стимулююча корекція реалізується за допомогою додавання поправок для курсу, швидкості, кута повороту стерна судна тощо. В умовах небезпечної ситуації, підтримка прийняття рішень судноводія стає ключовим елементом, що забезпечує зниження впливу людського фактору на процеси управління судном та підвищує безпеку судноводіння. Розробка автоматизованих систем управління в судноводінні вимагає врахування особливостей взаємодії людини з технічними засобами управління судном. Практичне впровадження АСУ має здійснюватися шляхом її повної інтеграції з існуючими засобами електронної навігації судна. Запропоновано підхід побудови системи підтримки прийняття рішення судноводія, на основі індивідуально-адаптованих нечітких нейромережевих моделей. Розроблено, індивідуально-адаптованого контролю і підтримки прийняття рішення судноводієм при

виконанні маневру розходження, що враховують помилки судноводія при уникненні зіткнення в умовах виконання вимог МПЗЗС-72. Подальший розвиток індивідуально-адаптованого підходу потребує вдосконалення засобів інформаційної взаємодії технічних засобів управління рухом судна та берегових навігаційних систем. Важливим напрямком подальших досліджень в області створення автоматизованих систем управління судном стануть питання координації взаємодії суден в районі маневрування.

#### 4.4.1 Побудова нечіткої нейронної мережі визначення надійності роботи судноводія

Розглянемо побудову ННМ визначення надійності роботи судноводія. ННМ визначення надійності роботи судноводія складається з 3 вхідних та 1 вихідної змінної:  $x_1$  (“умови навігаційної обстановки”),  $x_2$  (“характеристика дій ССПЗ”),  $x_3$  (“кваліфікація судноводія”),  $y$  (“ймовірність помилкових дій судноводія”). Визначимо терм-множину змінних, відповідно до такої вербально-числової шкали (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Терм-множини змінних відповідно до вербально-числової шкали

Значення	Лінгвістична оцінка	Числове значення
Умови навігаційної обстановки	проста	[0; 0,4]
	середньої складності	[0,3; 0,7]
	складна	[0,6; 1]
Характеристика дій ССПЗ	прогнозовані	[0; 0,4]
	непрогнозовані	[0,3; 0,7]
	невідомі	[0,6; 1]
Кваліфікація судноводія	відсутня	[0; 0,3]
	низька	[0,2; 0,6]
	висока	[0,5; 1]
Ймовірність помилкових дій судноводія	низька	[0; 0,4]
	середня	[0,3; 0,7]
	висока	[0,6; 1]

Для побудови та навчання ННМ було використано програмне забезпечення зі складу середовища MATLAB, а саме Neuro-Fuzzy Designer (рис. 4.6).

Крок 1. Завантаження системи адаптації в редакторі ANFIS;

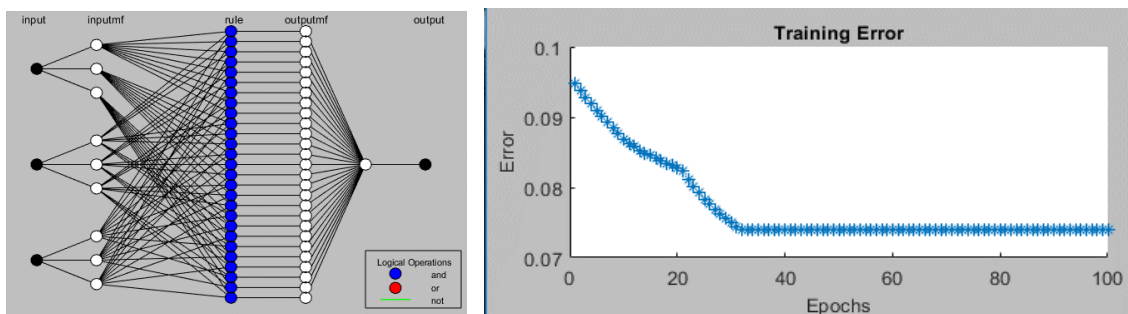
Крок 2. Завантаження до редактору ANFIS навчальної вибірки (табл. В.1, додаток В);

Крок 3. Генерування структури системи нечіткого виведення FIS;

Крок 4. Візуалізація структури (Structure) (рис. 4.6 а);

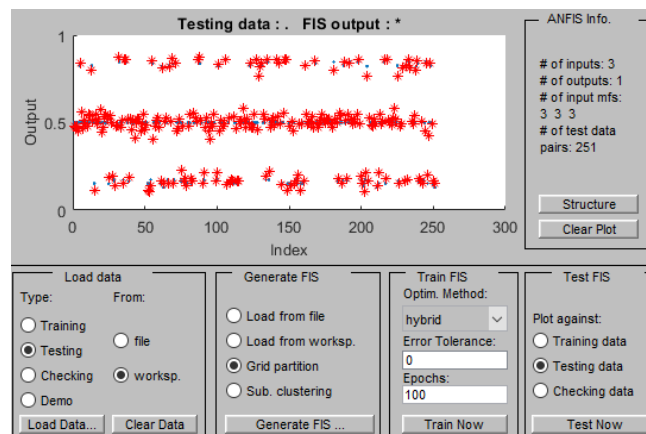
Крок 5. Навчання мережі (Train) (рис. 4.6 б);

Крок 6. Тестування мережі (Test) за допомогою тестової вибірки (табл. В.2 додаток В) (рис. 4.6 в);



а)

б)



в)

Рисунок 4.6 – Побудова ННМ в Neuro-Fuzzy Designer середовища MATLAB

Результати тестування побудованої ННМ наведені на рис. 4.7.

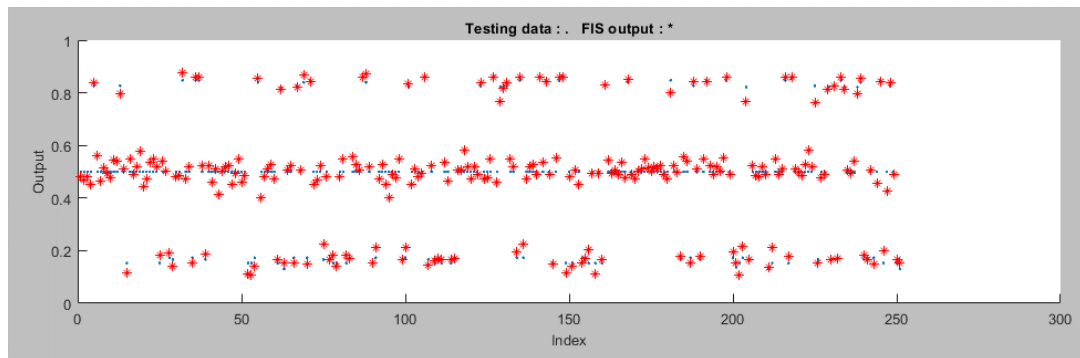


Рисунок 4.7 – Результат тестування ННМ

Як видно з рис 4.7, побудована ННМ дозволяє досить адекватно формалізувати процес визначення надійності роботи судноводія у небезпечній ситуації.

На основі побудованої моделі можна оцінити вплив ряду факторів та умов на надійність роботи судноводія в небезпечній ситуації.

Результати роботи ННМ свідчать про можливість її практичного застосування для визначення помилкових дій судноводія. Аналогічно будуються ННМ для визначення надійності роботи судноводія.

#### 4.5 Рекомендації із використання запропонованих методів

Запобігання зіткнення з навігаційною перешкодою є основним завданням судноводія при маневруванні в ситуації небезпечного зближення. При цьому судноводій у виборі способу запобігання небезпечним ситуаціям має проаналізувати декілька варіантів маневру та визначити оптимальний. Маневреність судна, характеристика навігаційної обстановки та обмеженість часу на прийняття рішення обумовлюють необхідність постійного аналізу ситуації, що складається у морській акваторії, і своєчасного вироблення та реалізації варіантів дій. У процесі вироблення рішень повинні розглядатися тільки ті варіанти дій, що реально реалізуються для обстановки, що

склалася. Максимальний ефект при виконанні маневрів розходження у разі реалізації варіантів дій досягається шляхом комплексної автоматизації функцій керування судном.

Це обумовлює необхідність розробки комплексу програмних засобів для реалізації цих функцій у рамках нових інформаційних технологій. З їх допомогою передбачається автоматизувати ряд етапів, пов'язаних з розпізнаванням поточних ситуацій та видачою рекомендацій для усунення небезпечних ситуацій.

Функціонально-програмний прототип системи індивідуально-адаптованої підтримки судноводія об'єднує запропоновані методи і може бути реалізований у вигляді програмно-математичного забезпечення. Індивідуально-адаптована система підтримки управляючих дій судноводія, наведена на рис. 4.8.

