

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ХУССЕЙН ЮНОНІЯ МОХАМЕДОВНА

УДК 656.61.073.25:656.61.08

ДИСЕРТАЦІЯ
МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ОБСТАНОВКИ
І ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ВАНТАЖІВ У ПОРТУ
ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ З СУДНОМ

Спеціальність: 271 Морський та внутрішній водний транспорт

Галузь знань: 27 транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

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

_____ Ю.М. Хуссейн

Науковий керівник: Дубинець Олександр Іванович

доктор технічних наук, професор

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Хуссейн Ю.М. Методи автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв’язанні небезпечних ситуацій з судном – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 271 – Морський та внутрішній водний транспорт. – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2025.

У дисертаційній роботі вирішене *актуальне наукове завдання* з розробки методів автоматизованого аналізу обстановки та прийняття рішення для оброблення вантажів у порту при розв’язанні небезпечних ситуацій на судні.

Результатом автоматизованого аналізу обстановки може стати виявлення небезпечних ситуацій на судні. У такому разі виникає проблема щодо прийняття рішень для оброблення вантажів у порту з метою зниження ризику аварій та забруднення акваторії небезпечними вантажами. Особливої уваги у кожному конкретному випадку приділяється оцінці достовірності інформації для визначення ситуації і положення судна, функціонуванню суднового та портового обладнання, застосуванню правил уникнення зіткнень, стану системи навігації та управління судном та ін.

Сьогодення характеризується значними досягненнями у створенні високонадійних автоматизованих систем навігації та управління судном. Водночас залишається проблема «людського» фактору, який є причиною 80% аварій і катастроф на морі. Найчастіше причинами такого виду аварій є нехтування Правилами і Рекомендаціями для плавання, вибір шляху у безпосередній близькості до небезпеки, надмірна швидкість руху, некоректне врахування гідрометеорологічних умов, порушення операційних процедур обробки вантажів тощо.

Кардинальним шляхом вирішення проблеми зниження ризику аварій та забруднення у портовому середовищі є зменшення впливу людського фактору.

Для цього можливо передавати частину функцій від людини (капітана, штурмана) до сучасних систем навігації та управління на основі штучного інтелекту. Такими функціями можуть бути як відносно прості – спостереження й управління, так і пов'язані з розробкою рішень з оцінки і прогнозування обстановки, управління судном у звичайних і надзвичайних ситуаціях, оброблення небезпечних вантажів або ліквідації наслідків аварії.

Використання штучного інтелекту жодним чином не ставить під сумнів кваліфікацію посадової особи, розташованої на містку. Навпаки, це означає тісну взаємодію судноводія і інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень. Це є особливо важливим у складних обставинах (при плаванні в обмежених водах, складних умовах, при виникненні аварійних ситуацій на судні та портовій території).

Дослідження в галузі побудови систем підтримки прийняття рішень та самих принципів прийняття рішень вказують на необхідність розвитку методів створення баз знань. За їхньою допомогою забезпечуватиметься оцінка обстановки і стану судна, формування режимів його маневрування у порту і методів прийняття рішень при розв'язанні небезпечних ситуацій та ліквідації їхніх наслідків.

Сучасні і перспективні технічні засоби навігації та управління судном, визначені у розділі V Міжнародної конвенції про охорону людського життя на морі (SOLAS-74), створили передумови для формування знанняорієнтованих систем для вирішення зазначених завдань.

У теперішній час для оцінки обстановки інформація у навігаційних комплексах подається як у вигляді окремих елементів, так і в інтегрованому вигляді. Але потенціал цих систем для вирішення завдань навігаційних, ситуаційної обізнаності та розв'язання небезпечних ситуацій і ліквідації їхніх наслідків в повній мірі не використовується. Тобто, дані ECDIS можуть стати вихідною інформацією для формування спеціалізованих баз знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень капітана, штурмана та інших осіб, які приймають рішення. А ці бази забезпечитимуть вирішення

завдань безпечного маневрування судна в обмежених (портових) водах і ліквідації наслідків аварій з небезпечними вантажами.

Отже, вітчизняні та закордонні фахівці ретельно займаються вирішенням проблем автоматизації оцінки обстановки на судні та оточуючому середовищі та підтримки прийняття рішень за широким колом питань. Але не в повному обсязі виконано формалізацію процесу оцінки й комплексного аналізу обстановки, особливо в умовах її високої динаміки і нечіткого опису. Оскільки ці процеси спостерігаються в просторі неструктурованих нечітких змінних, то його опис слід подавати із залученням математичного апарату теорії нечітких множин і нечіткої логіки. А розробку методів адекватного реагування на надзвичайні ситуації на судні у порту можна вирішити із застосуванням методів штучного інтелекту.

Таким чином, розробка методів автоматизованого аналізу обстановки та прийняття рішення для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні є *актуальним науковим завданням*.

Метою дослідження є розробка методів автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні для зменшення часу і підвищення обґрунтованості рішень.

Поставлена мета досягається вирішенням таких часткових завдань:

1. Дослідити сучасний стан систем автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.
2. Удосконалити метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту в умовах детерміністичної невизначеності.
3. Удосконалити інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту
4. Розробити метод підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину у районі порту.

5. Розробити метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах небезпечної ситуації на судні .

6. Розробити метод системи підтримки прийняття рішень щодо виходу суден з порту в аварійних умовах.

7. Розробити рекомендації щодо технічної реалізації запропонованих методів.

8. Оцінити ефективність отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – процес прийняття рішень щодо розв'язання небезпечних ситуацій на судні у порту.

Предмет дослідження – методи та принципи аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.

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

системного аналізу – для дослідження проблем аналізу обстановки, прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні і виділення ризиків, що зустрічаються під час вантажно-розвантажувальних робіт в портах;

навігації та управління судном – для безпечного маневрування судна і виходу з терміналу і порту в разі виникнення аварійних ситуацій і проведення попередніх розрахунків щодо відшвартування судна в умовах конкретного впливу навколишнього середовища без сторонньої допомоги;

теорії множин і нечітких множин – для виявлення класів НС на судні в акваторії порту, удосконалення відповідного методу автоматизованої класифікації в умовах детерміністичної невизначеності та представлення дескриптивних знань у базі знань при удосконаленні інтелектуального метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі;

аналізу ієрархій (у т. ч. нечіткого) – для врахування і ранжування факторів впливу і ризику у порядку їх важливості;

штучного інтелекту – для формального опису методу автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту і

концептуалізації операційних знань як STRIP-подібних операторів, збагачених нечіткими множинами для методу реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту;

мережевого планування та управління – для структурного поділу знань і правил по різних рівнях міркувань системи підтримки прийняття рішень;

обчислювального аналізу – для дослідження суден, що сідають на міліну;

комп'ютерного моделювання – для оцінки одержаних результатів й оцінки ефективності пропонованих методів.

Наукова новизна отриманих результатів дисертації полягає в:

1. *Удосконалено* метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту в умовах детерміністичної невизначеності, в якому, на відміну від відомих, фактори, що описують нечітке середовище під час визначення класів ситуацій, подаються множиною продукційних правил, оброблення яких здійснюється з використанням процедури алгебраїчної апроксимації та нечіткої ідентифікації розробленого апарату формалізації.

2. *Удосконалено* інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту, в якому, на відміну від відомих, база знань являє собою ієрархічну структуру, де дескриптивні знання про предметну область представлені у вигляді нечітких множин, операційні знання концептуалізовані як STRIP-подібні оператори, збагачені нечіткими множинами, а планування реалізоване на основі методів мережевого планування та управління, що дозволяє структурно розділити знання і правила за різними рівнями міркувань системи підтримки прийняття рішень, скоротити час реакції системи і підвищити обґрунтованість прийнятих рішень.

3. *Одержав подальший розвиток* метод підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на міліну у районі порту, який на відміну від відомих, відрізняється застосуванням типових сценаріїв посадки судна на міліну, виконуваних розрахунків руху жорсткого тіла, збитків і залишкової міцності судна у пошкодженному стані, що дозволяє у режимі реального часу

запропонувати для особи, яка приймає рішення, альтернативні дії зі збереження цілісності судна, а також варіант з оцінкою пошкоджень днища і навантажень на балки корпусу судна під час посадки на мілину і передбачити наслідки від такої дії.

4. *Одержав подальший розвиток* метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах небезпечної ситуації на судні, який, на відміну від відомих, відрізняється використанням методу нечіткого аналізу ієрархій для врахування і ранжування факторів ризику у порядку їх важливості, що дозволило розглядати його за апарат формалізації для систем підтримки прийняття рішень і порівнювати потенційні ризики для всіх розглянутих механізмів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується проведенням широких узагальнень наявних інформаційних джерел; використанням методів апробованого математичного апарату; практичною перевіркою основних положень, що висуваються, під час моделювання; апробацією основних положень роботи на науково-практичних конференціях різного рівня та в друкованих виданнях.

Наукове значення роботи полягає в подальшому розвитку методів побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішення у частині, що стосується формалізації знань, синтезу інформаційних моделей та процедур аналізу обстановки і прийняття рішень щодо оброблення вантажів у порту при виникненні надзвичайної ситуації на судні в умовах невизначеності.

Практичне значення отриманих результатів полягає в доведенні досліджень до рівня алгоритмічної реалізації, на основі яких можна створювати системи підтримки прийняття рішень для планування програмних режимів руху судна та виходу з терміналу і порту в разі виникнення аварійних ситуацій і проведення попередніх розрахунків щодо відшвартування судна в умовах конкретного впливу навколишнього середовища без допомоги буксирів; оцінювання ризиків під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт в портах; автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень при

розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.

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

Загалом, реалізація розроблених методів інформаційної підтримки прийняття рішень щодо оцінки обстановки і синтезу адекватних складених ситуації рішень дасть змогу підвищити оперативність оцінки порівняно з наявними методами від 12 до 24%.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані:

- у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків розробки та удосконалення систем підтримки прийняття рішень щодо оцінки обстановки та прийняття рішень при виникненні аварійних ситуацій на судні та проведенні вантажно-розвантажувальних робіт у порту;
- у вищих навчальних закладах – для підготовки фахівців зі спеціальності морський та внутрішній водний транспорт.

Основні положення дисертаційної роботи *реалізовані*

- метод автоматизованої класифікації аварійної ситуації з судном в акваторії морського порту в умовах детермінованої невизначеності «Одеський морський торговельний порт» (акт впровадження від 30.01.2025р. № 15/28-36);
- метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту в умовах невизначеності, використовуються у навчальному процесі факультету судноводіння на кафедрі навігації і управління суднами при викладанні дисциплін «Управління судном» для

здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти та «Управління морехідними якостями судна» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт (акт впровадження від 21.01.2025р. № 38/01-11).

В роботі показаний зв'язок роботи з науковими програмами, темами, обґрунтована наукова новизна отриманих результатів, відмічено, що всі статті авторка написала одноосібно.

Ключові слова: база знань, безпека, безпека судноводіння, судноводіння, вантажно-розвантажувальні роботи, інтелектуальний агент, класифікація, клас надзвичайних ситуацій, лінгвістична змінна, логіко-лінгвістична продукційна ієрархічна модель, машина, морський порт, морський та річковий транспорт, людський фактор, навігація, надзвичайна ситуація, нечітка змінна, нечітка ідентифікація, нечітка множина, обстановка, особа, що приймає рішення, персоноід, порт, посадка на міліну, пошкодження, прийняття рішень, ризик, розлив нафти, система підтримки прийняття рішень, судно, ситуація, управління судном.

ABSTRACT

Khussein Yu.M. Methods of automated situation analysis and decision-making for cargo handling in the port when dealing with dangerous situations with a ship - Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for obtaining the degree of Doctor of Philosophy in specialty 271 Maritime and Inland Water Transport. – State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2025.

The dissertation solves *an urgent scientific task* of developing methods for automated situation analysis and decision-making for cargo handling in the port when dealing with dangerous situations on board a ship.

The result of automated situation analysis can be the detection of dangerous situations on a ship. In this case, the problem arises of making decisions for cargo handling in the port to reduce the risk of accidents and pollution of the water area by dangerous cargo. Particular attention in each case is paid to assessing the reliability of information to determine the situation and position of the vessel, the functioning of ship and port equipment, the application of collision avoidance rules, the state of the navigation and ship control system, etc.

Today, there are significant achievements in the development of highly reliable automated navigation and ship control systems. At the same time, the problem of the human factor remains, which causes 80% of accidents and disasters at sea. The most common causes of this type of accident are disregard for the Rules and Guidelines for Navigation, choosing a route near danger, excessive speed, incorrect consideration of hydrometeorological conditions, violation of cargo handling procedures, etc.

A fundamental way to reduce the risk of accidents and pollution in the port environment is to reduce the impact of the human factor. To do this, it is possible to transfer some functions from humans (captain, navigator) to modern navigation and control systems based on artificial intelligence. Such functions can be relatively simple, such as observation and control, or related to the development of solutions

for assessing and forecasting the situation, managing the ship in normal and emergency situations, handling dangerous cargo or eliminating the consequences of an accident.

The use of artificial intelligence in no way calls into question the qualifications of the official on the bridge. On the contrary, it means close interaction between the navigator and the intelligent decision support system. This is especially important in difficult circumstances (when navigating in restricted waters, difficult conditions, and in the event of emergencies on the ship and port area).

Research in the field of building decision support systems and the principles of decision-making itself points to the need to develop methods for creating knowledge bases. They will be used to assess the situation and condition of the vessel, formulate its manoeuvring modes in the port and decision-making methods in dealing with dangerous situations and eliminating their consequences.

Modern and advanced technical means of navigation and ship control, as defined in Section V of the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS-74), have created the preconditions for the development of knowledge-based systems to address these tasks.

At present, information in navigation systems is provided both in the form of separate elements and in an integrated form to assess the situation. However, the potential of these systems for solving navigation and situational awareness problems, as well as for resolving dangerous situations and eliminating their consequences, is not fully utilised. In other words, ECDIS data can become the initial information for the formation of specialised knowledge bases of the intelligent decision support system for the captain, navigator and other decision makers. And these databases will ensure the solution of the tasks of safe manoeuvring of the vessel in restricted (port) waters and liquidation of the consequences of accidents with dangerous goods.

Thus, domestic and foreign experts are thoroughly engaged in solving the problems of automating the assessment of the situation on board and in the environment and supporting decision-making on a wide range of issues. However,

the formalisation of the process of assessment and comprehensive analysis of the situation has not been fully implemented, especially in conditions of its high dynamics and fuzzy description. Since these processes are observed in the space of unstructured fuzzy variables, its description should be given using the mathematical apparatus of fuzzy set theory and fuzzy logic. The development of methods for adequate response to emergencies on a ship in port can be solved with the use of artificial intelligence.

Thus, the development of methods for automated situation analysis and decision-making for cargo handling in the port when dealing with dangerous situations on board a ship is *an urgent scientific task*.

The purpose of the study is to develop methods of automated situation analysis and decision-making for cargo handling in the port when dealing with dangerous situations on board a ship to reduce time and increase the validity of decisions.

This purpose is achieved by solving the following *partial tasks*:

1. To investigate the current state of automated situation analysis and decision-making systems for cargo handling in the port when dealing with dangerous situations on board a ship.
2. To improve the method of automated classification of an emergency situation on a ship in the port area under conditions of deterministic uncertainty.
3. To improve the intelligent method of analysing the situation and responding to a fire in the port's oil terminal
4. To develop a decision support method for managing a ship in a degraded condition in difficult navigation conditions when stranded in the port area.
5. To develop a method of risk management during loading and unloading operations in the port in a dangerous situation on the ship.
6. To develop a method of decision support system for vessel departure from the port in emergency conditions.
7. To develop recommendations for the technical implementation of the proposed methods.
8. Evaluate the effectiveness of the results obtained.

The object of the study is the process of decision-making to resolve dangerous situations on board a ship in a port.

The subject of the study is methods and principles of situation analysis and decision-making for cargo handling in the port when dealing with dangerous situations on board a ship.

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

system analysis - to study the problems of situation analysis, decision-making for cargo handling in the port when dealing with dangerous situations on board a ship and highlighting the risks encountered during loading and unloading operations in ports;

navigation and vessel control - for safe manoeuvring of the vessel and exit from the terminal and port in case of emergency and preliminary calculations for unmooring the vessel in the conditions of specific environmental impact without assistance;

set theory and fuzzy sets - to identify classes of emergencies on a ship in the port area, improve the appropriate method of automated classification under deterministic uncertainty and represent descriptive knowledge in the knowledge base when improving the intelligent method of analysing the situation and responding to a fire in an oil terminal;

hierarchy analysis (including fuzzy) - to consider and rank the factors of influence and risk (in order of importance fuzzy) - to take into account and rank the impact and risk factors in order of their importance;

artificial intelligence - to formally describe the method of automated classification of emergencies on a ship in the port area and conceptualise operational knowledge as STRIP-like operators enriched with fuzzy sets for the method of responding to a fire in the port's oil terminal;

network planning and management - for structural division of knowledge and rules at different levels of reasoning of the decision support system;

computational analysis - to investigate stranded vessels;

computer modelling - to evaluate the results obtained and assess the effectiveness of the proposed methods.

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

1. The method of automated classification of an emergency situation on a ship in the port water area under conditions of deterministic uncertainty *has been improved*, unlike existing approaches, the factors describing the fuzzy environment when determining classes of situations are represented by a set of product rules, which are processed using the procedure of algebraic approximation and fuzzy identification of the developed formalisation apparatus.

2. An intelligent method for analysing the situation and responding to a fire in a port oil terminal *has been improved*, unlike existing approaches, the knowledge base is a hierarchical structure, where descriptive knowledge about the subject area is represented as fuzzy sets, operational knowledge is conceptualised as STRIP-like operators enriched with fuzzy sets, and planning is implemented on the basis of network planning and control methods, which allows structural separation of knowledge and rules by different levels of consideration of the support system.

3. A decision support method for controlling a ship in a degraded state in difficult navigation conditions when running aground in the port area *has been further developed*, unlike existing approaches, is distinguished by the use of typical scenarios of ship grounding, calculations of rigid body motion, damage and residual strength of the ship in a damaged state, which allows the decision maker to offer alternative actions to preserve the integrity of the ship, as well as an option with an assessment of the damage in real time.

4. The method of risk management during loading and unloading operations in the port in a dangerous situation on board a vessel *was further developed*, which, unlike the known ones, is distinguished by the use of the method of fuzzy hierarchy analysis to take into account and rank risk factors in order of importance, which allowed it to be considered as a formalisation apparatus for decision support systems and to compare potential risks for all the mechanisms considered.

The validity and reliability of the scientific positions, conclusions and recommendations are confirmed by conducting extensive generalisations of available sources; using methods of approved mathematical apparatus; practical verification of the main provisions put forward during modelling; testing the main provisions of the work at scientific and practical conferences of various levels and in printed publications.

The scientific significance of the work lies in the further development of methods for building intelligent decision support systems in terms of formalising knowledge, synthesising information models and procedures for analysing the situation and making decisions on cargo handling in a port in the event of an emergency on board a ship under conditions of uncertainty.

The practical significance of the obtained results is to bring the research to the level of algorithmic implementation, on the basis of which it is possible to create decision support systems for planning the program modes of ship movement and exit from the terminal and port in case of emergency and preliminary calculations for unmooring the ship in conditions of specific environmental impact without the help of tugs; risk assessment during loading and unloading operations in ports; automated analysis of the situation and decision-making in the port.

The proposed theoretical methods have a high degree of readiness for use and have been brought to their practical implementation. The application of the developed methods makes it possible to increase the timeliness of decision-making in comparison with the non-automated method by $1.5 \div 2.4$ times, and in comparison with partial automation of management by $1.15 \div 1.55$ times. The increase in the number of factors taken into account and processed using the proposed methods compared with known approaches makes it possible to increase the completeness factor by $14 \div 32\%$ in the available time. The correct description of the subject area by a large number of significant factors allowed for the increased validity of decisions obtained.

In general, the implementation of the developed methods of information support for decision-making on assessing the situation and synthesising decisions

adequate to the current situation will increase the efficiency of the assessment compared to existing methods by 12 to 24%.

The results of this dissertation can be used

- in research organisations - to substantiate the directions of development and improvement of decision support systems for assessing the situation and making decisions in the event of emergencies on board a ship and during loading and unloading operations in the port;

- in higher education institutions - for training specialists in the speciality of maritime and inland waterway transport.

The main provisions of the dissertation *are implemented in*

- method of automated classification of ship emergency situations in port under conditions of deterministic uncertainty, ‘Odesa Commercial Sea Port’ (implementation act of 30.01.2025. No. 15/28-36);

- method of automated classification of emergency situations involving vessels within the seaport under conditions of uncertainty is integrated into the educational process of the Faculty of Navigation, Department of Navigation and Ship Handling. It is applied in the instruction of the course “Ship Handling” for students pursuing the first (bachelor’s) level of higher education, as well as the course “Management of Ship Seaworthiness” for students at the second (master’s) level of higher education, within the specialty 271 – Maritime and Inland Water Transport (implementation act of 21.01.2025. No. 38/01-11).

This paper shows the connection of the work with scientific programmes and topics, substantiates the scientific novelty of the results obtained, and notes that the author wrote all the articles independently.

Keywords: hierarchy analysis, knowledge base, safety, safety of navigation, loading and unloading operations, intelligent agent, classification, emergency class, linguistic variable, logical-linguistic productive hierarchical model, machine, seaport, sea and river transport, human factor, navigation, emergency, fuzzy variable, fuzzy identification, fuzzy set, situation, decision maker, personoid, port, grounding, damage, decision making, risk, oil spill, decision support system, ship, shipping, situation, ship management.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Хуссейн Ю.М. Метод автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту / Ю.М. Хуссейн // Судноводіння. – 2023. – Випуск № 35. С. 151-162. doi.org/0.31653/2306-5761.35.2023.151-162.

2. Хуссейн Ю.М. Метод та система підтримки прийняття рішень для здійснення навмисної аварійної посадки суден на мілину у районі порту/ Ю.М. Хуссейн // Водний транспорт. – 2024. – №2 (40). – С. 23-36. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.02.

3. Хуссейн Ю.М. Система підтримки прийняття рішень для реагування на надзвичайні ситуації в порту / Ю.М. Хуссейн // Вісник Одеського національного морського університету. – 2024. – №3 (74). – С. 103-120. doi.org/10.47049/2226-1893-2024-3-103-120.

4. Хуссейн Ю.М. Система підтримки прийняття рішень для управління операційними ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у портах/ Ю.М. Хуссейн // Водний транспорт. – 2025. – №1 (42). – С. 131-146. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.17.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

5. Хуссейн Ю. М. Метод ситуаційного аналізу для визначення небезпеки та прийняття рішення щодо оброблення вантажів у порту / Ю. М. Хуссейн // Створення та модернізація озброєння та військової техніки для потреб Збройних Сил України: науково-технічне супроводження, випробування та сертифікація: матеріали XXII наук.-техніч. конф., [Черкаси], 28 груд. 2022 р. / М-во оборони України, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, 28 грудня 2022 року. / ДНДІ ВС ОВТ. – Видавець Євенок О.О., 2022. – Черкаси, 2022. – С. 214-215. <https://dndivsovt.com/index.php/collection/article/download/464/434/>

6. Хуссейн Ю. М. Можливі шляхи використання Big data для автоматизації процесів прийняття рішень під час розв'язання небезпечних ситуацій на судні в порту/ Ю. М. Хуссейн // Проблеми і перспективи розвитку транспорту: матеріали XI всеукраїнської наук.-практ. конференції студентів та молодих вчених [Одеса], 21 квітня. 2023 р. / М-во освіти і науки України, Одеський національний морський університет – Одеса, 2023. – С. 121-123. https://onmu.org.ua/images/university/news/XI_conf_tr_2023_at.pdf

7. Хуссейн Ю. М. Концептуальна основа системи підтримки прийняття рішень щодо ліквідації аварійних розливів нафти у порту/ Ю. М. Хуссейн // Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України: матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. конференції [Київ], 3-5 квітня 2024 р. / М-во освіти і науки України, Державний університет інфраструктури та технологій – Київ, 2024. – С. 9-10. <https://files.duit.edu.ua>

8. Хуссейн Ю. М. Актуальність автоматизації портових процесів для забезпечення взаємодії з автономними судами/ Ю. М. Хуссейн // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2024): матеріали XVI Міжнародної наук.-практ. конференції [Одеса], 29-31 травня 2024 р. / М-во освіти і науки України, Херсонська державна морська академія – Одеса, 2024. – С. 70-71. <https://ksma.ks.ua/wp-content>

9. Хуссейн Ю. М. Модель визначення районів безпечного маневрування в обмежених зонах портів і підходів до них/ Ю. М. Хуссейн // Судноводіння, морські перевезення та технології (NST-2024): матеріали наук.-техн. конференції [Одеса], 20-21 листопада 2024 р. / М-во освіти і науки України, Національний університет «Одеська морська академія»– Одеса, 2024. – С. 148-152. <https://nst-conference.com.ua/wp-content/uploads/2025/02/NST-24.pdf>

10. Хуссейн Ю. М. Використання машинного навчання (machine learning) для підвищення ефективності портових операцій / Ю. М. Хуссейн // Проблеми і перспективи розвитку транспорту: матеріали XIII всеукраїнської наук.-практ. конференції студентів та молодих вчених [Одеса], 24 квітня. 2025 р. / М-во освіти і науки України, Одеський національний морський університет— Одеса, 2025. – С. 39-41. <https://onmu.org.ua/>

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	23
ВСТУП	27
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ОБСТАНОВКИ І ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ВАНТАЖІВ У ПОРТУ ПРИ РОЗВ’ЯЗАННІ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ НА СУДНІ	37
1.1 Нормативно-правове регулювання питань забезпечення безпеки на водному транспорті України	37
1.1.1 Цілі та завдання забезпечення безпеки на водному транспорті	37
1.1.2 Аналіз основних нормативних документів з попередження та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій на засобах водного транспорту	41
1.2 Аналіз динаміки настання надзвичайних ситуацій на об’єктах водного транспорту	42
1.2.1 Морське право України: особливості і проблеми класифікації аварійних морських подій	42
1.2.2 Аналіз стану аварійності засобів водного транспорту України у 2006-2024 роках	46
1.3 Аналіз методів інтелектуальної підтримки у системах автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту	51
1.3.1 Загальна характеристика методів побудови інтелектуальних систем	54
1.3.2 Класифікація моделей систем підтримки прийняття рішень	63
1.3.2.1 Аналіз моделей, методів і програмних реалізацій систем типу Executive Information System	65
1.3.2.2 Аналіз моделей, методів і програмних реалізацій систем	

	20
типу Decision Support System	66
1.3.2.3 Особливості систем OLAP-аналізу	66
1.3.2.4 Особливості Data Mining-систем	67
1.3.3 Характеристика динамічної експертної системи	69
1.3.3.1 Особливості експертних систем	76
1.3.3.2 Інтелектуальні системи та їхні особливості	76
1.4 Проблема семантичного розриву в системах підтримки прийняття рішень	77
1.5 Принципи інтелектуальної підтримки особи, яка приймає рішення	78
1.6. Аналіз методів подання знань у системах підтримки прийняття рішень	80
1.6.1 Семантичні моделі подання знань	81
1.6.2 Фреймова модель подання знань	83
1.6.3 Ситуаційне числення та мова логіки предикатів міркувань	85
1.6.4 Подання знань на основі нечітких множин	87
1.7 Постановка завдань створення моделей і методів для СППР з урахуванням якісної інформації	89
1.7.1 Системи, що створюються за участю експертів	89
1.7.2 Системи, що генеруються автоматично	90
1.7.3 Поєднання числових і якісних даних	90
1.7.4 Постановка наукового завдання, розроблення методології проведення дослідження	92
Висновки до першого розділу	102
РОЗДІЛ 2 МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ	
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА СУДНІ В АКВАТОРІЇ ПОРТУ	104
2.1 Метод формування множини факторів, що впливають на класифікацію надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту	104
2.2 Методи оброблення знань для прийняття рішень під час класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту	110
2.2.1 Метод формування множини продукційних правил для визначення класу надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту	110