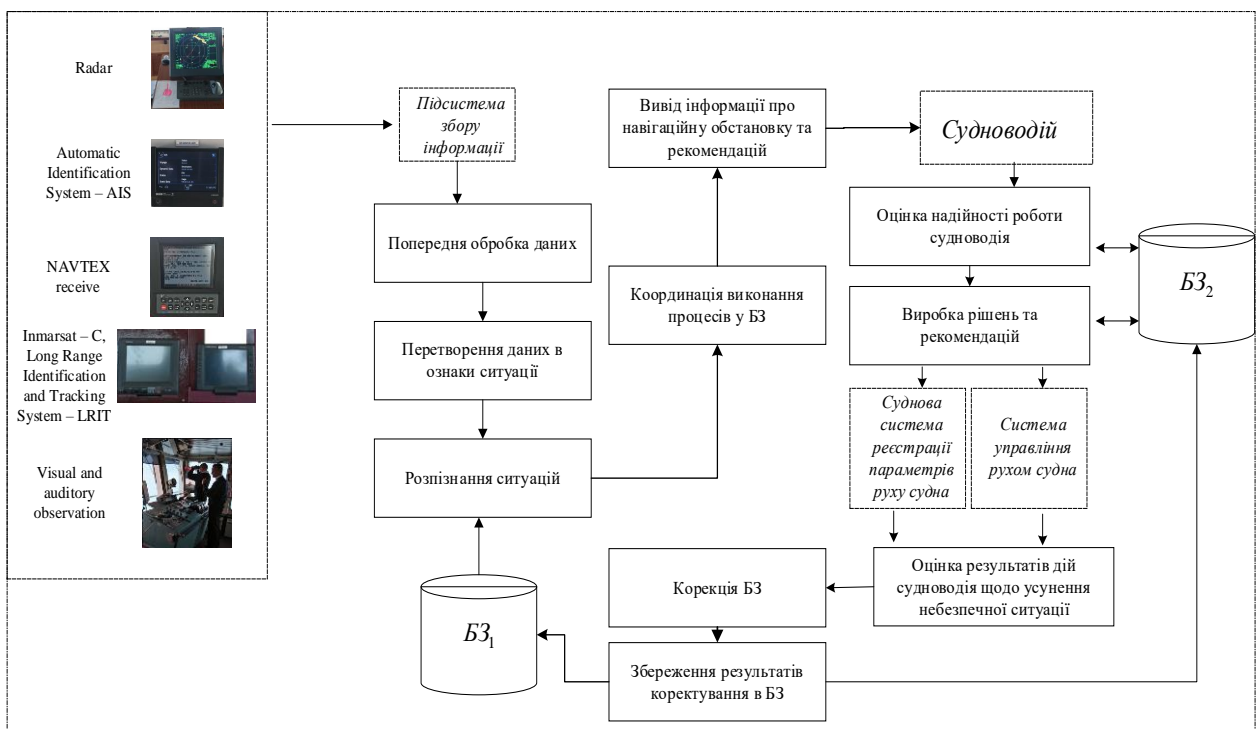


Рисунок 4.8 – Структура індивідуально - адаптованої системи підтримки дій судноводія

Система може функціонувати у двох режимах:

- у режимі підтримки дій судноводія у небезпечній ситуації під час руху судна;
- у режимі видачі рекомендацій для уникнення небезпеки та переходу роботи судноводія у штатний режим.

У режимі підтримки дій судноводія під час руху судна визначаються ознаки небезпечної ситуації з типу "безпечна"–"катастрофічна". Для цього використовується  $BЗ_1$  та аналізуються дії судноводія, де застосовується  $BЗ_2$ . Якщо прогнозована точність виведення судна у безпечну зону не відповідає заданому маршруту розходження з навігаційною небезпеки, система виконує обробку помилок судноводія визначеним алгоритмом.

У режимі видачі рекомендацій для уникнення небезпеки та переходу роботи судноводія у штатний режим, якщо прогнозується безпечна реалізація прийнятого судноводієм рішення, система не виробляє ніяких рекомендацій судноводію. Якщо ж прогнозується виведення судна у безпечну зону з перевищенням заданих обмежень за точністю, то виконується формування та відображення рекомендацій. Система на основі оброблених даних формує інформаційні сигнали, спрямовані на усунення прогнозованих відхилень маршруту безпечного розходження для забезпечення штатного режиму руху судна.

#### 4.5.1 Оцінка ситуації своєчасності прийняття рішення судноводієм у небезпечній

У загальному випадку кожному типу рішення відповідає інтервал часу  $t_{номр}$  від моменту отримання інформації про СПЗ, до моменту часу, коли відповідне рішення повинне бути реалізоване. Своєчасність вироблення та передачі рішення визначається умовою [58]:

$$t_{зз} + t_{об} + t_{пл} + t_{пр} \leq t_{нотр}, \quad (4.10)$$

де  $t_{зз}$  – час на виявлення навігаційної небезпеки;

$t_{об}$  – час на оцінку навігаційної обстановки;

$t_{пл}$  – час на планування маршруту розходження;

$t_{пр}$  – час на прийняття рішення.

Величини  $t_{зз}$ ,  $t_{об}$ ,  $t_{пл}$  та  $t_{пр}$  є випадковими. Тоді своєчасність прийняття рішень визначається імовірністю  $P$  того, що умова (4.14) виконано:

$$P_{ор} = P(t_{зз} + t_{об} + t_{пл} + t_{пр} \leq t_{нотр}). \quad (4.11)$$

Діяльність судноводія у процесі планування маршруту розходження характеризується часом, що є у наявності, та визначається навігаційною обстановкою ( $t_{наяв}$ ), і часом, необхідним на прийняття рішення зі встановленим рівнем обґрунтованості ( $t_{нотр}$ ).

Час, що є розпорядженні, обмежений часом та дистанцією мінімального безпечного зближення з навігаційною небезпекою.

Потрібний час визначається тривалістю процесу прийняття рішення та його реалізації та значно залежить від повноти інформації про навігаційну обстановку, кваліфікації та стану судноводія, маневрених характеристик судна.

Своєчасність прийняття рішення може бути оцінена коефіцієнтом  $K_{св}$  своєчасного вироблення та прийняття рішення впродовж часу  $t_{наяв}$  [112]:

$$K_{св}(t_{наяв}) = 1 - e^{-\frac{t_{наяв}}{t_{нотр}}}. \quad (4.12)$$

Отже, для визначення ймовірності своєчасного рішення необхідно оцінити середнє значення часу, потрібного на вироблення та прийняття рішення.

Потрібний час на прийняття рішення включає  $t_{авт}$  – час автоматизованого рішення завдань і  $t_{ОПР}$  – час роботи судноводія:

$$t_{наяв} = t_{авт} + t_{ОПР}. \quad (4.13)$$

При використанні АІС  $t_{авт}$  включає:  $t_{зб}$  – час збору, обробки та відображення інформації, що поступила;  $t_p$  – час рішення інформаційних і розрахункових задач;  $t_{уз}$  – час узагальнення інформації за результатами рішення різних інформаційних і розрахункових завдань;  $t_{нз}$  – час постановки завдань екіпажу:

$$t_{авт} = t_{зб} + t_p + t_{уз} + t_{нз}. \quad (4.14)$$

При автоматизованому способі планування значення часу практично не залежить від кількості обслуговуваних цілей і складає  $\approx (40 \div 50) + (5 \div 10)$  с [53].

При неавтоматизованому способі збору та обробки інформації збільшення кількості обслуговуваних цілей призводить до лінійного росту  $t_{нотр}$ . Час роботи  $t_{ОПР}$  визначається складністю навігаційної обстановки і включає час на оцінку ситуації  $t_{об}$  (до 2 хв) і час планування  $t_{пл}$  (до 2 хв) та прийняття рішення  $t_{пр}$  (до 1 хв) [53, 96]:

$$t_{ОПР} = t_{об} + t_{пл} + t_{пр}. \quad (4.15)$$

Запропоновані у роботі методи припускають зниження інформаційного навантаження на судноводія шляхом перерозподілу функцій між ним та системою. Розроблені методи забезпечують автоматизацію:

- оцінки навігаційної обстановки ( $t_{об}$ );
- вироблення маршруту розходження з навігаційною небезпекою з урахуванням існуючих ресурсно-часових обмежень ( $t_{пр}$ ).

Для визначення сумарного часу розпізнавання ситуацій і синтезу варіанту рішення  $t_{св}$  використовуємо метод статистичного імітаційного моделювання [12, 21, 65, 78, 87]. Графіки залежності ймовірності своєчасності вироблення рішення від часу, що є у наявності судноводія, для неавтоматизованого ходового містка (1), оснащеного традиційними АІС (2), та запропонованого підходу (3) представлені на рис. 4.9.

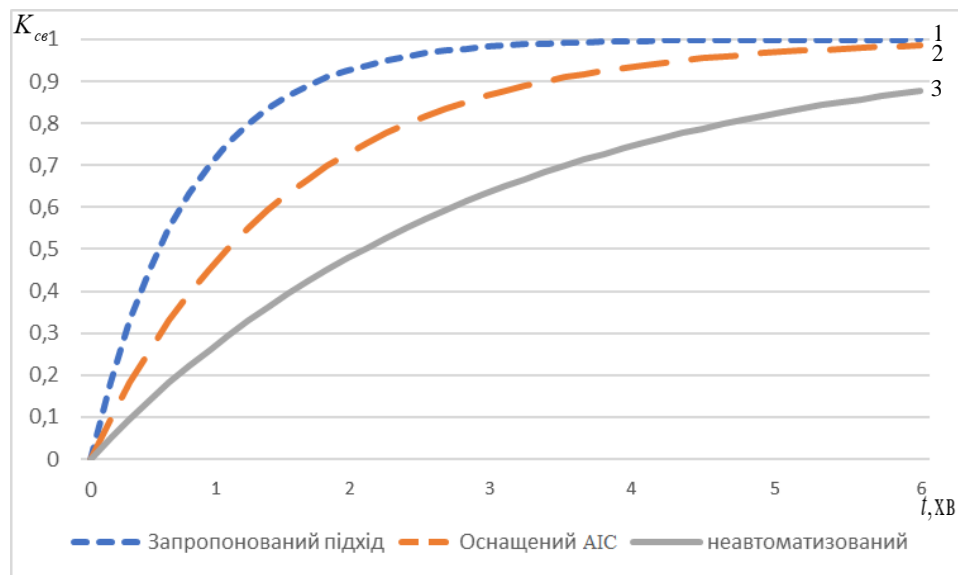


Рисунок 4.9 – Графіки залежності ймовірності своєчасного прийняття рішення

Застосування розроблених методів дозволяє підвищити своєчасність вироблення рішень порівняно з неавтоматизованим способом – в  $1,4 \div 2,5$  рази, з використанням АІС – в  $1,15 \div 1,55$  рази.