2.2.2 Метод алгебраїчної поліноміальної апроксимації логіко-лінгвістичної ієрархічної моделі та нечіткої ідентифікації для визначення класу надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту	126
Висновки до другого розділу	147
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ АНАЛІЗУ ОБСТАНОВКИ І РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ НА СУДНІ У ПОРТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ..	149
3.1 Інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту	149
3.1.1 Обґрунтування структури системи підтримки прийняття рішень	150
3.1.1.1 Обґрунтування обрання апарату формалізації системи підтримки прийняття рішень	151
3.1.1.2 Розробка архітектури СППР управління надзвичайною ситуацією у порту та основних алгоритмів її функціонування	153
3.1.2 Розробка інтелектуального методу аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту	157
3.1.3 Розроблення архітектури інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень та її складових	161
3.1.4 Удосконалення CBR-методу реагування системи підтримки прийняття рішень на виникнення надзвичайної ситуації у нафтовому терміналі порту	166
3.2 Розроблення методу підтримки прийняття рішень для навмисної посадки аварійного судна на мілину у районі порту	172
3.2.1 Аналіз можливих причин посадки судна на мілину	172
3.2.2 Розробка методу підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину у районі порту для оцінки наслідків такої події	180
3.3 Метод управління операційними ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у портах в умовах небезпечних ситуацій на судні	195

3.3.1 Загальний характер управління операційним ризиком	195
3.3.2 Дослідження ризиків у машинах й обладнанні за допомогою методу нечіткого аналізу ієрархій	198
3.4 Метод системи підтримки прийняття рішень щодо виходу суден з порту в аварійних умовах	217
3.4.1 Стисла характеристика надзвичайних ситуацій у портах	218
3.4.2 Математична модель маневреності суден в аварійних умовах ..	220
3.4.3 Вироблення системою підтримки прийняття рішень пропозиції щодо відшвартування судна в аварійних умовах	226
Висновки до третього розділу	231
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	234
4.1 Розроблення рекомендацій щодо вдосконалення інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень особами, які приймають рішення, на судні з оцінювання обстановки	234
4.2 Оцінка оперативності прийняття рішень при використанні розроблених методів	237
4.3 Оцінка ступеня обґрунтованості прийняття рішень при використанні розроблених методів	241
4.4 Оцінка технологічних властивостей розроблених методів	244
4.5 Дослідження економічних витрат щодо модифікації автоматизованого робочого місця капітана судна	253
Висновки до четвертого розділу	256
ВИСНОВКИ	257
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	260
ДОДАТКИ	287

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

CBR	– Case-Based Reasoning – міркування за аналогією або на основі прецедентів
CDDSS	– СППР, керована повідомленнями; Communication-Driven DSS
DA	– DirectAdvisor – безпосередній радник
DDDSS	– СППР, керована даними; Data-Driven DSS
DM	– Data Mining – видобуток даних», «інтелектуальний аналіз даних
DoDDSS	– СППР, керована документами; Document-Driven DSS
DODSS	– СППР, орієнтована на роботу з даними; Data-oriented DSS
DOLAP	– Desktop OLAP – настільний OLAP
ECDIS	– електронна картографічна навігаційна інформаційна система
EIS	– Executive Information System – інформаційна система керівництва (ІСК)
E-M'er	– менеджер з надзвичайних ситуацій
GEMINI	– Global Emergency Management Information Network Initiative – Ініціатива глобальної інформаційної мережі з управління надзвичайними ситуаціями
HOLAP	– Hybrid OLAP – гібридний OLAP
IDA	– Intelligent Decision Advisor – інтелектуальний радник з прийняття рішень
IDAPlanner	– інтелектуальний радник із планування прийняття рішень
IMO	– Міжнародна морська організація
InfoProvider	– постачальник інформації
IPK	– Information, Preferences, Knowledge – інформація, правила, знання

IUI	– інтелектуальний користувальницький інтерфейс – Intelligent User Interfaces
KDD	– виявлення знань у базах даних – Knowledge Discovery in Databases
KDDSS	– СППР, керована знаннями; Knowledge-Driven DSS
MDDSS	– СППР, керована моделями; Model-Driven DSS
MDP	– Markov Decision Process – марковський процес прийняття рішень
MINDES	– управлінський інтелектуальний вузол СППР – Managerial Intelligent Node for Decisional Emergency Support
MOLAP	– Multidimensional OLAP – багатовимірний OLAP
NPM	– Network Planning and Management – мережеве планування й управління
OLAP	– Online Analytical Processing – аналітичне оброблення даних у реальному часі
OLAP Data Mining	– багатовимірний Data Mining
RMG	– мобільні навантажувальні крани на залізничному ходу
ROLAP	– Relational OLAP – реляційний OLAP
RTG	– мобільні навантажувальні крани на гумових колесах
SOLAS	– Міжнародна конвенція про охорону людського життя на морі
SSG	– крани типу «судно-берег»
UML	– Unified Modelling Language – уніфікована мова моделювання
АМП	– аварійна морська подія
АС	– підсистема автоматизації
БД	– база даних
БЗ	– база знань
БКЦ	– береговий командний центр
БМ	– база моделей
ВРР	– вантажно-розвантажувальні роботи

ДЕС	– динамічна експертна система
ДН	– детерміністична невизначеність
ЕС	– експертна система
ЗВТ	– засіб водного транспорту
ІА	– інтелектуальний агент
ІМО	– Міжнародна морська організація
ІнС	– інтелектуалізована система
ІОПС	– імовірнісний оператор простору станів
ІОС	– інформаційно-обчислювальна система
ІС	– інтелектуальна система
ІСППР	– інтелектуальна система підтримки прийняття рішення – Intelligent Decision Support System – IDSS
ЛЗ	– лінгвістична змінна
ЛМІ	– людино-машинний інтерфейс
МКУБ	– Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобігання забрудненню
МНАІ	– метод нечіткого аналізу ієрархій
НавС	– підсистема навігації
НЗ	– нечітка змінна
НМ	– нечітка множина
ННЕ	– набір недетермінованих елементів
НС	– надзвичайна ситуація
ОПР	– особа, яка приймає рішення
ОПшР	– орган пошуку і рятування
ПМ	– природна мова
ПО	– предметна область
ППП	– пакет прикладних програм
ПрО	– проблемна область
ПрС	– проблемна ситуація
СБ	– підсистема безпеки

СЕ	– скінчений елемент
СП	– система інтелектуальної підтримки
СПЗ	– спеціальне програмне забезпечення
СППР	– система підтримки прийняття рішення; Decision Support System (DSS)
СУБ	– система управління безпекою
СУБД	– система управління базами даних
УОР	– управління операційними ризиками
ФП	– функція приналежності
ЦУРС	– центр управління рухом суден
ШІ	– штучний інтелект
ШНМ	– штучна нейронна мережа

ВСТУП

Актуальність теми. Результатом автоматизованого аналізу обстановки може стати виявлення небезпечних ситуацій (НС) на судні. У такому разі виникає проблема щодо прийняття рішень для оброблення вантажів у порту з метою зниження ризику аварій та забруднення акваторії небезпечними вантажами. Для вирішення цієї проблеми застосовуються різні організаційні, юридичні і технічні заходи. Особливої уваги у кожному конкретному випадку приділяється оцінці достовірності інформації для визначення ситуації і положення судна, функціонуванню суднового та портового обладнання, застосуванню правил уникнення зіткнень, стану системи навігації та управління судном та ін. [1-15].

Всі ці рішення, безумовно, сприяють зниженню ризику аварій та забруднення небезпечними вантажами портового середовища. Однак інтенсифікація судноплавства постійно породжує нові проблеми судноплавства, які також потребують нових підходів та методів їх вирішення.

Сьогодення характеризується значними досягненнями у створенні високонадійних автоматизованих систем навігації та управління судном. Водночас залишається проблема «людського» фактору, який є причиною 80% аварій і катастроф на морі [16]. Найчастіше причинами такого виду аварій є нехтування Правилами і Рекомендаціями для плавання, вибір шляху у безпосередній близькості до небезпеки, надмірна швидкість руху, некоректне врахування гідрометеорологічних умов, порушення операційних процедур обробки вантажів тощо [15, 17].

Кардинальним шляхом вирішення проблеми зниження ризику аварій та забруднення у портовому середовищі є зменшення впливу людського фактору. Для цього можливо передавати частину функцій від людини (капітана, штурмана) до сучасних систем навігації та управління на основі штучного інтелекту (ШІ). Такими функціями можуть бути як відносно прості – спостереження й управління, так і пов'язані з розробкою рішень з оцінки і

прогнозування обстановки, управління судном у звичайних і надзвичайних ситуаціях, оброблення небезпечних вантажів або ліквідації наслідків аварії.

Використання ІІІ жодним чином не ставить під сумнів кваліфікацію посадової особи, розташованої на містку. Навпаки, це означає тісну взаємодію судоводія і системи інтелектуальної підтримки (СП) (інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР)) у прийнятті обґрунтованих рішень. Це є особливо важливим у складних обставинах (при плаванні в обмежених водах, складних умовах, при виникненні аварійних ситуацій на судні та портовій території). Вирішенню деяких питань побудови судових СП присвячені деякі прикладні наукові дослідження [1, 18-20].

Дослідження в галузі побудови систем підтримки прийняття рішень (СППР) та самих принципів прийняття рішень [21-23] вказують на необхідність розвитку методів створення баз знань (БЗ). За їхньою допомогою забезпечуватиметься оцінка обстановки і стану судна, формування режимів його маневрування у порту і методів прийняття рішень при розв'язанні небезпечних ситуацій та ліквідації їхніх наслідків.

Сучасні і перспективні технічні засоби навігації та управління судном, визначені у розділі V Міжнародної конвенції про охорону людського життя на морі (SOLAS-74), створили передумови для формування знанняорієнтованих систем для вирішення зазначених завдань.

У теперішній час для оцінки обстановки інформація у навігаційних комплексах подається як у вигляді окремих елементів, так і в інтегрованому вигляді разом з даними електронних картографічних навігаційних інформаційних систем (ECDIS) [3, 7-13]. Але потенціал цих систем для вирішення завдань навігаційних, ситуаційної обізнаності та розв'язання небезпечних ситуацій і ліквідації їхніх наслідків в повній мірі не використовується. Тобто, дані ECDIS можуть стати вихідною інформацією для формування спеціалізованих баз знань ІСППР капітана, штурмана та інших осіб, які приймають рішення (ОПР). А ці бази забезпечитимуть вирішення завдань безпечного маневрування судна в обмежених (портових) водах і

ліквідації наслідків аварій з небезпечними вантажами [1-4].

Отже, вітчизняні та закордонні фахівці ретельно займаються вирішенням проблем автоматизації оцінки обстановки на судні та оточуючому середовищі та підтримки прийняття рішень за широким колом питань. Серед них виділимо Вагущенко Л.Л. [24], Голікова В.В. [25], Піпченка О.Д. [26], Кульбацького А.А. [27], Масіка І.П. [28], Мельника О.М. [29], Тимошук О.М. [30], Цимбала М.М. [31], Dyrz C. [32], Zis T., Psaraftis H., Ding L. [33], Iphar C., Jousselme A.L. [34], Kytariolou A., Themelis N. [35] та ін.

Але не в повному обсязі виконано формалізацію процесу оцінки й комплексного аналізу обстановки, особливо в умовах її високої динаміки і нечіткого опису. Оскільки ці процеси спостерігаються в просторі неструктурованих нечітких змінних, то його опис слід подавати із залученням математичного апарату теорії нечітких множин (НМ) і нечіткої логіки. А розробку методів адекватного реагування на надзвичайні ситуації на судні у порту можна вирішити із застосуванням методів штучного інтелекту.

Таким чином, розробка методів автоматизованого аналізу обстановки та прийняття рішення для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні є *актуальним науковим завданням*.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Проведені в дисертації дослідження безпосередньо пов'язані з виконанням науково-дослідних робіт (НДР) [36, 37], в яких здобувачка є виконавцем. Дані НДР, як подальше продовження досліджень з теоретичних та прикладних питань щодо удосконалення навігації та управління рухом засобів водного транспорту, відповідають Тематичному плану наукових досліджень та розробок Державного університету інфраструктури та технологій.

Напрямок виконаних досліджень базується на висунутих завданнях у Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року [38] і Морській доктрині України на період до 2035 року [39].

Мета та завдання досліджень. Метою дисертації є розробка методів автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення

вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні для зменшення часу і підвищення обґрунтованості рішень.

Досягнення поставленої перед дисертантом цілі передбачає проведення дослідження та вирішення таких *часткових наукових завдань*:

1. Дослідити сучасний стан систем автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.

2. Удосконалити метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту в умовах детерміністичної невизначеності.

3. Удосконалити інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту

4. Розробити метод підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину у районі порту.

5. Розробити метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах небезпечної ситуації на судні .

6. Розробити метод системи підтримки прийняття рішень щодо виходу суден з порту в аварійних умовах.

7. Розробити рекомендації щодо технічної реалізації запропонованих методів.

8. Оцінити ефективність отриманих результатів.

Об'єктом даного дослідження є процес прийняття рішень щодо розв'язання небезпечних ситуацій на судні у порту.

Предмет дослідження – методи та принципи аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.

Відповідно до наукового завдання, об'єкта, предмета та мети дослідження на захист виносяться такі **наукові результати**:

1. Удосконалено метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту в умовах детерміністичної невизначеності, в якому, на відміну від відомих, фактори, що описують нечітке середовище під

час визначення класів ситуацій, подаються множиною продукційних правил, оброблення яких здійснюється з використанням процедури алгебраїчної апроксимації та нечіткої ідентифікації розробленого апарату формалізації.

2. Удосконалено інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту, в якому, на відміну від відомих, база знань являє собою ієрархічну структуру, де дескриптивні знання про предметну область представлені у вигляді нечітких множин, операційні знання концептуалізовані як STRIP-подібні оператори, збагачені нечіткими множинами, а планування реалізоване на основі методів мережевого планування та управління, що дозволяє структурно розділити знання і правила за різними рівнями міркувань системи підтримки прийняття рішень, скоротити час реакції системи і підвищити обґрунтованість прийнятих рішень.

3. Одержав подальший розвиток метод підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину у районі порту, який на відміну від відомих, відрізняється застосуванням типових сценаріїв посадки судна на мілину, виконуваних розрахунків руху жорсткого тіла, збитків і залишкової міцності судна у пошкодженому стані, що дозволяє у режимі реального часу запропонувати для особи, яка приймає рішення, альтернативні дії зі збереження цілісності судна, а також варіант з оцінкою пошкоджень днища і навантажень на балки корпусу судна під час посадки на мілину і передбачити наслідки від такої дії.

4. Одержав подальший розвиток метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах небезпечної ситуації на судні, який, на відміну від відомих, відрізняється використанням методу нечіткого аналізу ієрархій для врахування і ранжування факторів ризику у порядку їх важливості, що дозволило розглядати його за апарат формалізації для систем підтримки прийняття рішень і порівнювати потенційні ризики для всіх розглянутих механізмів.

Обґрунтованість і достовірність отриманих у роботі наукових результатів, висновків і рекомендацій забезпечується проведенням широких узагальнень наявних інформаційних джерел; використанням методів апробованого математичного апарату; практичною перевіркою основних положень, що висуваються, під час моделювання; апробацією основних положень роботи на науково-практичних конференціях різного рівня та в друкованих виданнях.

Методи дослідження. Основою для проведення теоретичних та прикладних досліджень щодо автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень є результати, досягнення, моделі і методи:

системного аналізу – для дослідження проблем аналізу обстановки, прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв’язанні небезпечних ситуацій на судні і виділення ризиків, що зустрічаються під час вантажно-розвантажувальних робіт в портах;

навігації та управління судном – для безпечного маневрування судна і виходу з терміналу і порту в разі виникнення аварійних ситуацій і проведення попередніх розрахунків щодо відшвартування судна в умовах конкретного впливу навколишнього середовища без сторонньої допомоги;

теорії множин і нечітких множин – для виявлення класів НС на судні в акваторії порту, удосконалення відповідного методу автоматизованої класифікації в умовах детерміністичної невизначеності та представлення дескриптивних знань у базі знань при удосконаленні інтелектуального методу аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі;

аналізу ієрархій (у т. ч. нечіткого) – для врахування і ранжування факторів впливу і ризику у порядку їх важливості;

штучного інтелекту – для формального опису методу автоматизованої класифікації НС на судні в акваторії порту і концептуалізації операційних знань як STRIP-подібних операторів, збагачених нечіткими множинами для методу реагування на виникнення пожежі у нафтовому порту;

мережевого планування та управління – для структурного поділу знань

і правил по різних рівнях міркувань системи підтримки прийняття рішень;
обчислювального аналізу – для дослідження суден, що сідають на мілину;
комп'ютерного моделювання – для оцінки одержаних результатів й
оцінки ефективності пропонованих методів.

Емпіричною основою забезпечення достовірності теоретичних положень і висновків є експериментальні матеріали лоцманських проводок та маневрування судна під час швартових операцій до причалів нафтового терміналу порту Одеси.

Теоретична значущість отриманих результатів полягає в подальшому розвитку методів побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішення у частині, що стосується формалізації знань, синтезу інформаційних моделей та процедур аналізу обстановки і прийняття рішень щодо оброблення вантажів у порту при виникненні надзвичайної ситуації на судні в умовах невизначеності.

Практична цінність дисертації полягає в доведенні досліджень до рівня алгоритмічної реалізації, на основі яких можна створювати системи підтримки прийняття рішень для планування програмних режимів руху судна та виходу з терміналу і порту в разі виникнення аварійних ситуацій і проведення попередніх розрахунків щодо відшвартування судна в умовах конкретного впливу навколишнього середовища без допомоги буксирів; оцінювання ризиків під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт в портах; автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.

Метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту дає змогу віднести виявлену ситуацію до визначеного класу, а розроблений апарат формалізації – виявити і ранжувати фактори, що описують нечітке середовище і визначають клас ситуацій.

Метод підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, при посадці на мілину дає змогу розділити цей процес на рух жорсткого тіла й опір проникненню у структуру дна. За

допомогою методу можливо виробляти рішення у режимі реального часу та оцінювати структурні пошкодження, розрив, можливе затоплення або розлив нафти, включаючи подальшу руйнівну деградацію через коливання припливу та/або посилення хвиль і вітру. Доведено, що при швидкості 4 м/с у момент посадки на мілину в разі піднесення перешкоди на 4 м над середньою осадкою судна при вузькому конусі ушкоджується більша частина балки корпусу, а при тупій перешкоді – лише перший танк.

Метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах НС на судні дає змогу встановити найважливіші ризики, з якими стикається досліджене обладнання. Доведено, що найважливішими ризиками для термінальних тягачів є ризик пожежі/вибуху в результаті наближення до зони заправки з предметами, які можуть спричинити пожежу та вибух, а також виконання заправки без дотримання інструкцій з заправки термінального тягача; ризик виникнення пожежі/вибуху при заправці розглянутих машин є найбільш критичним ризиком, що спостерігається.

Метод оцінки потенційних можливостей виходу судна з порту в НС дає змогу виконати попередні розрахунки можливостей відшвартування судна в умовах впливу навколишнього середовища без сторонньої допомоги. Отримані теоретичні розрахунки й експериментальні результати для аналогічних типів суден за однакових умов навколишнього середовища мають розбіжності менше 15%, що свідчить про можливість їхнього використання у СППР.

Загалом, реалізація розроблених методів інформаційної підтримки прийняття рішень щодо оцінки обстановки і синтезу адекватних складених ситуації рішень дасть змогу підвищити оперативність оцінки порівняно з наявними методами від 12 до 24%.

Основні положення дисертаційної роботи реалізовані у навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій (акт впровадження від 21.01.2025р. № 38/01-11 (Додаток Г)) та у Державному підприємстві «Одеський морський торговельний порт» (акт впровадження від 30.01.2025року № 15/28-36 (Додаток Д)).

Результати дисертаційних досліджень знайшли впровадження:

– метод автоматизованої класифікації аварійної ситуації на судні в акваторії морського порту в умовах детермінованої невизначеності – для розробки та подальшого впровадження елементів систем підтримки прийняття рішень для більш точного й оперативного визначення класу ситуацій, що є базою для розробки рішення, що найбільш повно відповідає небезпечній ситуації (акт впровадження у Державному підприємстві «Одеський морський торговельний порт» від 30.01.2025р. № 15/28-36);

– метод автоматизованої класифікації аварійної ситуації з судном в акваторії морського порту в умовах детермінованої невизначеності «Одеський морський торговельний порт» (акт впровадження від 30.01.2025р. № 15/28-36;

– метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту в умовах невизначеності, використовуються у навчальному процесі факультету судноводіння на кафедрі навігації і управління суднами при викладанні дисциплін «Управління судном» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти та «Управління морехідними якостями судна» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт (акт впровадження від 21.01.2025р. № 38/01-11).

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані:

- у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків розробки та удосконалення систем підтримки прийняття рішень щодо оцінки обстановки та прийняття рішень при виникненні аварійних ситуацій на судні та проведенні вантажно-розвантажувальних робіт у порту;

- у вищих навчальних закладах – для підготовки фахівців зі спеціальності морський та внутрішній водний транспорт.

Особистий внесок здобувача. Нові наукові результати дисертації отримані здобувачем особисто. Всі статті здобувачка виконана одноосібно.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи було апробовано на XXII

науково-технічній конференції «Створення та модернізація озброєння та військової техніки для потреб Збройних Сил України: науково-технічне супроводження, випробування та сертифікація» Державного науково-дослідницького інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (Державний науково-дослідницький інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, 2022 р.) [44]; XI і XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих вчених «Проблеми і перспективи розвитку транспорту» (Одеський національний морський університет, м. Одеса, 2023 р. і 2025 р.) [45, 49]; II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України» (Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ, 2024 р.) [46]; XVI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT – 2024», (Херсонська державна морська академія, м. Одеса, 2024 р.) [47]; Науково-технічній конференції «Судноводіння, морські перевезення та технології NST-2024», (Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса, 2024 р.) [48].

Публікації результатів дисертації. Публікації за темою дисертації складаються з 4 наукових статей (4 у переліку видань, що включені до Переліку фахових видань України (категорія Б)), 6 тез доповідей на наукових, науково-практичних науково-технічних конференціях і 2 звітах про науково-дослідну роботу.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і чотирьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 295 сторінок друкованого тексту, що містить 52 таблиці, 78 рисунків (з них 11 таблиць і 26 рисунків на 21 окремій сторінці), 253 найменування використаних джерел на 28 сторінках і чотири додатки на 10 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ОБСТАНОВКИ І ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ВАНТАЖІВ У ПОРТУ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ НА СУДНІ

1.1 Нормативно-правове регулювання питань забезпечення безпеки на водному транспорті України

1.1.1 Цілі та завдання забезпечення безпеки на водному транспорті

Розвиток небезпечних природних явищ і техногенних аварій і катастроф на засобах водного транспорту (ЗВТ) на території України в останні роки має двоспрямовану тенденцію як за масштабами, так і за наслідками. Це викликано, у першу чергу, старінням флоту суден, стрімким відставанням в обладнанні портів сучасними транспортними системами, майже повною відсутністю елементів інтелектуалізації як на більшості суден, так і у береговій (портовій) інфраструктурі. З іншого боку, ведення бойових дій на території України різко скоротило завантаженість діючих портів та загальну кількість портів, що приймають участь в операційній діяльності.

Але протягом останніх років спостерігається позитивна тенденція – неухильне зниження кількості загиблих і постраждалих у НС людей [50-63]. Тому можна опосередковано відзначити досить високу ефективність превентивних заходів щодо запобігання надзвичайних ситуацій і заходів з ліквідації їхніх наслідків.

Теперішній час характеризується тенденцією швидкого переходу небезпечних явищ і процесів із природних у техногенні і навпаки. Водночас значно зросли масштаби і частота виникнення лих різного характеру. Так, наслідки аварій двох танкерів наприкінці 2024 року у Керченській протоці [64] вже проявилися на узбережжі Одеси.

Статистика свідчить, що основною причиною виникнення аварій і пожеж продовжує залишатися людський фактор [50-63, 65, 66]. Збільшення кількості аварій каскадного характеру пов'язане зі зростанням залежності людей від технологій та інновацій, збільшенням виробничих площ і об'єктів, результатами ведення бойових дій. Територія нашої країни має досить велику кількість морських і річкових шляхів, використовуваних в туристичних і транспортних цілях. Це тягне за собою експлуатацію ЗВТ, портів та інших інфраструктурних об'єктів. В акваторії порту відбувається чимала кількість аварій, які тягнуть за собою загибель людей (у т. ч. через військові дії), втрату або пошкодження вантажів, забруднення довкілля. Тому особливо актуальним є питання забезпечення безпеки від загроз техногенного характеру при обробленні вантажів (особливо небезпечних) у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.

Отже, необхідно швидко аналізувати обстановку, точно й однозначно виявляти, розпізнавати і класифікувати ситуацію, що складається у навколишньому середовищі або на судні чи порту, і приймати адекватне стосовно цієї ситуації рішення. Способи і методи аналізу обстановки, повернення її за можливістю до стандартної або ведення аварійно-рятувальних робіт для ліквідації наслідків, що виникають під час аварій і катастроф, ґрунтуються на досвіді минулих подій. Але вже зараз спостерігається відставання якісного та кількісного характеру матеріально-технічної бази системи запобігання та ліквідації НС від потреб, які виникають, для вирішення нових завдань [67, 68]. Для забезпечення безпеки є вкрай важливим запобігання саме настанню надзвичайних ситуацій, аніж ліквідація їх наслідків.

Основні поняття безпеки зафіксовані у державних стандартах [69, 70] та наведені на рис. 1.1.

Найчастіше НС техногенного характеру виникають у транспортній галузі. Але не завжди аварія переростає в розряд НС, проте такий результат не можна виключати. Тому виникає необхідність розроблення плану заходів у НС, наприклад, у разі посадки судна на мілину, розливу палива тощо.



Рисунок 1.1 – Основні поняття щодо забезпечення безпеки на засобах водного транспорту

(Джерело – розроблено автором на основі [69, 70])

Надзвичайні надзвичайні ситуації класифікують так [69, 70] (рис. 1.2).