#### 4.5.2 Оцінка обґрунтованості рекомендацій щодо планування маршруту розходження

Якість планування з використанням запропонованих методів та АІС можна оцінити шляхом порівняння кількості значущих чинників, що враховуються при розпізнаванні та виробленні рішень та способів їх врахування.

Під обґрунтованістю будемо розуміти повноту врахування значущих чинників у процесі вироблення рекомендацій щодо визначення параметрів небезпечної ситуації.

Маємо  $Q_{\max}$  факторів, які можна враховувати при плануванні маршруту розходження. Всі фактори проранжовані за значимістю (ступенем впливу на обґрунтованість рішення), тобто задана кількісна оцінка значимості кожного  $i$ -го фактора  $a_i$ . При цьому:

$$\sum_{i=1}^{Q_{\max}} a_i = 1. \quad (4.16)$$

Серед  $Q_{\max}$  факторів виділяється група факторів  $Q_{main}$ , які необхідно використовувати при плануванні маршруту розходження з використанням кожного з методів. Інші фактори вважаються додатковими, використання яких підвищує обґрунтованість рішення. Кожен  $i$ -ий фактор має  $z_i^k$  параметрів. При цьому врахування  $i$ -го фактору  $k$ -им методом може бути повним або частковим. Коефіцієнт ( $\gamma_i^k$ ) повноти обліку  $i$ -го фактору  $k$ -им методом визначається так:

$$\gamma_i^k = \frac{z_i^k}{z_i}, \quad (4.17)$$

де  $z_i^k$  – кількість параметрів  $i$ -го фактору, що враховується  $k$ -им методом.

Необхідні чинники з групи  $Q_{main}$  враховуються будь-яким способом однаково, тому для даних факторів  $\gamma_i^k = 1$ .

Тоді коефіцієнт обґрунтованості рекомендацій при використанні  $k$ -го методу можна представити так:

$$K_{об}^k = \sum_{i=1}^{Q_{main}} a_i^{main} + \sum_{i=1}^{Q_{add}} a_i^{add} \cdot \gamma_i^k, \quad (4.18)$$

де  $a_i^{main}$  – кількісна оцінка значимості  $i$ -ої групи необхідних факторів;

$a_i^{add}$  – кількісна оцінка значимості  $i$ -ої групи додаткових факторів.

Несуперечність початкових даних визначається об'єктивними причинами. Використовувані методи повністю визначають спосіб врахування значущих чинників.

Кількісна оцінка значущості факторів, що використовуються при плануванні маршруту розходження, отримана шляхом експертного опитування, представлена в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Кількісна оцінка значущості факторів

№	Назва фактору	Вага фактору	Спосіб обліку		
			Оснащений АІС	Запропонований підхід	неавтоматизований
1	Час доби	0,03	Н	Н	Н
2	Гідродинамічні характеристики району плавання	0,02	Ф	Н	Н
3	Видимість	0,03	К	Н	Ф
4	Сила вітру	0,02	Ф	Н	Ф
5	Прогнозування можливості забезпечення навігаційної безпеки судна	0,03	Ф	Н	Ф
6	Район плавання	0,05	Ф	Н	Ф
7	Рівень меж безпеки	0,01	Ф	П	О

## Продовження таблиці 4.2

8	Клас судна відповідно до пр.18 МПЗЗС-72	0,02	Ф	П	О
9	Емпіричні знання та досвід судноводія	0,03	К	Н	Ф
10	Вимоги керівних документів	0,02	Ф	Н	Ф
11	Пеленг на СПЗ	0,03	Ф	Н	Ф
12	Дистанція до СПЗ	0,05	Ф	Н	Ф
13	Координати СПЗ	0,01	Ф	П	О
14	Курс СПЗ	0,02	Ф	П	О
15	Швидкість СПЗ	0,06	К	Н	О
16	Курс судна	0,06	К	Ф	О
17	Критичність пошкоджень при зіткнення з навігаційною перешкодою	0,09	Ф	Ф	О
18	Статус СПЗ	0,06	К	П	О
19	Категорія СПЗ	0,01	Ф	Ф	О
20	Вид зближення суден	0,06	К	Н	О
21	Вид СПЗ за характером впливу на вибір судном, завчасних заходів щодо попередження зіткнення	0,06	К	Ф	О
22	Межі заборонених та небезпечних для плавання районів	0,09	Ф	Ф	О
23	Правила МПЗЗС-72	0,02	Ф	П	Н
24	Ступінь оснащеності судна навігаційними засобами	0,05	К	Н	Ф
25	Умови навігаційної обстановки	0,03	К	Н	Ф
26	Швидкість судна	0,02	К	П	Ф
27	Маневрені характеристики судна	0,05	Ф	Ф	П

## Продовження таблиці 4.2

28	Оцінка попередньої діяльності судноводія	0,05	К	Н	Ф
29	Різномірність вихідних даних	0,01	К	П	Н
30	Кваліфікація судноводія	0,01	Ф	П	Ф
31	Характер дій ССПЗ	0,01	К	П	Ф

Де К – непряме узагальнення (фактор явно не присутній у моделі, але інші чинники враховують його), Ф – функціональне узагальнення (окремий процес замінюється його результатом), П – пряме узагальнення, Н – безпосереднє узагальнення (значення фактору в явному вигляді присутнє у формулі).

На рис. 4.10 показані залежності  $K_{об}^k$  від кількості чинників, що враховуються ( $Q_{min} = 0, Q_{max} = 31$ ) для різних способів реалізації запропонованих методів.

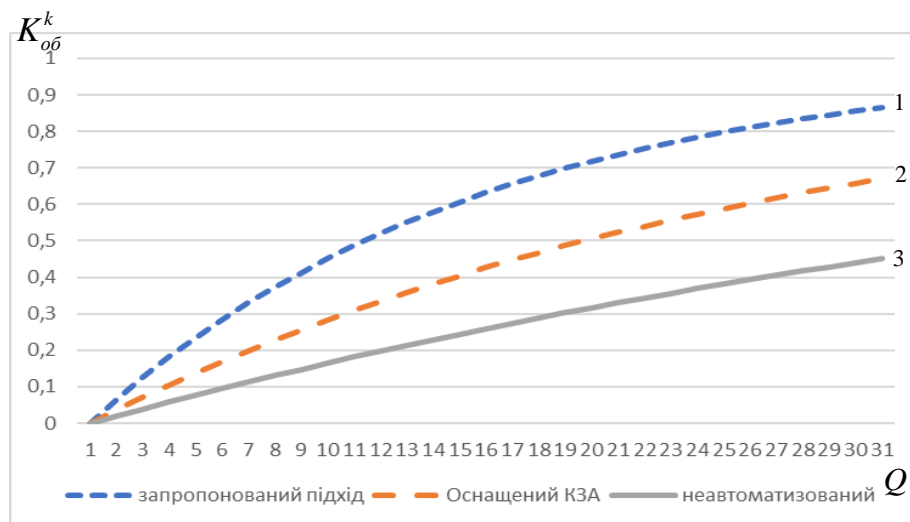


Рисунок 4.10 – Залежність від кількості чинників, що враховуються

Врахування й обробка в запропонованих методах великої кількості чинників дозволяють за час, що є у наявності, збільшити коефіцієнт повноти врахування чинників на 16÷34% порівняно з відомими. Одночасно зростає обґрунтованість отриманих рішень за рахунок адекватного опису навігаційної обстановки великою кількістю значущих чинників.

## Висновки за четвертим розділом

1. Розроблено метод узгодження елементів ергатичної системи управління судном який, на відміну від відомих, базується на використанні нечіткого нейромережевого підходу, що дозволяє виконувати індивідуально-адаптований контроль і підтримку прийняття рішення судноводієм.

2. Запропоновано структуру індивідуально-адаптованої системи підтримки дій судноводія, що реалізує функції контролю управляючих дій судноводія під час руху судна у небезпечній ситуації. Основним елементом системи є база знань, що містить оновлювану, з урахуванням накопиченого досвіду, інформацію про зміни кваліфікації та психофізіологічного стану судноводія. Вона дозволяє формалізувати характерну для судноводія манеру управління судном. Дана інформація при сумісній обробці даних з судових засобів реєстрації інформації використовується в якості основи в алгоритмах контролю дій судноводія та формування рекомендацій у процесі попередження небезпечної ситуації.