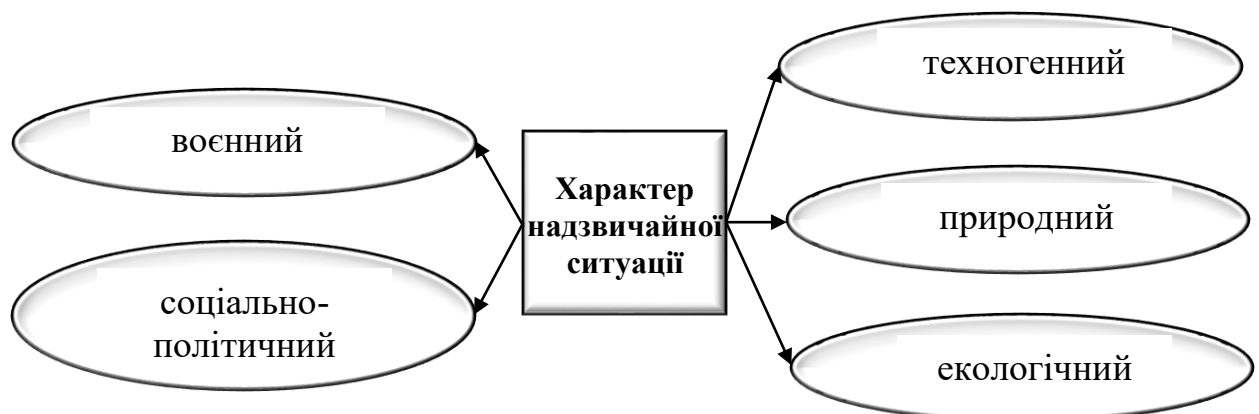


Рисунок 1.2 – Класифікація надзвичайних ситуацій

[Джерело – розроблено автором]

Основною метою мінімізації втрат від надзвичайних ситуацій на ЗВТ є підвищення рівня захищеності населення, матеріальних і культурних цінностей і навколишнього середовища від небезпек [71]. Для досягнення цієї мети державні органи розробляють магістральні напрями попередження надзвичайних ситуацій та ліквідації їхніх можливих наслідків. Вирішення завдань тактичного рівня стосується автоматизації аналізу обстановки навколо судна й прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні (рис. 1.3). Вирішення вказаних завдань передбачає впровадження сучасних технічних засобів збору й аналізу інформації про обстановку та розроблення СППР.

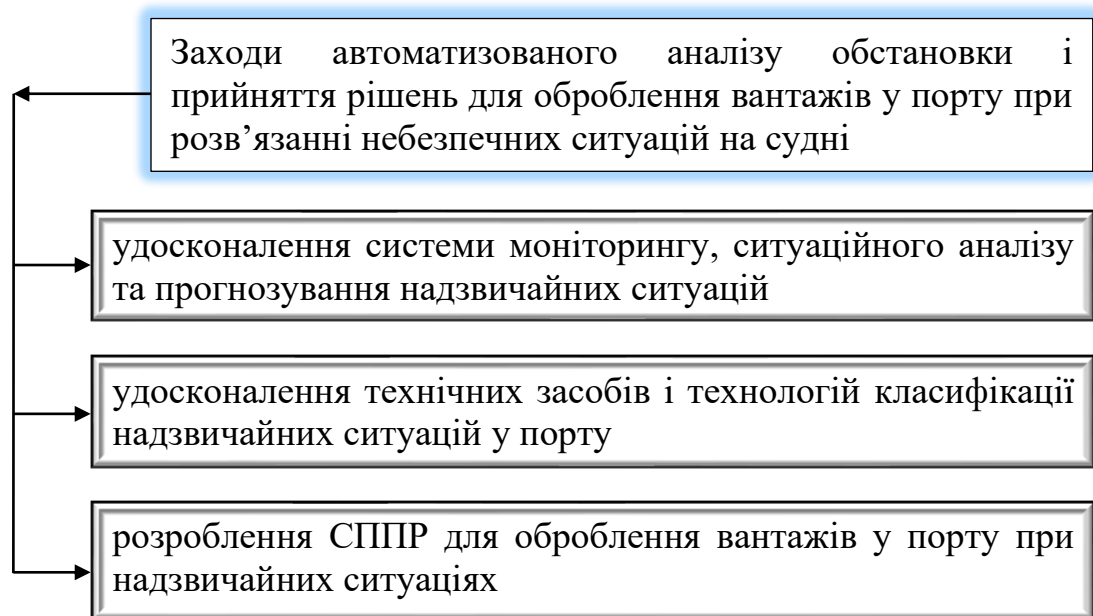


Рисунок 1.3 – Заходи, спрямовані на вирішення завдань автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту
[Джерело – розроблено автором]

До водного транспорту відносяться річковий і морський види транспорту. Інформаційне забезпечення управлінських функцій із автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні НС на об'єктах морського і річкового транспорту може здійснюється на морських і річкових портах; приписаних до них морських і

річкових суднах; шляхах морського і річкового транспорту; небезпечних ділянках на фарватері; зонах (акваторіях) моніторингу суден; бонових загородженнях спеціалізованих формувань, призначених для ліквідації розливів нафти; мостах; небезпечних ділянках у руслах річок тощо. З урахуванням теми дослідження обмежимося ситуаційним аналізом у порту та підході до нього, станом судна у цих районах, проведенням необхідних вантажно-розвантажувальних робіт (ВРР) у порту при виникненні небезпечних ситуацій на судні.

1.1.2 Аналіз основних нормативних документів з попередження та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій на засобах водного транспорту

Міжнародна морська організація (ІМО) визначає забезпечення безпеки морських суден серед основних проблем судноплавства. Це зафіксовано у базових документах організації – Міжнародній конвенції з охорони людського життя на морі 1974 року (СОЛАС-74)] [72] і Міжнародному кодексі з управління безпечною експлуатацією суден і запобігання забрудненню (МКУБ) [73]

У нормативних документах ІМО терміни «безпека», «надійність», «ризик» визначені нечітко. Це ускладнює розроблення рекомендацій щодо забезпечення безпечної експлуатації ЗВТ.

Так, згідно ІМО, ризик визначається як поєднання частоти (ймовірності) і тяжкості наслідків небажаної події. Відповідно, Компанія повинна ідентифікувати, оцінити та максимально знизити наявні ризики, які стосуються екіпажу, довкілля та судна [73, п. 1.2.2].

У джерелах [74-76] щодо термінології менеджменту ризиків пояснюється, що ризик є поєднанням настання ймовірності події та її наслідків. А, відповідно до стандартів ISO/IEC, оцінка ризику є аналізом ризику у комбінації з якісною/кількісною оцінкою. Водночас ці стандарти є основою для розроблення ризик-орієнтованих стандартів і методики зниження

ризиків від стихійних лих та управління ризиком стихійних лих.

Повноваження учасників робіт із запобігання та ліквідації НС на транспорті закріплені у низці документів: міжнародних [72, 77-79], національних і відомчих [80-83 та ін.]. Перелічені документи є основою для проведення робіт із забезпечення безпеки на транспорті.

1.2 Аналіз динаміки настання надзвичайних ситуацій на об'єктах водного транспорту

Значення водного транспорту для України визначено її положенням на берегах акваторії Чорного і Азовського морів. Серед усіх країн Чорного та Азовського морів саме Україні належить найбільший морський портовий потенціал [84]. Усі порти України (18 морських портів) знаходяться в управлінні Адміністрації морських портів України. У 2022 році більшість цих портів були фактично закриті для міжнародного судноплавства. Одеса, а також, меншою мірою, Чорноморськ і Південний були частково відкриті для обмеженого експорту зерна та аміаку в рамках Чорноморської зернової ініціативи за посередництва ООН [84-86].

1.2.1 Морське право України: особливості і проблеми класифікації аварійних морських подій

Аварійною морською подією (АМП) називається подія, що виникла в результаті експлуатації судна чи у зв'язку з нею, яка спричинила або могла спричинити людські жертви, або заподіяти шкоду здоров'ю людей, загибель судна або втрату його морехідного стану, а також забруднення навколишнього природного середовища» [87]. Разом з тим, за короткий термін існування України як незалежної морської держави народилося кілька документів, що стосуються термінології АМП. Але парадокс є у тому, що відсутні єдині

підходи щодо класифікації АМП. Це знижує ефективність роботи для мінімізації ризику виникнення і запобігання аварійних морських подій.

Згідно з Положеннями [87] і [88], введено класифікацію АМП за наслідками: дуже серйозні аварії, серйозні аварії, морські інциденти (серйозні інциденти) та інциденти (рис. 1.4).

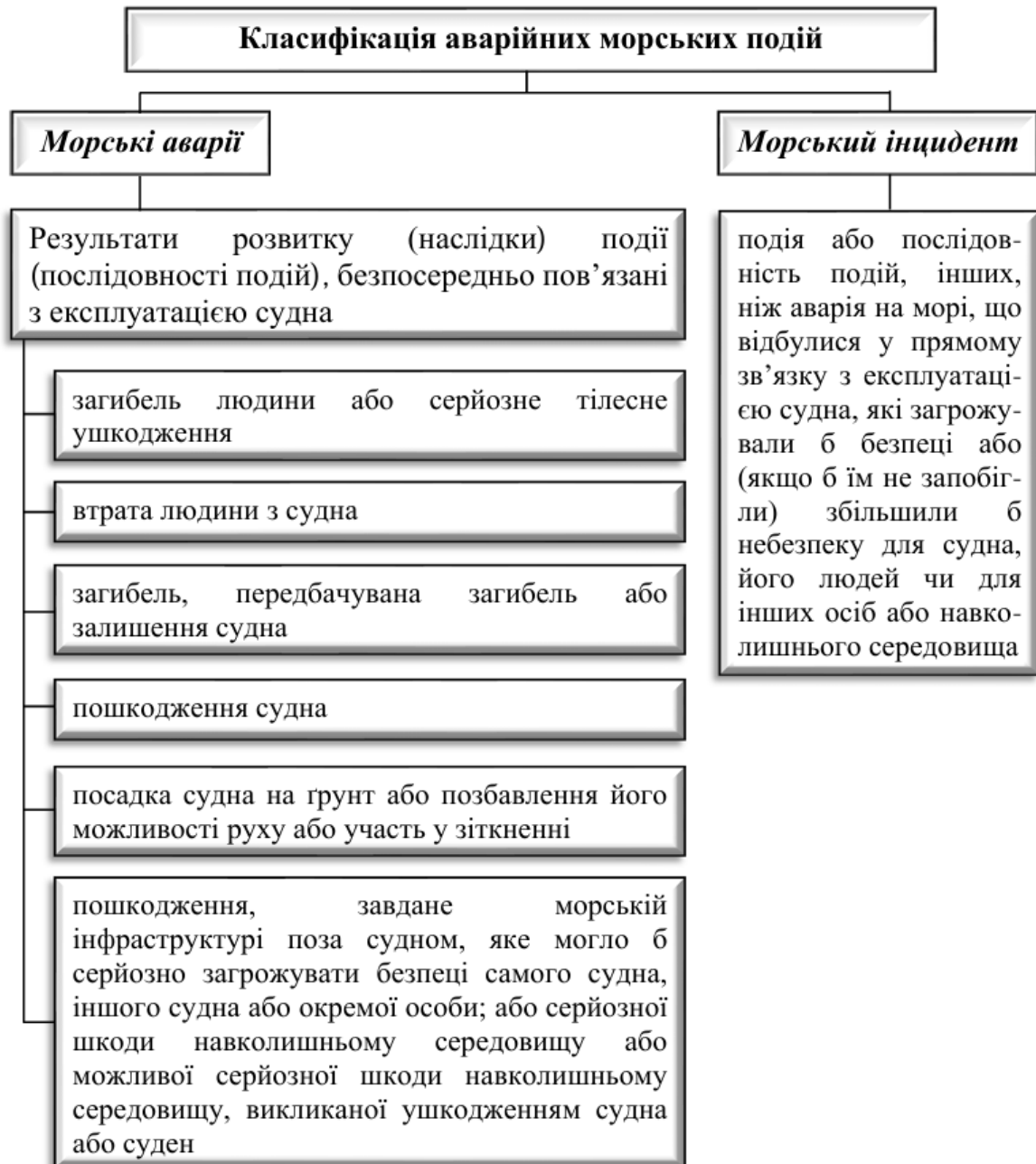


Рисунок 1.4 – Морські події у нотації Положення [87]

[Джерело – розроблено автором]

Однак Положення 2006 року [86] однозначно визначило, що АМП також класифікуватися залежно від наслідків (рис. 1.5), видів (рис. 1.6) і причин (рис. 1.7)

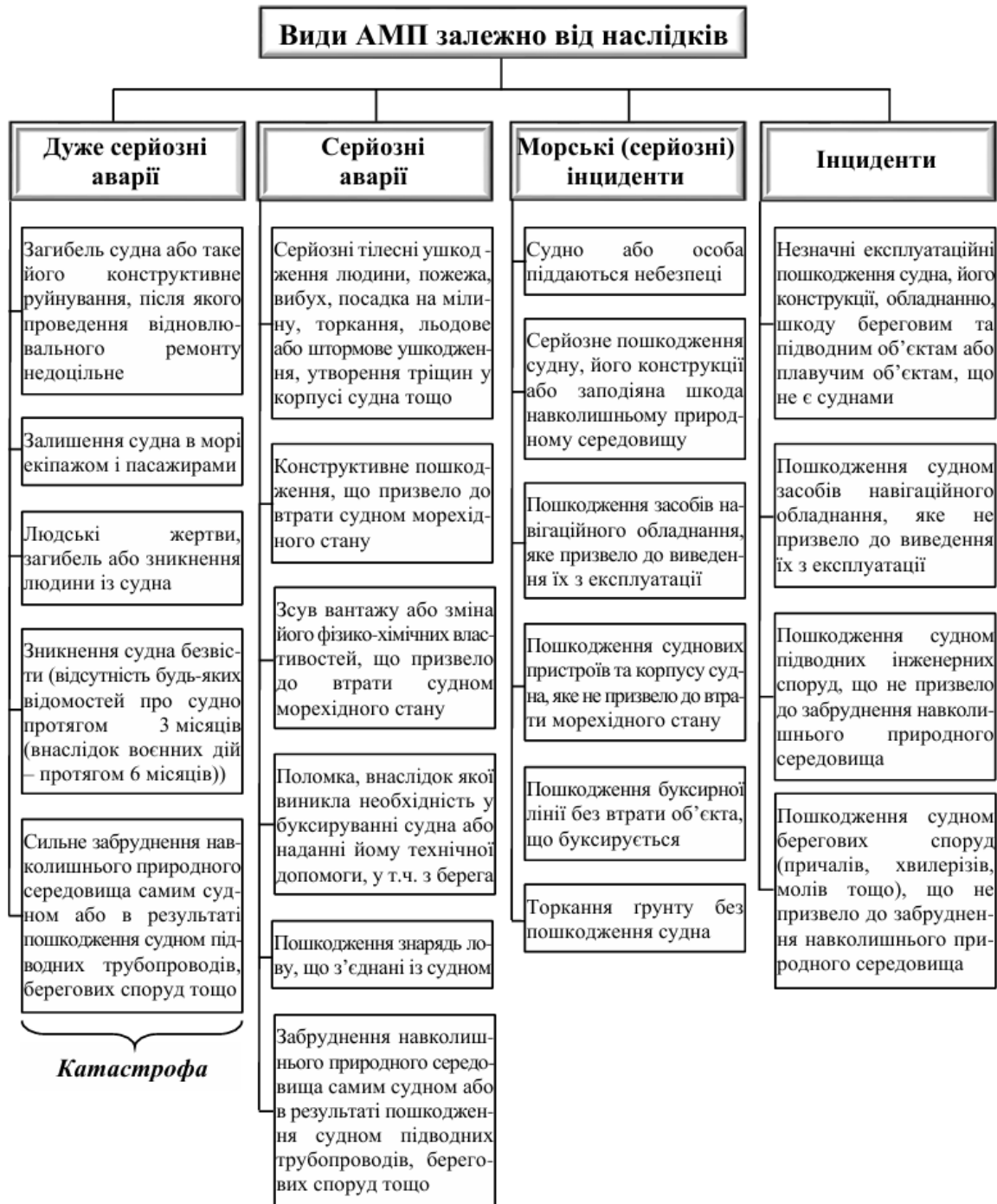


Рисунок 1.5 – Класифікація АМП за наслідками

[Джерело – розроблено автором]

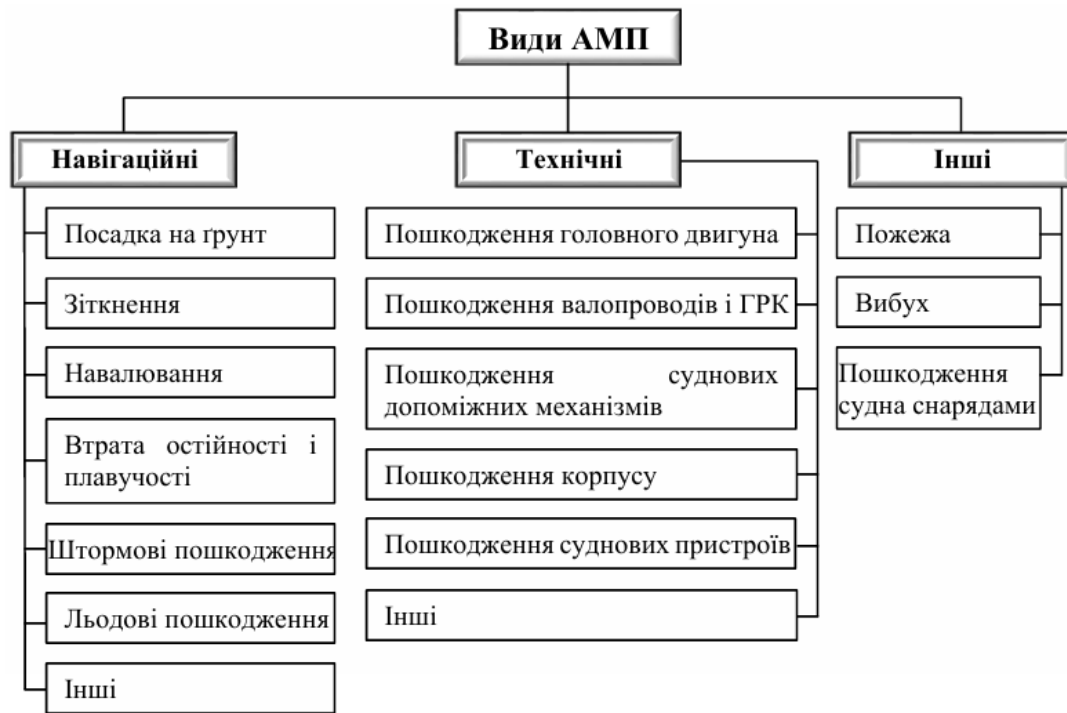


Рисунок 1.6 – Класифікація АМП за видами [Джерело – розроблено автором]



Рисунок 1.7 – Класифікація АМП за причинами
[Джерело – розроблено автором]

Загалом за наслідками АМП можуть спричинити шкоду життю чи здоров'ю людини, завдати матеріальних збитків судновласнику, забруднити навколишнє природне середовище тощо.

Зазначені у [87] види АМП можна поділити на підвиди залежно від розвитку подій.

Класифікація аварійних морських подій за прапором судна і статусом простору, де відбулася АМП дає змогу визначити, за яким документом проводитиметься розслідування ([Ошибка! Закладка не определена.] або п. 5.7.6 [Ошибка! Закладка не определена.]). У будь-якому випадку АМП з іноземними суднами розслідуватимуться відповідно до основних принципів співробітництва між суттєво зацікавленими державами.

Отже, за результатами проведеного аналізу наявних нормативних документів встановлено відсутність єдиної класифікації АМП. У дисертації для класифікації аварійних морських подій за базовий прийнято Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами 2006 року [Ошибка! Закладка не определена.].

За статистикою, кількість аварій за місцем їхнього походження розподіляється так:

- 1) аварії у відкритому морі (близько 65%);
- 2) аварії в морських портах (близько 25%);
- 3) аварії, що сталися в протоках і каналах (близько 10%).

Причому майже половина (43%) всіх пригод на морському транспорті у 2020-2024 роках припадала на позбавлення можливості руху судна; 26% – навали і зіткнення; 15% – посадки на мілину; 6% – пожежі та вибухи (рис. 1.8).

Але поступове зниження аварійності за останні п'ять років не знімає актуальності питання забезпечення безпеки на водному транспорті.

Ретельно проведений аналіз аварій і подій на водному транспорті показав, що основною причиною їхнього виникнення залишається людський фактор [59-63]. Переважно аварійні випадки стали наслідком невиконання екіпажами та/або судновласником нормативних документів, що

регламентують безпеку на водному транспорті.

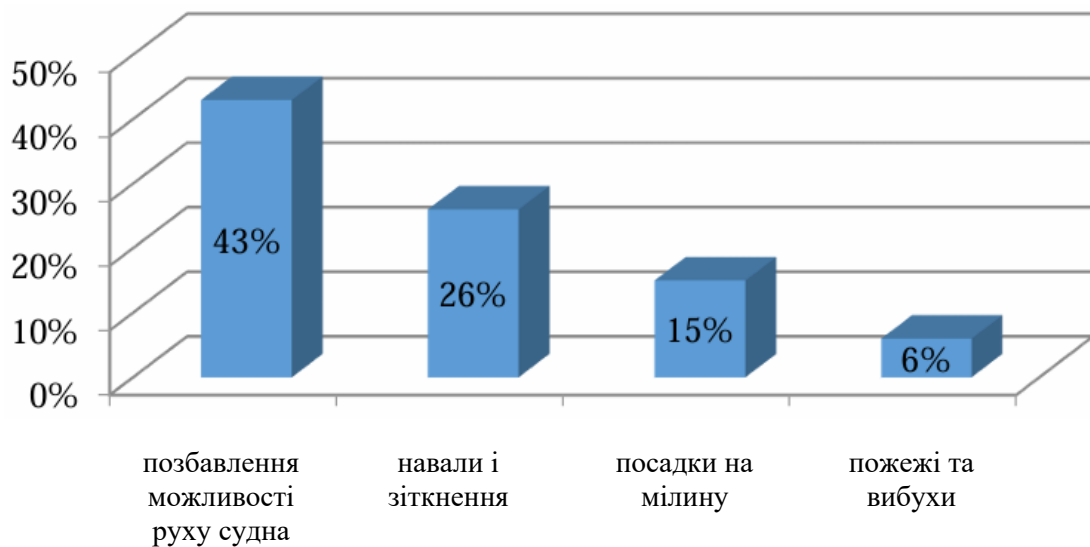


Рисунок 1.8 – Показники аварійності українських суден у 2020-2024 роках
(Джерело – розроблено автором за матеріалами [59-63])

1.2.2 Аналіз стану аварійності засобів водного транспорту України у 2006-2024 роках

За статистикою, АМП на морському та річковому транспорті України розподілилися так (табл. 1.1, рис. 1.9) [50–63].

Основні причини зафіксованих аварійних морських подій у територіальних водах та на внутрішніх водних шляхах України за 2006-2024 рр. з акцентом на три останні роки:

1. Зниження або повне припинення судноплавства через військові дії. Повноцінне функціонування лише морських портів Великої Одеси (Одеса, Чорноморськ, Південний), Ізмаїльського, Ренійського та Усть-Дунайського.

2. Не сталося покращення підготовки фахівців, технічного стану флоту або обладнання портів.

3. Людський фактор, а саме неврахування відповідальними особами вимог звичайної морської практики, маневрених можливостей судна, порушення вимог щодо несення вахти задля забезпечення ефективних дій екіпажу в аварійних ситуаціях, запобігання потрапляння суден на міліну, здійснення навалу на причал або інше судно, що стояло на якорі.

Таблиця 1.1 – Загальний стан аварійності із засобами водного транспорту України за 2006-2024 рр.

(Джерело – розроблено автором на основі [50 – 63])

Рік	АМП з морським транспортом	АМП з річковим транспортом
2006	18	5
2007	19	18
2008	14	3
2009	14	0
2010	24	3
2011	16	3
2012	9	6
2013	6	7
2014	0	1
2015	3	9
2016	5	5
2017	18	10
2018	3	8
2019	11	10
2020	11	15
2021	13	27
2022	9	13
2023	3	25
2024	7	5

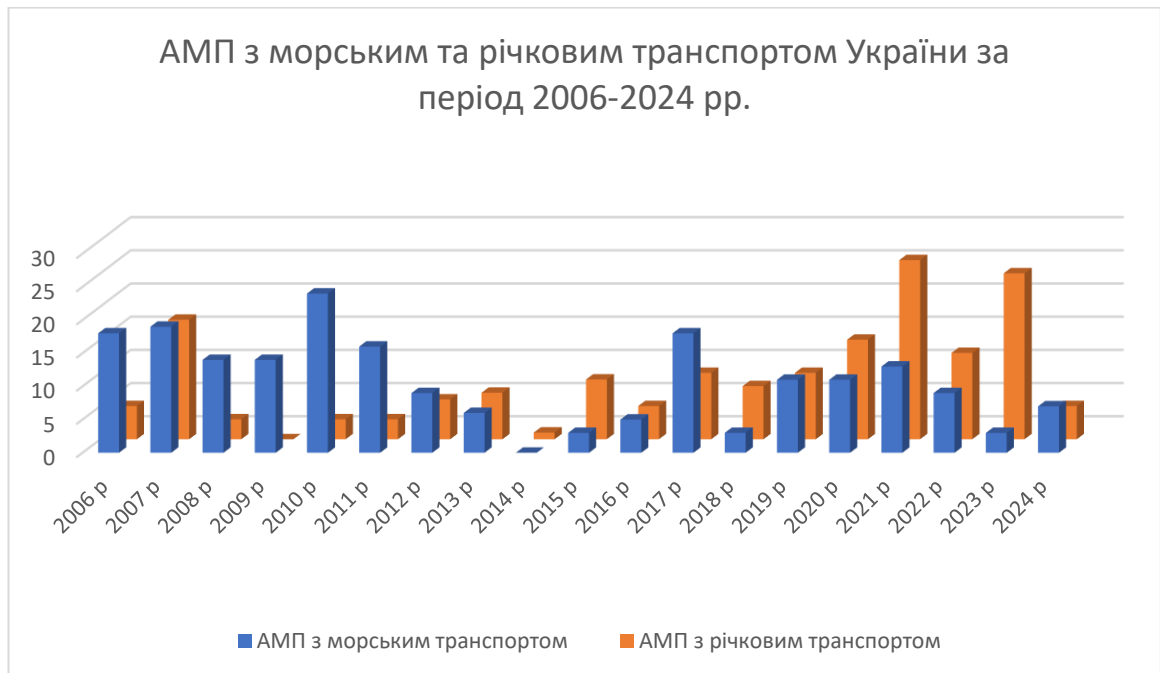


Рисунок 1.9 – Динаміка аварійних морських подій в Україні за 2006-2024 рр.

(Джерело – розроблено автором на основі [50 – 63])

4. Слабка організація спостереження за надводною обстановкою, особливо у портах, підходах до них, каналах тощо.

5. Недостатні організація та контроль з боку посадових осіб судна за всіма етапами виконання ВРР з урахуванням наявних портових та суднових обмежень, згідно з резолюцією ІМО А.741(18) [73].

6. Поганий контроль за рухом, за місцем знаходження і позицією судна через помилки в організації несення вахтової служби на ходовому містку, особливо при плаванні в стислих умовах.

7. Недотримання безпечного швартування суден з використанням буксирного обладнання через порушення капітанами вимог Обов'язкових постанов по морських портах України.

8. Неправильна оцінка капітанами суден ризику при здійсненні швартових та якірних операцій через нехтування вимогами системи управління безпекою (СУБ) компанії. Це стосується зняття/постановки суден (барж) зі/до зчалу суден (барж) на рейді морського порту, у т. ч. в умовах обмеженої видимості (у темний час доби), їхньої безпечної стоянки, а також перевірки розстановки плавзасобів на якірних стоянках порту.

9. Недотримання керівним складом суден вимог нормативно-правових документів щодо запобігання зіткненню, потраплянню на міліну тощо під час швартування, зокрема з використанням буксирів.