3. Використання запропонованого підходу дозволяє скоротити загальний час на вироблення рішення щодо безпечного розходження на 25÷38% у порівнянні з традиційними підходами. Врахування й обробка у запропонованих методах великої кількості факторів дозволяють збільшити коефіцієнт повноти врахування чинників на 16÷34% порівняно з відомими. У свою чергу, це дозволяє підвищити своєчасність вироблення рішень порівняно з неавтоматизованим способом – у 1,4÷2,5 рази, та порівняно з використанням АІС – у 1,15÷1,55 рази.

## ВИСНОВКИ

*1. Проведений аналіз стану та напрямків розвитку сучасних суднових інформаційних та навігаційних систем, показав, що судноводій залишається є однією з основних ланок складної ергатичної системи "судноводій – судно". Тому актуальним завданням є аналіз експлуатаційної надійності як технічної частини судового навігаційного комплексу, так і судноводія як експлуатанта інтелектуальних технічних радіонавігаційних та інформаційних систем судна.*

*2. У дисертації наведене теоретичне узагальнення та нове розв'язання наукового завдання, яка полягає у розробці методів формалізації процесу управління судном для підвищення ефективності функціонування судових ергатичних систем зі зміною структурою.*

У рамках поставленої задачі вирішені завдання створення логіко-математичного апарату подання та використання знань у системах підтримки прийняття рішень судноводія; розробки методів побудови моделей для оцінки навігаційної обстановки на основі формалізації явних і неявних експертних знань; розробки методів формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози; розробки методів узгодження елементів ергатичної системи управління судном; оцінки ефективності розроблених методів.

*3. Найбільш важливими науковими та практичними результатами, які отримано в роботі, є такі:*

– вперше розроблено метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози, який базується на спільному використанні методів розпізнавання навігаційної обстановки зі знаннями про цілі та завдання судноводія судна-загрози

– удосконалено метод формалізації процесу оцінки навігаційної обстановки у районі плавання, який, на відміну від відомих базується, на використанні моделі динамічного простору рівнів небезпеки зон в районі

плавання, яка враховує екстремальність ситуації та стан судноводія, що дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень судноводієм.

– розроблено метод узгодження елементів ергатичної системи управління судном який, на відміну від відомих, базується на використанні нечіткого нейромережевого підходу, що дозволяє виконувати індивідуально-адаптований контроль та підтримку прийняття рішення судноводієм.

Розроблені методи дозволяють комплексно враховувати параметри навігаційної обстановки, що складається, технічних характеристик судна та індивідуальні особливості судноводія і забезпечити підтримку прийняття рішення судноводієм при виявленні та запобіганні небезпечних ситуацій. Формалізація предметної області при виявленні небезпечних ситуацій зближення (зіткнення) в акваторії руху судна шляхом створення комплексу математичних моделей дозволяє оцінювати можливість виконання маневру і приріст ефективності дій судноводія, з урахуванням ресурсів, що є в наявності.

Запропонована структура індивідуально-адаптованої системи підтримки дій судноводія, дозволяє формувати рекомендації для підтримки прийняття рішення у небезпечній ситуації, що виникають під час руху судна. Основним елементом системи є база знань, що містить інформацію оновлювану з урахуванням накопиченого досвіду, зміни кваліфікації та психофізіологічного стану судноводія.

Проаналізована ефективність застосування отриманих результатів у рамках концепції системи підтримки прийняття рішень для вирішення завдань управління судном при запобіганні небезпечних ситуацій (без застосування засобів автоматизації та з застосуванням АІС). Використання запропонованого підходу дозволяє скоротити загальний час на вироблення рішення щодо безпечного розходження на 25÷38% у порівнянні традиційними підходами. Врахування й обробка в запропонованих методах великої кількості факторів дозволяють збільшити коефіцієнт повноти врахування чинників на 16÷34% порівняно з відомими. У свою чергу це

дозволяє підвищити своєчасність вироблення рішень порівняно з неавтоматизованим способом – в  $1,4 \div 2,5$  рази, та порівняно з використанням АІС – в  $1,15 \div 1,55$  рази.

4. *Значення розв'язаної у дисертації задачі для науки та практики* полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ створення та функціонування автоматизованих систем управління судном для вирішення небезпечних ситуацій під час руху судна.

5. *Методи дослідження* базуються на методах системного аналізу; математичної логіки; теорії штучного інтелекту, включаючи методи нечіткої логіки та побудови функцій приналежності; методи математичного моделювання.

6. *Достовірність і обґрунтованість отриманих наукових результатів* підтверджується коректністю постановки завдання дослідження та правильним використанням методів теорій штучного інтелекту, прийняття рішень, розпізнавання, математичної логіки, формалізованих систем. Основні теоретичні положення дисертаційної роботи базуються на початкових посилках і допущеннях, які виходять із існуючого стану робіт у даній області та не суперечать відомим положенням і результатам досліджень, приведеним у літературі.

7. *Наукові та прикладні результати досліджень*, отримані в дисертації, доцільно використовувати: при розробці систем автоматизованого контролю за рухом судна у межах зони відповідальності судноводія; у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків розробки та удосконалення автоматизованих систем прийняття рішень; у вищих навчальних закладах – для підготовки фахівців зі спеціальності навігація та управління рухом.

Результати дисертаційного дослідження будуть корисними при обґрунтуванні та створенні перспективного спеціального математичного забезпечення автоматизованих систем управління судном.

Таким чином, дисертаційна робота завершена, а її мета досягнута.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Analysis of Methods of Determining the Safe Ship Trajectory / J. Lisowski // The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2016. – Vol 10 № 2. – P. 223-228.
2. 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.
3. Burmeister H. C. Interaction of harsh weather operation and collision avoidance in autonomous navigation / H.C. Burmeister, W. C. Bruhn & L. Walther // The international journal on marine navigation and safety of sea transportation. — 2015. – Vol 9 № 1 – С 31-40.
4. Chang, K.Y. A method for searching optimal routes with collision avoidance on raster charts / K.Y. Chang, G.E. Jan, I. Parberry // Journal of Navigation. – 2003. – Vol. 56. – P. 371-384.
5. Coldwell, T.G. Marine traffic behaviour in restricted waters / T.G. Coldwell // Journal of Navigation. – 1983. – Vol. 36. – P. 430-444.
6. Colley, B.A. Manoeuvring times, domains and arenas / B.A. Colley, R.G. Curtis, C.T. Stockel // Journal of Navigation. – 1983. – Vol. 36. – P. 324-328.
7. Davis, P.V. A computer simulation of marine traffic using domains and arenas / P.V. Davis, M.J. Dove, C.T. Stockel // Journal of Navigation. – 1980. – Vol. 33. – P. 215-222.
8. Fuzzy Inference System for Determining Collision Risk of Ship in Madura Strait Using Automatic Identification System / A. Ketut, B. Dinariyana // Int. Journal of Marine and Environmental Sciences. – 2017. – Vol 11 № 2. – P. 401-405.
9. Geijerstam K. Ship collision risk / K. Geijerstam, H. Svensson. – Lund: Lund University, 2008. – 149 p.

10. Goodwin, E.M. A statistical study of ship domains / E.M. Goodwin // *Journal of Navigation*. – 1975. – Vol. 28. – P. 328-341.
11. Handbook on computational intelligence / [Gomide F., Borgiela A., Pedrycz W., Lughofer E., Baruah R. D., Bouchachia A. and others]; editor P. P. Angelov. – Lancaster: Lancaster univ-ty, 2016. – 957 p.
12. Hornauer S. Maritime Trajectory Negotiation for n-VesselCollision Avoidance: dissertation zur erlangung des grades eines doctors der ingenieurwissenschaften / Sascha Alexander Hornauer. – Köln, 2016. – 141 p.
13. Hwang, C.N. The design of fuzzy collision avoidance expert system implemented by h1-autopilot / C.N. Hwang, J.M. Yang, C.Y. Chiang // *Journal of Marine Science and Technology*. – 2001. – Vol. 9. – P. 25-37.
14. Hwang, C.N. The integrated design of fuzzy collision-avoidance and h∞-autopilots on ships / C.N. Hwang // *Journal of Navigation*. – 2002. – Vol. 55. – P. 117-136.
15. Iijima, Y. Results of collision avoidance manouvre experiments using a knowledge-based autonomous piloting system / Y. Iijima, H. Hagiwara // *Journal of Navigation*. – 1991. – Vol. 44. – P. 194-204.
16. James, M.K. Modelling the decision process in computer simulation of ship navigation / M.K. James // *Journal of Navigation*. – 1986. – Vol. 39. – P. 32-48.
17. Lee, H.J. Development of collision avoidance system by using expert system and search algorithm / H.J. Lee, K.P. Rhee // *Journal of International Shipbuilding Progress*. – 2001. – Vol. 48. – P. 197-212.
18. Li C. Calculation of ship collision risk index based on adaptive fuzzy neural network / Chunze Li, Wei Li and Jun Ning // *Advances in Intelligent Systems Research (AISR)*. – 2018. – Vol 160 – P 223-227.
19. Liu, Y.H. A fuzzy-neural inference network for ship collision avoidance / Y.H. Liu, C.J. Shi // *Proceedings of the 4th international conference on machine learning and cybernetics, Guangzhou, China*. – 2005. – Vol. 8. – P. 4754-4759.
20. Mendel J. M. Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems / J. M. Mendel. – L.A.: University of Southern California, 2017. – 684 p.