10. Неналежна організація взаємодії між лоцманом та капітанами буксирів під час швартування щодо запобігання навалу судна на причал, інші судна та об'єкти, що стоять біля причалу або на рейді.

11. Порушення рекомендацій звичайної морської практики щодо управління судном, правильних дій членів екіпажів суден в НС, визначення і врахування ризику і маневрових характеристик судна, дотримання безпечної швидкості та початку маневрів при плаванні та швартуванні, у тому числі із використанням буксирів, зокрема в акваторіях морських портів.

12. Організаційні причини.

13. Технічні причини.

14. Навігаційні причини (потрапляння на міліну, здійснення навалу на інші судна, що стоять біля причалу, невиконання відповідного маневру для запобігання зіткненню під час плавання у районі скупчення плавзасобів, вихід за межі суднового ходу).

15 Психофізіологічні причини.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що найпоширенішою АМП для морського і річного транспорту України (як і для світового флоту взагалі) є інцидент; найрідше стаються дуже серйозні аварії. І хоча кількість і різноманіття причин цих подій є достатньо великими, доведено, що переважна більшість випадків пов'язана з людським чинником (порушення правил експлуатації, неправильні дії або бездіяльність суднового екіпажу). Для зниження неприйнятно високого рівня аварійності суден, зменшення негативних наслідків впливу людського фактору на безпеку судноплавства, особливо у складних умовах порту, та швидкого й адекватного реагування на небезпечні ситуації дієвим засобом фахівці вважають застосування СППР.

Їхнє застосування ні в якому разі не зменшує ролі морських фахівців у запобіганні АМП при експлуатації суден. Навпаки, системи даного класу, побудовані на знаннях і досвіді професіоналів екстра-класу, лише допомагатимуть капітанам і судноводіям реалізувати свої теоретичні знання, вміння аналізувати отриману інформацію й організувати дії підлеглих, практичні навички в роботі для запобіганні АМП та приймати оперативні і вивірені заходи щодо ліквідації їхніх наслідків.

Наведені відомості підтверджують важливість забезпечення безпеки на водному транспорті. Одним з перспективних шляхів забезпечення заданого рівня безпеки є застосування різних засобів і методів, заснованих на сучасних, перед усім знанняорієнтованих, інформаційних технологіях [22, 23].

Проведемо аналіз можливостей цих засобів.

1.3 Аналіз методів інтелектуальної підтримки у системах автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту

Сучасне судно – це складна технічна система, яка функціонує задля виконання певної мети відповідно до свого типу та призначення. З плином часу судна комплектуються складнішими механізмами, устаткуванням, пристроями. Сьогодні невід’ємною складовою суден є сучасні електронно-обчислювальна техніка і програмне забезпечення, все більш просунуті засоби навігації, сигналізації, зв'язку, документація та посібники з плавання [1-4].

Системою називається сукупність закономірно розташованих об'єктів, які цілеспрямовано функціонують і взаємодіють.

Сучасні реалії накладають суттєві обмеження на управління системою при виконанні морських перевезень. Це викликано тісним переплітанням факторів впливу і значним зменшенням діапазону допустимих змін параметрів і керованих величин. Протягом останніх десятирічь спостерігається постійна інтенсифікація інформаційних процесів, наслідком яких є зменшення часових інтервалів на сприйняття, оброблення інформації і прийняття рішень судноводієм.

Вказані обставини створюють об'єктивні передумови до невірної або запізненого оцінювання обстановки, визначення навігаційної аварійності й ускладнюють управління судном, особливо у портах. Можливим шляхом компенсації негативного впливу вказаних факторів є вдосконалення існуючих і розроблення нових систем і методів оброблення інформації. Так, застосування СППР може забезпечити оперативне оцінювання обстановки, безпечне керування судном та якісне оброблення небезпечних вантажів у портах при виникненні небезпечних ситуацій із судном [40-43, 90, 91].

Навігаційна система – це взаємопов'язана структура об'єктів, яка містить, але не обмежується, суднами, водними шляхами, навігаційним, портовим та іншим обладнанням, обслуговуючим персоналом.

Безпека судноплавства – це усвідомлений стан системи судноплавства,

при якому відсутня загроза життю людей, заподіяння шкоди судну й об'єктам навколишнього середовища, виявлені ризики з заданою ймовірністю.

Формування стійких навичок якісного керування суднами у складних умовах вимагає великих витрат часу і психофізичного навантаження судноводіїв. Але накопичені ними теоретичні та інтуїтивні знання, навички, досвід ще не визначають загального рівня управління. А ось збереження і забезпечення спадкоємності досягнутих знань та умінь щодо керування судном менш досвідченими фахівцями в коротші терміни є нагальною потребою. Актуальність вирішення цих питань пов'язана з міжнародними конвенційними вимогами (SOLAS-74, STCW-78) на найближчу перспективу.

Керований рух судна відрізняється від некерованого руху своєю цілеспрямованістю [92, 93]. Тобто рух виконується для вирішення заздалегідь поставленого завдання або досягнення судном формалізованої мети шляхом застосування законів механіки і правил плавання.

Управління рухом судна відповідно до рішення судноводія є здатністю зосереджувати свої зусилля на досягненні певної заздалегідь поставленої мети. Іншими словами, під час управління необхідно компенсувати внутрішні та зовнішні впливи на судно, що перешкоджають виконанню поставленої мети.

Сам процес плавання відбувається у навколишній обстановці, тобто комплексі різних явищ, об'єктів, просторів, які не відносяться до самого процесу управління.

У загальному випадку мореплавство проходить в умовах невизначеності руху судна і зовнішнього середовища. Задля забезпечення безпеки мореплавства морська практика не допускає надмірного або небезпечного зближення судна з іншими плавучими і стаціонарними об'єктами і природними перешкодами. Це досягається узагальненням практичного досвіду капітанів, командування суден і судноводіїв у сфері [1-3]:

- 1) контролю, володіння і прогнозування навколишньої обстановки і наявності небезпек;
- 2) завчасного попередження та уникнення небезпек і виявлених ризиків;

3) своєчасних та ефективних дій з метою забезпечення безпеки.

Останнім часом у портах обстановка ускладнюється через наявність все більшої кількості суден з системою автоматичного керування [1, 2]. Інформаційне забезпечення сучасних навігаційних систем характеризується надмірністю й дублюванням інформації. Судноводій у процесі оцінювання ситуації та прийняття рішення за традиційних «ручних» методів керування судном має виокремити та інтерпретувати найважливішу на поточний момент інформацію, опрацювати і прийняти адекватне рішення. При відсутності у судноводія достатнього досвіду інформаційний надлишок може породити проблему дезорієнтації судноводія з подальшими неминучими помилками в оцінці ситуації та прийнятті рішень з управління судном.

Завдання розпізнавання і класифікації ситуації, управління і контролю руху судна, пошуку і вибору рішення фактично є слабо формалізованими і зазвичай характеризуються обмеженістю ресурсів. Для наведених умов необхідні системи інтелектуальної підтримки (СІП) прийняття рішень [94, 95]. За їхньою допомогою досліджується топологічна структура даних, дані об'єднуються в групи, розподіляються за класами, важливістю, ситуаціями, індивідуальними особливостями судноводія, судна й обстановки [96, 97]. Отже, побудова систем судноводіння зі ШІ вимагає вирішення таких завдань:

1. Формалізація знань і навичок досвідчених фахівців і складання відповідних алгоритмів.
2. Формування логіко-математичної послідовності дій, що приводить до поставленої мети, для типових ситуацій і типів суден.
3. Подання судноводієві інформації про закони руху судна (траєкторії, режими зміни керованих параметрів) під дією керівних впливів (кермо, гвинт, підрулювальний пристрій) з урахуванням впливу зовнішніх збурень (вітер, хвилювання, течія, течія, мілководдя, тощо) на корпус судна.

1.3.1 Загальна характеристика методів побудови інтелектуальних систем

Судноводій на містку, як правило, вирішує складні завдання, де логічне оброблення інформації превалює над обчислювальним. Саме такі завдання вирішуватимуть інформаційно-обчислювальні системи (ІОС) з інтелектуальною підтримкою, що розвиваються [21]:

- розуміння та синтез текстів і мовлення природною мовою (ПМ);
- аналіз візуальної інформації;
- керування роботоподібними системами;
- ситуаційний аналіз і прийняття рішень тощо.

Оцінку обстановки і завдання судноводіння вирішують ІОС з інтелектуальною підтримкою без участі ОПР (інтелектуальна система (ІС)); за участю ОПР (інтелектуалізована система (ІнС)); і яка самостійно приймає рішення (система з інтелектуальною підтримкою) [98]:

- отримує й аналізує інформацію;
- розуміє інформацію і виробляє нові виведення (поповнюючи її);
- формулює подібно до інтелекту людини виведення, що «покрощує» прийняте інтегроване рішення.

Найнижчим рівнем «інтелектуалізації» ІОС є пристрої, які реагують на наявність або відсутність сигналу і під час контролю параметрів працюють за принципом «придатний – непридатний». У застосуванні до судноводіння ІнС має бути здатною приймати рішення в умовах, наведених на рисунку 1.10.

Таким чином, ІОС реалізує інтелектуальну підтримку прийняття рішення для широкого класу різноманітних завдань, маючи для вказаних умов необхідне математичне (MZ), алгоритмічне (AZ), програмне (PZ) та інструментальне забезпечення (IZ):

$$InS = \langle MZ, AZ, PZ, IZ \rangle \mid Cond\{1, 2, \dots, 9\}, \quad (1.1)$$

де $\langle \dots \rangle \mid Cond\{\dots\}$ – умови прийняття рішення.

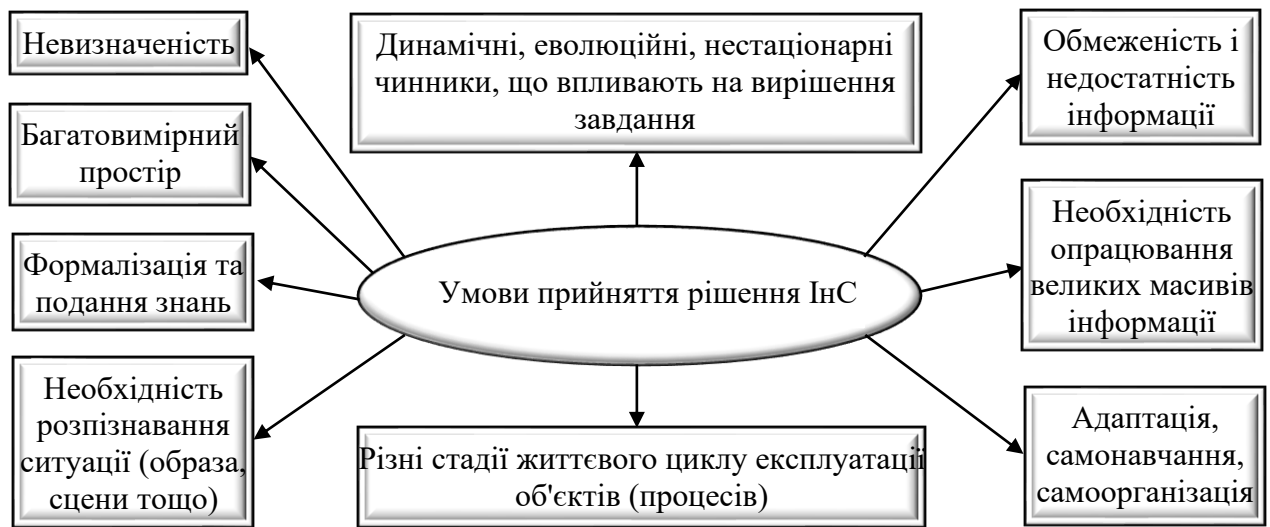


Рисунок 1.10 – Умови прийняття рішення інтелектуалізованою системою у застосуванні до судноводіння
(Джерело – розроблено автором)

Інтелектуалізовані системи за виконуваними процедурами бувають загального призначення і спеціалізовані.

ІnC загального призначення, крім виконання визначених процедур, можуть генерувати і вирішувати нові конкретні завдання. Це здійснюють метапроцедури пошуку системи, базуючись на сформованих експертом знаннях (даних і правилах), що описують обрану предметну область (ПО), заданій меті і початкових даних (рисунок 1.11).

Спеціалізовані ІnC можуть вирішувати фіксований набір прикладних завдань ПО. Функціонування цих систем починається у разі надходження необхідних вихідних даних. Їхня ефективність визначається використанням технології традиційного (процедурного) програмування під відповідні завдання (рисунок 1.12). Однак під час вирішення інтелектуальних завдань суднові ІnC, побудовані за такою технологією, суттєво обмежують поведінкові можливості судна за умови зміни стану навколишнього середовища.

Можливим шляхом усунення цього недоліку є використання технології інженерії знань для розроблення спеціалізованих ІnC (інтелектуальні діалогові системи, прикладні експертні системи (ЕС, системи, що базуються на знаннях)).



Рисунок 1.11 – Технологія використання інтелектуалізованої системи загального призначення, побудованої на технології інженерії знань
(Джерело – розроблено автором)

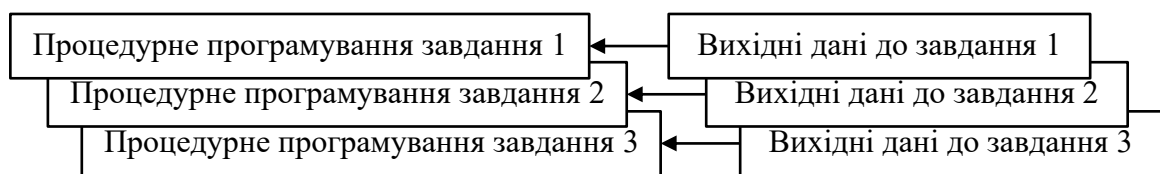


Рисунок 1.12 – Традиційний підхід до розробки інтелектуалізованої системи
(Джерело – розроблено автором)

Інженерія знань – це розділ ІІІ, який розробляє правила, застосовувані до даних, щоб імітувати розумовий процес людини-експерта у певній галузі.