21. Miele A. Optimal control of a ship for collision avoidance manoeuvres / A. Miele, T. Wang, C.S. Chao, J.B. Dabney // *Journal of Optimization Theory and Applications*. – 1999. – Vol. 103. – P. 495-519.
22. Mitrofanov O. An anti-collision indicator / O. Mitrofanov // *Journal of Navigation*. – 1968. – Vol. 21. – pp. 163-174.
23. Petersen, E. Simulator studies on a collision avoidance display that facilitates efficient and precise assessment of evasive manoeuvres in congested waterways / E. Petersen, K. Inoue, M. Tsugane // *Journal of Navigation*. – 2003. – Vol. 56. – P. 411-427.
24. Przywarty M. Models of ship-ship collision. Qualitative assesment / M. Przywarty // *Scientific Journals Maritime University of Szczecin*. – 2009. – Vol. 18(90). – P. 128-135.
25. Research on double collision avoidance mechanism of ships at sea / X.Y. Bi & X.J. Liu // *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. – 2015. – Vol. 9 № 1 – pp. 13-16.
26. Ship collision avoidance and COLREGS compliance using simulation-based control behavior selection with predictive hazard assessmen / T. A. Johansen, T. Perez, A. Cristofaro // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2016. – Vol. 17 № 12 – pp. 3407-3422.
27. Software cost estimation using fuzzy logic technique / Bedi R., Singh A. // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2017. – Vol. 10 (3) – pp. 1-5.
28. Wang T. F. Ship domain model for multi-ship collision avoidance decision-making with colregs based on artificial potential field T.F. Wang, X.P Yan & Y. Wang // *The international journal on marine navigation and safety of sea transportation*. – 2017. – Vol 11 № 1 – C 85-92.
29. Wu D. Intelligent systems for decision support: diss. ... PhD : electrical engineering / Dongrui Wu. – L.A., 2009. – 196 p.
30. Wu D. Intelligent systems for decision support: diss. ... PhD : electrical engineering / Dongrui Wu. – L.A., 2009. – 196 p.

31. Xu X. Modeling of ship collision risk index based on complex plane and its realization / X. Xu, X. Geng & Y. Wen // The international journal on marine navigation and safety of sea transportation. – 2016. – Vol 10 № 2 – P 251-256.
32. Zeng, X. Evolution of the safe path for ship navigation / X. Zeng // Applied artificial intelligence. – 2003. – Vol. 17. – №2. – P. 87-104.
33. Zhang S. Probability and mechanics of ship collision and grounding / S. Zhang, P. T. Pedersen, R. Villavicencio. – Kidlington: Butterworth–Heinemann, 2019. – 385p.
34. Zhu, X. Domain and its model based on neural networks / X. Zhu, H. Xu, J. Lin // Journal of Navigation. – 2001. – Vol. 54. – P. 97-103.
35. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2019 рік / В.М. Коськовецький [та ін.]; М–во інфраструктури України. – К., 2020. – 132с. – Дир. безпеки на транспорті.
36. Акіменко В. В. Проектування СППР на основі нечіткої логіки. Навчально–методичний посібник. / В.В. Акіменко, Ю.В. Загородній. – К.: Вид–во КНУ. 2007. – 94с.
37. Акмайкин Д. А. Обзор функциональных возможностей и перспективы современных автоматизированных систем планирования маршрута судна / Д. А. Акмайкин, Д. Б. Хоменко, С.Ф. Ключева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. № 2. – С. 237-251.
38. Алгазинов Э. К. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем / Э. К. Алгазинов, А. А. Сирота. – М.: Диалог–МИФИ, 2009. – 416 с.
39. Аксютин Л. Р. Аварии судов от потери остойчивости / Л. Р. Аксютин. – М.: Морской транспорт. 1975. – 196 с. Морской транспорт. 1975. 196 с.
40. Абдуллаева З. М. Разработка и реализация математических моделей движения судна на мелководье при переменной глубине: дис. ... кандидата техн. наук ...05.13.18 / Абдуллаева Залина Мусаевна. – Махачкала, 2017. – 167с.

41. Аксенов К. А. Моделирование и принятие решений в организационно–технических системах: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / Аксенов К. А., Гончарова Н. В. – Екатеринбург: Изд–во Урал. ун–та, 2015. – 104 с.
42. Артюхов В.В. Общая теория систем: Самоорганизация, устойчивость, разнообразие, кризисы / В.В. Артюхов – М.: Либроком, 2009. – 224 с.
43. Астреин В. В. Методология анализа и синтеза сложных активных технических систем и ее реализация в системе безопасности судовождения: дис. ... доктора техн. наук : 05.13.01 / Астреин Вадим Викторович. – Краснодар, 2017. – 311 с.
44. Ахметов Б. С. Нечеткие системы и сети / Ахметов Б. С., Горбаченко В. И., Кузнецова О.Ю. – Алматы: «Издательство LEM», 2014. – 104 с.
45. Бень А. П. Человеческий фактор при принятии решений в судовождении и пути снижения его влияния / А.П. Бень, И.В. Паламарчук // Морський та річковий транспорт. – 2015. – №1(12) – С 4-9.
46. Богомья В. И. Анализ некоторых эксплуатационных свойств современных крупнотоннажных судов, методов и систем их обеспечения при плавании в стесненных условиях / В. И. Богомья, В. С. Давыдов, Р. В. Кожухаренко // Водний транспорт. – 2014. – Вип. 3 – С. 23-31
47. Бодров В. А. Информационный стресс / В. А. Бодров. – М.: ПЕРСЭ, 2000. – 352с.
48. Бондарев В. Н. Искусственный интеллект: Учеб. пособие для вузов / В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде – Севастополь: Изд–во СевНТУ, 2002 – 615 с.
49. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети / Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. — М.:Горячая линия–Телеком, 2012. — 384с.
50. Бужбецкий Р. Ю. Совершенствование методов предупреждения столкновения судов с учетом особенностей их взаимодействия: дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.13 / Бужбецкий Ростислав Юрьевич. – Одесса, 2016. – 223 с.

51. Булгаков А. Ю. Разработка метода выбора стратегии расхождения судов с использованием областей опасных курсов: дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.13 / Булгаков Александр Юрьевич. – Одесса, 2016. – 256 с.
52. Булгаков А.Ю. Расчет изменения относительного курса в автоматизированных системах принятия решений / Булгаков А.Ю. // Проблеми техніки: Науково–виробничий журнал. – 2013. № 4 – С 111-114.
53. Булгаков А.Ю. Формализация основных характеристик управляемой динамической системы судов / Булгаков А.Ю. // Судовождение. – 2013. – № 23. – С. 7-12.
54. Бурмака А.И. Разработка метода выбора стратегии расхождения в ситуации чрезвычайного сближения судов: дис. ... кандидата техн. наук ...05.22.13 / Бурмака Алексей Игоревич. – Одесса, 2016. – 246 с.
55. Бурмака И.А. Маневр расхождения нескольких судов изменением курсов / Бурмака И.А , Булгаков А.Ю. // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.–тех. конф., 20–22 травня 2015 р. – Миколаїв : МУК, 2015. – С. 22-24.
56. Бурмака И.А. Управление группы судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А , Булгаков А.Ю. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. СПб. – 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9-13.
57. Бусленко Д. Н. Маневрирование и управление судном: учебное пособие / Д. Н. Бусленко. – Ростов–на–Дону: РМК, 2003. – 124 с
58. Вагин В. Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А., Фомина М. В. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 704 с
59. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко – Одесса: Феникс, 2010. – 229 с.

60. Вагущенко Л.Л. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности / Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л., Заичко С.И – Одесса: Феникс, 2005. – 274 с
61. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
62. Вагущенко Л.Л Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал – Одесса: Фенікс, 2008. – 328 с.
63. Вагущенко Л.Л Судовые навигационно–информационные системы / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2004. – 302 с.
64. Вильський Г. Б. Смысловое поле задач систем управления движением судов / Г. Б. Вильський // Морський та річковий транспорт. – 2014. – № 2 (11) – С 4-13.
65. Вильський Г. Б. Соотнесенность методов и моделей информационной безопасности судоходства / Г. Б. Вильський // Морський та річковий транспорт. – 2017. – № 1 (16) – С 10-16.
66. Голикова В.В. Аварии морских судов и профессиональная компетентность плавсостава / Голикова В.В., Потапов Е.А., Шафран Л.М. // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2016. – № 1 (43) – С. 20-30.
67. Гриняк В. М. Разработка математических моделей обеспечения безопасности коллективного движения морских судов: дис. ... доктора техн. наук : 05.13.18 / Гриняк Виктор Михайлович. – Владивосток, 2016. – 297 с.
68. Гриняк В.М. Математические модели и алгоритмы систем управления движением судов / В.М. Гриняк. – Lambert: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 176 с.
69. Громов Ю. Ю. Специальные разделы теории управления. Оптимальное управление динамическими системами : учеб. пособие /. Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, А.В. Лагутин, О.Г. Иванова, В.М. Тютюнник. – 2–е изд., стереотип. – Тамбов: Изд–во Тамб. гос. техн. ун–та, 2007. – 108 с.
70. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А. И. Губинский. – Л.: Наука, 1982. – 268с

71. Гуцин А. Н. Основы представления знаний: учеб. пособие / Гуцин А. Н. – СПб: Балт. гос. техн. ун-т, 2007. – 41 с.
72. Демидова Г. Л. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами / Г. Л. Демидова, Д. В. Лукичев. – СПб : ун-т ИТМО. 2017. – 81 с.
73. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
74. Дмитриев В.И. Основы обеспечения безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды / В.И. Дмитриев – Херсон: Моркнига, 2014. – 408 с.
75. Заде Л. Нечеткая логика: Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
76. Истомин В.И. Конвенционные требования к безопасности судоходства / В.И. Истомин, Л.Е. Курочкин, С.Е. Тверская. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 136 с.
77. Касапенко Д. В. Моделирование в экспертном мониторинге надводной обстановки судна: дис. ... кандидата техн. наук ...05.13.18 / Касапенко Денис Викторович. – Ульяновск, 2009. – 205 с.
78. Кожухов В. П. Математические основы судовождения/ В.П. Кожухов, А.М Жухлин, В.Т. Кондрашихин, Л.А. Логиновский – М.: Транспорт, 1993. – 200 с
79. Козлитин А. М. Развитие теории и методов количественной оценки риска аварий сложных технических систем / А.М. Козлитин // Вестник СГТУ. – 2011. – Вып. 3 №4 – С 115-124.
80. Комаровский Ю. А. Статистический метод точной оценки радиуса установившейся циркуляции судна / Комаровский Ю.А. // Вестник инженерной школы ДВФУ. — 2015. — № 3 (24) — С 16 – 30.
81. Кондрашихин В. Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / В. Т Кондрашихин. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.

82. Кононюк А. Е. Дискретно–непрерывная математика. Математическая логика / Кононюк А. Е. – К.: «Освіта України», 2017. – В 12–и кн. Кн 9, ч. 3 – 2017. – 416 с.
83. Коноплев, М.А. Применение аппарата нечеткой логики для определения понятия «безопасная скорость» / М.А. Коноплев // Эксплуатация морского транспорта. – 2008. – №3. – С. 37-41.
84. Коноплев, М.А. Применение аппарата нечеткой логики для определения уровня опасности столкновения / М.А. Коноплев // Эксплуатация морского транспорта. – 2009. – №2. – С. 34-39.
85. Коростелев И. Ф. Столкновение судов и их причины / Коростелев И.Ф. // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2012. – № 26 – С. 23-29.
86. Костылев А. И. Разработка методов расчета параметров судов при нестационарном движении в ледовых условиях: дис. ... кандидата техн. наук ...05.08.01 / Костылев Антон Игоревич. – СПб., 2017. – 143 с.
87. Кошевой В. М Система и устройства автоматической идентификации судов / Кошевой В.М, Шишкин А.В., Купровский В.И. – Одесса: ОНМА, 2005. – 79 с.
88. Кудрявцев Д. В. Системы управления знаниями и применение онтологий: учеб. пособие / Д.В. Кудрявцев. – СПб.: Изд–во Политехн. ун–та, 2010. – 344 с.
89. Лукомский, Ю.А. Особенности координированного управления судном при сближении с движущимся объектом / Ю.А. Лукомский, А.Г. Шпекторов // Известия СПб ГЭТУ "ЛЭТИ". – 2010. – №2. – С. 17-25.
90. Магомедов, И.А. Оптимальные алгоритмы управления траекторным движением морского подвижного объекта / И.А. Магомедов, К.Д. Курбанмагомедов // Известия Института инженерной физики. – 2010. – №16. – С. 49-54.
91. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев – Одесса: Морской тренажерный центр, 2005. – 208 с.

92. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев – Одесса: Морской тренажерный центр, 2005. – 208 с.
93. Материалы конференции организации объединенных наций по торговле и развитию ЮНКТАД: Обзор морского транспорта 2016 год, 17–22 июля 2016 г. информ. бюл. – Нью-Йорк: ООН, 2016. – 133 с
94. Махмурова–Дишлюк О. П. Безпека судноплавства як важлива умова охорони людського життя / О. П. Махмурова–Дишлюк // Юридичний вісник. – 2016. – № 3 (40) – С. 11-16.
95. Мироненко А. А. Идентификация траектории движения судна / А.А. Мироненко// Вестник МГТУ. – 2009. – № 1(12) – С 5-9.
96. Мунипов В. М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. – М.: Логос, 2001. – 356 с.
97. Масик И. П. Особенности принятия решений судоводителем при управлении судном в условиях интенсивного судоходства / И. П. Масик // Наукові записки Українського науково–дослідного інституту зв’язку. – 2015. – № 2(36). – С. 44-49.
98. Материалы конференции организации объединенных наций по торговле и развитию ЮНКТАД: Обзор морского транспорта 2018 год, 26 сентября 2018 г. информ. бюл. – Нью-Йорк. : ООН, 2018. – 42 с
99. Матохин А. В. Классификация и оценка рисков, связанных с «организацией мостика», при планировании плавания судна в портовых водах / А. В. Матохин // Технические науки. – 2013. – №5 – С. 44-51
100. Мотрич В. Н. Столкновения судов и их предупреждение. Новый взгляд / В. Н. Мотрич – СПб.: БХВ–Петербург, 2017. – 352 с.
101. Нгуен С. Ф. Математическое моделирование и алгоритмы управления встречными движениями судов при прохождении портовых каналов: дис. ... кандидата техн. наук ...05.13.01 / Нгуен Фьонг. – Хошимин, 2011. – 353 с.

102. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / [И. З. Батыршин, А. О. Недосекин, А. А. Стецко, В. Б.Сердюк и др.] ; под ред. Н. Г. Ярушкиной – М.: Физмалит, 2007. – 208 с.
103. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика [И. З. Батыршин, А. О. Недосекин, А. А. Стецко, В. Б.Сердюк и др.] ; под ред. Н. Г. Ярушкиной – М.: Физмалит, 2007. – 208 с.
104. Никифоров Г. С. Надежность профессиональной деятельности / Г. С. Никифоров. – СПб: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1996. – 176с.
105. Обертюр К. Л. Повышение безопасности эксплуатации судов методами управления событиями: дис. ... кандидата техн. наук 05.22.20 / Обертюр Константин Леонидович. – Одесса, 2015. – 223 с.
106. Основи теорії систем і системного аналізу: навч. посібник / К.О. Сорока. – Х.: ХНАМГ, 2004. – 291 с.
107. Особенности применения нейро-нечетких моделей для задач синтеза систем автоматического управления / Н. В.Андриевская, А. С.Резников, А. А. Черанев // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11. – С. 1445-1449.
108. Парменова Д. Г. Анализ аварийных ситуаций с судами морского флота / Парменова Д.Г. // Судовые энергетические установки. – 2013. – № 31 – С. 149-155.
109. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / Пегат А.; пер. с англ. А. Г. Подвесовского, Ю. В. Тюменцева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с. : ил. — (Адаптивные и интеллектуальные системы).
110. Пипченко А. Д. Анализ аварийности мирового флота 2005–2015 / Пипченко А. Д. // Судовождение. – 2017. – № 27 – С. 159-168.
111. Подпорин С. А. Использование нейро-нечетких контроллеров в системах управления движением морских судов / С. А. Подпорин // Збірник наукових праць ХУПС. – 2012. – № 4(13) – С 181-187.
112. Ревенко В. Ю. Практическое использование РЛС и САРП : учеб. пособ./ В. В.Ю. Ревенко. – Одесса.: Феникс, 2016. – 456 с.

113. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, нейронные сети, генетические алгоритмы / А. П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ–Винница, 1999. – 320 с.
114. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
115. Рябченко, Р.Б. Идентификация промахов, обеспечивающая безопасность плавания в стесненных водах / Р.Б. Рябченко, В.В. Шутов, В.И. Меньшиков В.И. // Эксплуатация морского транспорта. – 2010. – №3. – С. 38-40.
116. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / Сафин И.В. // Автоматизация судовых технических средств. – №7. – 2002. – С. 115-120.
117. Северин В.В. Выбор маневра расхождения с двумя целями / Северин В.В. // Автоматизация судовых технических средств. – 2005. – № 9. – С. 91-95.
118. Северин В.В. Постановка задачи расхождения судна с несколькими целями / Северин В.В. // Судовождение. – 2003. – № 6. – С. 130-135.
119. Седова, Н.А. Формирование лингвистических переменных для задач судовождения / Н.А. Седова // Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – №2. – С. 19-23.
120. Сидорченко В. Ф. Действия в состоянии крайней необходимости при угрозе морских аварий / В. Ф. Сидорченко // Вестник Санкт–Петербургского университета. – 2012. – № 4(14) – С 97-103.
121. Скороходов Д. А. Принципы и категории обеспечения безопасности мореплавания / Д.А. Скороходов, Л.Ф. Борисова, З.Д. Борисов // Вестник МГТУ. – 2010. – № 4/1 (13) – С 719-729.
122. Скороходов Д. А. Принципы и категории обеспечения безопасности Мореплавания / Скороходов Д. А., Борисова Л.Ф., Борисов З.Д. // Вестник МГТУ. – 2010. – № 4/1 (13) – С. 719-729.

123. Стадниченко С. М. Человеческий фактор на море: учебно–методическое пособие / С. М. Стадниченко. – Одесса: Астропринт, 2003. – 192 с.
124. Топалов В. П. Уроки морских аварий : практ. пособ. / В. П. Топалов , В. Г. Торский. – Одесса. : Астропринт, 2004. – 336 с.
125. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
126. Чернышов, В.Н. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / В.Н. Чернышов, А.В. Чернышов. – Тамбов : Изд–во Тамб. гос. техн. ун–та, 2008. – 96 с.
127. Шарлай Г. Н. МПЗЗС–72 с комментариями [Текст] : учебное пособие / Г. Н. Шарлай. – М.: МОРКНИГА, 2017. – 137 с.
128. Шутов В.В. Управление состоянием мореплавания в условиях стесненных вод: дис. ... кандидата техн. наук ...05.22.19 / Шутов Валентин Васильевич. – Мурманск, 2011. – 128 с.
129. Юдин Ю. И. Метод расчёта параметров математической модели судна / Ю.И. Юдин, А.Н. Гололобов, А.Г. Степахно // Вестник МГТУ. – 2009. – № 1(12) – С 5-9.
130. Ямпольський Л. С. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л. С. Ямпольський, Б. П. Ткач, О. І. Лісовиченко. – К.: ДП «Вид. дім «Персонал», 2011. – 544 с.
131. Ясницкий Л. Н. Интеллектуальные системы / Л. Н. Ясницкий. – М.: Лаборатория знаний, 2016. – 221 с.

## Список опублікованих праць

1. Zazirnyi A. The Synthesis of the Reference Image and Algorithms for Vehicle Navigation Systems / O. Tymochko, A. Ttystan, V. Ushan, N. Yeromina, O. Dmitriiev, V. Mazharov, I. Padalka, I. Hannoshyna, I. Masik, A. Zazirnyi // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – Vol. 8 № 3. – С. 853-858.

2. Зазірний А. А. Метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози / А. А. Зазірний // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 126-133.

3. Зазірний А. А. Узгодження технічного та біологічного сегментів ергатичної системи "судноводій – судно" з використанням нечіткого нейромережевого підходу / А. А. Зазірний, О. О. Аросланкін // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 1(32). – С. 19-28.

4. Зазірний А. А. Метод формування динамічного простору рівнів небезпеки зон в районі плавання при вирішенні задачі розходження судна з навігаційними небезпеками / А. А. Зазірний // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2021. – № 1(67). – С. 110-118.

5. Зазірний А. А. Метод узгодження елементів ергатичної системи «судноводій – судно» з використанням нечіткого нейромережевого підходу. *The process and dynamics of the scientific path: I International Scientific and Theoretical Conference*, 26 Feb. 2021 – Athens: Scentia, 2021. P. 144-148.

6. Зазірний А., Бойко А. Д. Метод определения опасности навигационных ситуаций в зонах интенсивного судоходства. XV International Scientific and Technical Conference, 5 May 2020, – Baki: Azerbaijan state marine academy , 2020. P. 125-126.

7. Зазірний А. А., Шевченко А. П., Бойко С. О. Методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах

експлуатації. Всеукраїнська інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку»: тези доповідей, 20-21 листопада 2019 року. – К.: ДУІТ, 2019. С. 121-123.

8. Зазірний А.А., Бойко С.О. Вибір критерію оптимальності системи технічного обслуговування суднових комплексів. II Міжнародна науково-практична морська конференція кафедри СЕУ і ТЕ Навчально-наукового інституту Морського флоту Одеського національного морського університету. Одеса, 2020. С.165–168.

Акт реалізації

## ДОДАТОК В

## Вибірки для навчання та тестування нечіткої нейронної мережі

Таблиця В.1 – Навчальна вибірка

Умови навігаційної обстановки	Характеристика дій ССПЗ	Кваліфікація судноводія	Ймовірність помилкових дій судноводія
0,2	0,3	0,4	0,9
0,3	1	0,6	0,6
0,5	0,3	0,7	0,8
0,4	0,2	0	0,6
0	0,5	1	0,9
0,1	0,6	0,7	0,6
0,7	1	0,6	0,9
0,4	0,8	0,9	0,7
0,5	0,6	0,6	0,6
0,6	0,7	0,5	0,8
0,8	0,1	0	0,6
0,7	0,9	0,6	0,6
0,8	0,9	1	0,7
0,2	1	0	0,6
0,6	1	0,8	0,6
0,8	0	0,4	0,7
0,7	0,8	0,7	0,7
0,4	0,3	0,4	0,9
1	0,8	0,3	0,9
0,7	0,8	0,4	0,7
1	0,7	0,8	0,9
0,4	0,9	1	0,7
0,9	1	0,5	0,6
1	0,9	1	0,9
0,6	0,6	0,6	0,7
0,6	1	0,4	0,8
0,4	0,3	0,5	0,7
0,3	0,8	0,1	0,6
0,8	0,8	0,1	0,7
0,3	0	1	0,7
0,5	0,1	0,4	0,9
0,4	0,3	0,2	0,9

Продовження таблиці В.1

1	0,6	0,5	0,7
0,9	0,5	0,7	0,9
0,1	0,8	0,4	0,6
0,4	0,7	0,9	0,8
0,6	0,6	0,9	0,6
0,6	0,2	0,4	0,7
0,5	0,8	0	0,6
0,9	0,8	0,1	0,6
0,3	0,5	0,1	0,9
0,1	0,6	0,7	0,7
0,1	0,1	0,8	0,8
0	0,3	0	0,9
0,6	0,2	0,3	0,8
1	0,4	0,5	0,9
0	1	0,8	0,6
0,9	0,1	0,5	0,6
0,3	0,7	0,5	0,8
0,2	0,8	0,1	0,6
0,9	0,9	0	0,6
0,8	0,7	0,4	0,9
0,8	0,8	0,6	0,6
0,3	0	0,8	0,8
0,5	0,6	0,6	0,9
0	0,9	0,6	0,6
0,2	0,8	0,7	0,7
0	0,1	0,7	0,6
0,6	0,3	0	0,9
0,7	0,3	1	0,8
1	0,5	0	0,9
0,3	0,2	0,2	0,6
0,6	0,8	0,8	0,8
0,8	0,3	0,3	0,9
0,4	0,8	0	0,9
0,4	0,9	0,3	0,6
0,9	0,9	0,1	0,9
0,4	0,8	0	0,8
0,4	0,7	0,6	0,6
0,4	0	0	0,8
0,6	0,5	0,5	0,9
0,8	0,6	0,1	0,8
1	0,3	0,3	0,7
0,4	0,2	0,2	0,6

Продовження таблиці В.1

0,2	0,2	0,4	0,9
1	0,4	0,7	0,6
0,8	0,2	0,9	0,9
0,2	0,3	0,6	0,6
0	1	0,8	0,8
0,8	1	0,1	0,6
0	0,9	0,5	0,7
0,9	0,2	0,6	0,9
0,1	0,9	0,7	0,9
0,6	0,8	0,3	0,8
0,9	0,8	0,3	0,8
0,4	0,2	0,5	0,9
0,4	0,3	0,9	0,9
1	0,8	0	0,6
0,8	1	0,9	0,7
0,5	0,3	0	0,9
0,3	0,5	0,2	0,6
0	0,8	0,4	0,7
0,2	1	0,1	0,7
0	0,2	0,8	0,7
0,3	0,1	0,3	0,7
0,1	0,4	0,3	0,6
0,2	0,5	0,8	0,8
1	0,5	0,2	0,9
0	0,1	0,9	0,9
0,4	0	0,7	0,8
0,3	0,5	0,1	0,8
0,8	0,2	0,1	0,6
0,9	0,7	0	0,7
0,8	0,9	0,8	0,8
0,7	0,9	0,4	0,7
1	0,5	0,7	0,6
0,1	0,5	0,5	0,9
0,8	0,1	0,3	0,6
1	0,2	0	0,9
0,6	0,7	0,4	0,8
1	0	0,8	0,8
0,1	1	0,2	0,8
0,7	0,3	0,5	0,7
0,6	0,9	1	0,7
0,5	0	0,9	0,8
0,6	0,5	0,5	0,8

Продовження таблиці В.1

0,2	0,2	0,2	0,8
0,6	0,1	0,6	0,7
0,5	0,7	0,2	0,7
0,7	0,7	0,2	0,7
0,1	0,2	0,5	0,6
0,4	0,1	0,6	0,6
0,2	0,9	0,3	0,7
0,6	0,3	0,3	0,8
0,9	0,7	1	0,8
0,7	0,7	0,3	0,9
0,3	0,5	1	0,8
1	0,5	0,7	0,7
0,8	0,8	1	0,9
0,2	0,4	1	0,9
0,6	0,8	0,2	0,6
0,4	0,7	0,5	0,7
0	0	0,4	0,8
0,4	0,3	0,9	0,7
0,8	0,7	0,3	0,6
0,8	0,2	0	0,7
0,6	0,6	0,8	0,8
0,8	0	0,2	0,6
0,4	0	1	0,9
0,9	1	0,4	0,8
0,3	0	0,6	0,7
1	0,1	0,7	0,6
0,1	0,7	0,3	0,9
0,4	0,9	0,4	0,6
0,1	0,9	0,3	0,7
0,3	0,9	0,5	0,9
0,9	0,7	0	0,9
0,3	0,9	0	0,6
1	0	1	0,7
0	0,8	0,1	0,8
0,8	0,9	0,2	0,6
1	0	0,7	0,6
0,4	0,5	0,3	0,6
0,8	0,7	0,7	0,9
0,4	0,6	0,7	0,6
0,9	1	0,8	0,9
1	0,3	0,9	0,7
0,5	0,6	0,1	0,7

Продовження таблиці В.1

0,6	0,9	0,8	0,9
0,7	0,8	0,9	0,9
0	1	0,4	0,7
0,8	0	0,3	0,9
1	0,1	0,5	0,6
0,7	0,9	0,4	0,8
0,8	0,2	0,5	0,6
0,5	0,1	0,4	0,8
0	0,6	0,3	0,9
0,6	0,2	0,9	0,7
0,3	0	1	0,6
0,3	0	1	0,7
0,8	0,8	1	0,8
0,6	0,1	0,5	0,6
0	0,8	1	0,7
0	0	0,5	0,8
0	0	0,2	0,6
0,8	0	1	0,9
0,2	0,9	0,9	0,6
0,4	0,5	0	0,7
0	0	0,9	0,7
0,3	0,7	0,8	0,7
0,2	0,6	0,8	0,6
0,5	0,4	0,9	0,9
1	0,1	1	0,8
0,3	0,9	0,6	0,9
0	0,3	0,8	0,8
0,6	0,3	0,2	0,7
1	0,5	0,8	0,7
0,6	0	0,9	0,7
0,1	0	0,4	0,7
0,9	0,5	0,5	0,9
0,2	1	0	0,7
0,6	0,3	0,6	0,9
0,5	0,6	0,1	0,7
1	0,9	0,3	0,7
0,8	0,4	0,8	0,9
0,4	0,4	0,2	0,8
0,6	0,6	0	0,6
0,1	0,9	0,7	0,9
0,5	0,5	0,2	0,9

Таблиця В.2 – Тестова вибірка

Умови навігаційної обстановки	Характеристика дій ССПЗ	Кваліфікація судноводія	Ймовірність помилкових дій судноводія
0	0	0,6	0,2
0,5	0,3	0,4	0,4
0,7	0,9	0,3	0,2
0,9	1	0,5	0,3
0,3	0,8	0,4	0,4
0,3	1	1	0,1
0,7	0,1	0,2	0,4
0,8	0,2	0	0,1
0,8	0,8	0,1	0,3
0,8	0,9	0	0,4
0	0,8	0,4	0,4
0,6	0,5	0,8	0,3
0,1	0,1	0,9	0,3
0,2	0,9	0,8	0,1
0,5	0	0	0,2
1	0,9	0	0,4
0,3	0,4	1	0,4
0	0,2	0	0,2
0,6	0,5	0,9	0,2
0,4	0,6	0,5	0,2
0,8	0,8	0,7	0,2
0,2	0,4	0,6	0,1
0,4	0	0,1	0,2
0,3	0,6	0,3	0,4
0,4	0,3	1	0,2
0,3	0,7	0,4	0,4
0,6	0,6	0	0,1
0,4	0,8	1	0,3
0,9	0,8	0,5	0,3
0,5	0,4	0,5	0,2
1	0,9	0,3	0,4
0,6	0,2	0,2	0,1
0,7	0,7	0,6	0,1
1	0,1	0,2	0,2
0,3	0,9	0,4	0,3
1	1	0,9	0,3
1	1	0,4	0,1
1	0,9	0,6	0,3
0,2	0,6	0,8	0,2

Продовження таблиці В.2

0,1	0,4	1	0,2
0,7	0,4	0	0,3
0,4	0	0,5	0,2
0,3	0,5	0,6	0,1
0,1	0,8	0,6	0,1
1	0,9	0,5	0,3
0	0,6	0,1	0,3
1	0,9	0,9	0,4
0,5	0,7	0,5	0,3
0,3	1	0,3	0,2
0,7	0,2	0,2	0,3
0,9	0,4	0,4	0,1
0,7	0,8	0,8	0,3
0	0,4	0,1	0,1
0,1	1	0,2	0,4
0	0,6	0,8	0,2
0	0,1	0,2	0,4
0	0,5	0,6	0,4
0,3	0,1	0,2	0,2
0,9	1	0,8	0,1
0,5	0,9	0,6	0,2
0,5	0,8	0,4	0,3
0,5	0,7	0	0,3
0,3	0,1	0,8	0,3
0,7	0,7	0,6	0,4
0,3	0,5	1	0,1
0,4	0,9	0,3	0,2
0,8	0,9	0,5	0,3
0,9	0,5	0,2	0,1
0,9	0,1	0,1	0,4
0,9	0,9	0,7	0,3
0,7	0,7	0,8	0,1
0,2	0,1	0,6	0,4
0,3	0,4	0,3	0,2
0,3	0,5	0,3	0,1
0,1	0,3	0,2	0,2
0,1	0,5	0,2	0,2
0,1	0,7	0,4	0,3
0	0,1	0,9	0,4
0,2	0,5	0	0,2
0	0	0,9	0,2
0,5	0,9	0,4	0,3

## Продовження таблиці В.2

0,4	0,3	0,2	0,4
0,2	1	0,3	0,4
0,8	0,5	0,2	0,2
0,1	0,5	0,6	0,4
0,4	0,3	0,1	0,2
0,6	1	0	0,1
0,3	0,2	0,1	0,1
0,7	0,3	0,4	0,2
0,9	0,7	0	0,4
0,4	0,8	0,6	0,3
0,9	0,2	0,6	0,2
0,7	0,1	0,8	0,4
0,3	0,8	0	0,4
0	0,6	0,1	0,2
0	0,8	0,6	0,4
0,9	0,6	0	0,1
0	0,7	0,9	0,1
0,3	0,1	0,7	0,1
0,5	0,7	0,2	0,4
0,5	0	0,8	0,3
0,9	0,5	0,3	0,1
0,9	1	0,3	0,1
0,1	0,7	1	0,2
0,8	0,6	0,4	0,1
0,5	1	0,8	0,1
0,1	0,8	0,5	0,2
0,3	0,5	0,4	0,1
1	0,6	0,8	0,2
0,4	0,4	0,9	0,3
1	0,1	0,3	0,3
0,6	0	0	0,3
1	0,6	0	0,4
0,2	0,2	0,2	0,4
0,1	0,5	0,7	0,3
0	1	1	0,3
0	0,7	1	0,1
0,9	0,8	1	0,2
0,3	0,7	0,8	0,2
0,8	0,1	0,5	0,3
0,1	0,3	0,9	0,3
0,5	0,5	0,8	0,1

Продовження таблиці В.2

0,7	0,3	0,2	0,3
0,6	1	0,9	0,2
0,3	0,8	0,8	0,1
0	0,8	0	0,2
0,7	1	0,9	0,1
0,3	0,4	0,4	0,3
0,3	0	0,5	0,2
0,2	0,2	1	0,4
0,1	0,1	0	0,3
0,4	0,9	0,7	0,3
0,7	0,9	0,9	0,1
0,1	0,5	0	0,2
0	0,9	0,6	0,2
0	0,2	0,1	0,3
0,7	0,5	0,6	0,2
0,3	0,4	0,6	0,1
0,7	0,3	0,9	0,1
0,2	0,6	0	0,1
1	0,7	0	0,4
0,7	0	0,2	0,4
0,2	0,3	0	0,1
0,4	1	0,3	0,2
0,3	0,8	0,1	0,2
0,5	0,7	1	0,3
0,8	0,3	0,3	0,4
0,4	0,4	0,6	0,2
0,5	0,4	0,5	0,4
0,6	0,3	1	0,1
0,7	0,6	0,1	0,4
0,9	0,1	0,4	0,4
0,2	0,9	0,4	0,1
0,4	0,1	1	0,1
1	0,6	0,2	0,1
0,5	0,8	0,4	0,4
0,4	0,7	0	0,2
0,4	0	1	0,3
0,5	0,6	0,7	0,1
0,3	0,9	0,4	0,1
0,4	0,1	0,6	0,4
0,3	0,2	0,6	0,2
0,6	0,9	0,4	0,2

## Продовження таблиці В.2

0,7	0,3	0,3	0,2
0,7	0,4	0,5	0,2
0,1	1	0,8	0,3
0,9	0,6	0,8	0,4
1	0,9	0	0,2
1	1	1	0,2
0,1	0,6	0,5	0,2
0,4	0,1	0,1	0,4
0,8	0,8	0,9	0,1
1	0	0,7	0,1
0,9	0,1	0,1	0,4
0,5	0,5	0,6	0,2
0,9	0,8	0,4	0,3
0	0,8	0,1	0,1
0,6	0,8	0,1	0,1
1	1	1	0,1
0,3	0,8	0,9	0,2
0,2	0,6	0,2	0,2
0,6	0,8	0,2	0,3
0,5	1	0,9	0,4
0,9	0,4	0,5	0,2
0,5	0,9	0,7	0,1
1	0	0,8	0,4
0,9	0,9	1	0,2
0,6	0,4	0,6	0,3
0,2	0,5	0,2	0,2
0,8	0,2	0,4	0,3
0,7	0,8	0,1	0,3
0,8	0,2	0,9	0,4
0,6	0,7	0	0,4
1	0,4	0,5	0,1
1	0	0,4	0,3
0,1	0,5	0,9	0,1
0,2	0,9	0,5	0,3
0,4	0,7	0,5	0,3
0,8	0,4	0,6	0,3
0	0,6	0,2	0,2
0	0	0,7	0,3