Для розробки ІnC використовується така основна термінологія [98, 99].

Предметна область – це конкретна сфера знань, предметів або явищ, що досліджується або описується в межах певної дисципліни, наукової галузі або професії. Вона описує певне коло понять, властивостей, правил і методів, які використовуються для вивчення, аналізу та вирішення завдань у цій сфері [99].

У судноплаванні багато елементів предметної області традиційно досить

добре формалізовані для паперових (лоції, правила плавання, керівництва, навігаційні карти) та електронних носіїв інформації (електронні карти тощо).

Предметна область разом з сукупністю вирішуваних у ній завдань складають проблемну область (ПрО). У судноводінні проблемна область поділяється, зокрема, за умовами плавання в обмежених водах, розбіжність із суднами та небезпеками, маневрування під час швартових операцій тощо.

Поняття ІнС тісно пов'язане з поняттям неформалізованої задачі, яка має одну або кілька з таких характеристик, що наведені на рис. 1.13:



Рисунок 1.13 – Характеристики неформалізованої задачі для судноплавства
(Джерело – розроблено автором)

Експертні системи – це комп'ютерні програми, що акумулюють у формальному вигляді знання експертів у певній ПО для розв'язання завдань, які важко формалізувати, що не поступаються за якістю та ефективністю рішенням, які приймає експерт.

Важко формалізовані задачі відрізняються відсутністю або невідомістю алгоритму їхнього розв'язання або великою розмірністю.

Знання – виявлені закономірності предметної області (принципи, зв'язки, закони), що дають змогу розв'язувати задачі в цій області.

База знань – центральний елемент ІнС, призначена для зберігання довгострокових даних, що описують розглянуту предметну область, і правил, що описують доцільні перетворення даних цієї області.

Інтерфейс користувача – компонент, який забезпечує взаємодію користувача з ІнС, а саме дає змогу вводити дані, задавати параметри та отримувати результати.

Розв'язувач, використовуючи вихідні дані з робочої пам'яті та знання з БЗ, формує послідовність правил, які, будучи застосованими до вихідних даних, приводять до розв'язання задачі.

Підсистема пояснень – програма, що надає користувачеві пояснення щодо того, як система дійшла до певного рішення, які саме правила та факти було використано для вироблення рекомендацій і чому прийняті саме такі рішення.

Технологія синтезу ЕС передбачає використання знань експертів для розв'язання неформалізованих задач у слабоструктурованих сферах. Фахівці виділяють до 10 типових завдань, для яких використання технології ІнС значно підвищує ефективність управління різними процесами (таблиця 1.2) [98].

Таблиця 1.2 – Типові завдання і технології інтелектуалізованих систем
(Джерело – розроблено автором)

Тип завдання	Основний зміст технології
Інтерпретація	Визначення сенсу даних (побудова описів за спостережуваними даними)
Діагностика	Класифікація і виявлення несправностей (у техніці й організації діяльності екіпажу), засновані на результатах інтерпретації
Моніторинг	Безперервний процес інтерпретації сигналів у реальному масштабі часу і сигналізація про виходи параметрів за допустимі межі у ситуаціях, що потребують втручання системи вищого рівня або людини
Передбачення	Прогнозування перебігу подій у майбутньому на підставі моделі минулого і теперішнього
Планування	Підготовка програми дій, які необхідно виконати для досягнення сформульованих цілей
Проектування	Розроблення докладної документації, призначеної для створення об'єктів, що задовольняють специфіковані вимоги
Налагодження	Вироблення рекомендацій щодо усунення виявлених несправностей
Навчання	Діагностика, інтерпретація, пізнання, планування, проектування
Управління	Інтерпретація, передбачення, планування, моделювання, оптимізація вироблених рішень, моніторинг

Також ІНС вирішують завдання аналізу (інтерпретація даних і діагностика), синтезу (проектування і планування) і комбіновані (на додаток до попередніх – навчання, моніторинг, управління).

Класифікація інтелектуалізованих систем за різними ознаками наведена на рисунках 1.14, 1.15.

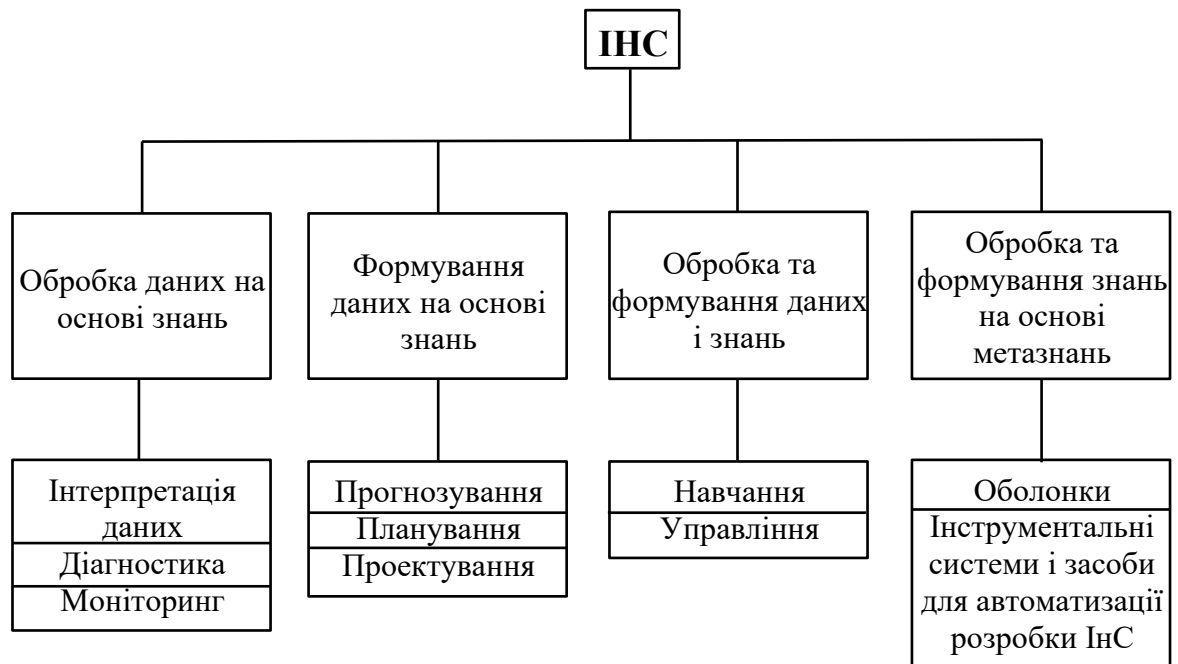


Рисунок 1.14 – Класифікація інтелектуалізованих систем за типами області експертизи

(Джерело – розроблено автором)

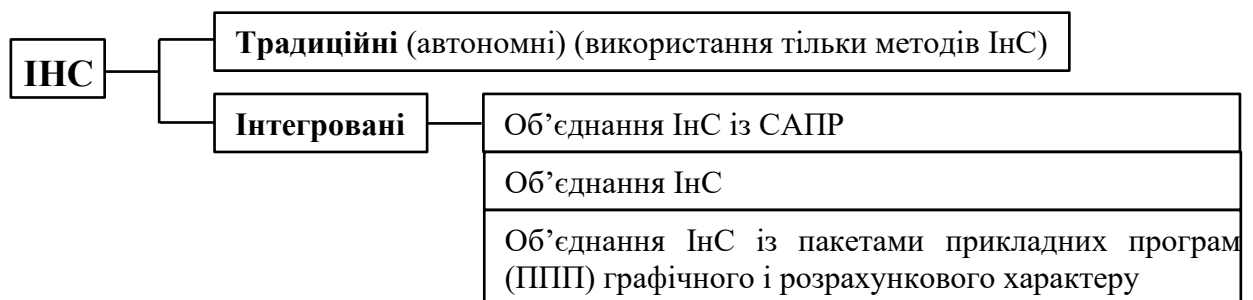


Рисунок 1.15 – Класифікація інтелектуалізованих систем за ступенем інтеграції з іншими програмними системами

(Джерело – розроблено автором)

До інтегрованої ІнС додаються інші програмні системи (СУБД, пакети прикладних програм (ППП), електронні таблиці тощо). А сама інтеграція ІнС:

- 1) має поверхневу та глибинну інтеграцію компонентів, що визначають специфіку функціонування системи загалом;
- 2) пов'язана з основними проектними рішеннями та концепціями (функціональною, структурною, концептуальною).

Усі властивості і характеристики будь-якої інтелектуальної системи повністю визначаються поданням знань, що закладається в неї. Саме система подання знань забезпечує їхню формалізацію у вигляді, зручному для машинного оброблення і для сприйняття оператором-судноводієм. Отже, узагальнена структурна схема функціонування СП з її основними функціональними складовими наведена на рисунку 1.16 [14, 18].

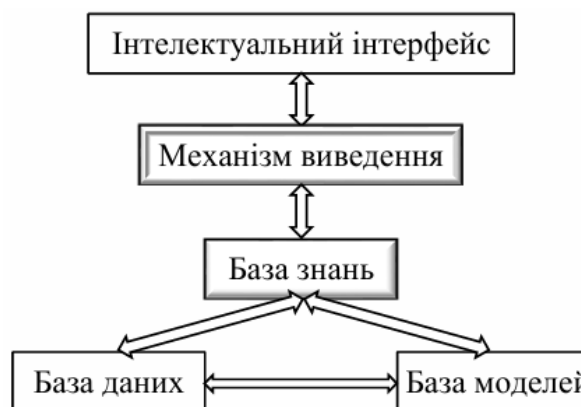


Рисунок 1.16 – Взаємодія елементів інтелектуальної системи управління
(Джерело – розроблено автором)

Інтелектуальний інтерфейс відображає суттєву інформацію про конкретну проблемну ситуацію (ПрС) і рекомендації щодо її розв'язання.

Механізм виведення містить правила, за якими формуються рекомендації дій у тій чи іншій проблемній ситуації.

База знань містить і систематизує знання про фізичні процеси і погано структуровані області (лоції, правила плавання тощо).

База даних (БД) за динамікою їхнього розвитку класифікується на:

- дані, незалежні або такі, що мало залежать від часу (дані про буксири, глибини у причалів, на фарватері тощо);
- дані, що змінюються з часом (параметри руху судна: курс, швидкість);
- події (сукупність даних, прив'язаних до часу);
- дані та події, що характеризують ситуацію на різних рівнях (інформація про допустиме управління, про оптимальний шлях досягнення допустимої ситуації).

База моделей (БМ) складається з моделей розрахунку якірної стоянки, побудови маршруту переходу, просідання, гарантованої смуги проводки тощо.

Тобто інтелектуальні СППР за розглянутою структурною ієрархією складаються з користувацького інтерфейсу, завантаженої бази даних та інструментів масштабного моделювання. Така побудова ІСППР визначила принцип її роботи, що будується на чотирьох послідовностях:

- 1) інтелектуальне визначення середовища, де приймається рішення;
- 2) проектування й опрацювання можливих альтернатив;
- 3) виведення алгоритму дій;
- 4) адаптація обраного рішення до певних умов.

Наявні та перспективні вимоги до безпеки мореплавства обґрунтовують впровадження інтелектуальних динамічних експертних систем (ДЕС). Вони здатні підлаштовуватися під зміну навігаційної обстановки та ситуації у порту під час вантажних операцій, підказують судноводієві думку і дію з управління судном або ситуацією [100].

Обидві системи – ЕС і підтримки прийняття рішень – виконують функцію досвідченого експерта, який формує поради, підказки в умовах великих обсягів інформації, наявності чинників невизначеності, багатокритеріальності та інших складнощів. В обох системах ОПР формує керуючий вплив на об'єкт.

Система підтримки прийняття рішень повинна доставити ОПР підготовлену інформацію для максимального спрощення процедури формування управлінь. Наприклад, СППР надає судноводієві узагальнену інформацію про стан об'єкта (ситуації) і варіанти управлінь у даній ситуації з

оцінкою ризиків реалізації управлінь для кожної альтернативи. Вибір альтернативи залишається за ЛПР.

Окремі фахівці зазначають, що ЕС має додатковий функціонал, що відрізняє її від СППР. У найтипівішому випадку модель СППР являє собою логічний алгоритм, побудований на булевській або нечіткій логіці [40, 101]. Тоді БЗ є закритою, не поповнюється і реалізується у вигляді семантичної моделі з розкритими причинно-наслідковими зв'язками між параметрами стану (ситуацією) та конкретними варіантами керівних впливів для цієї ситуації.

В експертній системі БД поповнюється за рахунок опрацювання методами штучного інтелекту даних, що знову надходять. Яким би складним не був логічний алгоритм, СППР формально не вважатиметься інтелектуальною у разі використання в СППР тільки булевської логіки. І, наразі, навіть за самого простого алгоритму СППР вважатиметься інтелектуальною, якщо вона використовує нечітку логіку або нейронні мережі.

Крім того, наявність в ЕС механізму пояснення рекомендованих системою рішень, що дає змогу ОПР чіткіше уявляти аргументацію під час прийняття рішень, відрізняє її від СППР. Однак, з практичного погляду, можна вважати, що СППР містить елементи штучних інтелектуальних систем, оскільки вона використовує евристичну (когнітивну) інформацію, навіть у разі побудови знань на булевській логіці.

Але у теперішній час СППР є складнішими. До їхнього складу входять підсистеми інтелектуального опрацювання інформації, що надходить ззовні (механізми індуктивного виведення або інтерпретатори [98, 99]); дедуктивного логічного виведення для поповнення БЗ та аналізу несуперечливості оновленої БЗ; пояснення сформованих альтернатив. У такому разі СППР тотожна варіанту експертної системи, типову статичну структуру якої розглянуто вище.

Створення СППР, здатних розв'язувати складні завдання управління, і водночас таких, що враховують у своїй роботі якісну інформацію, здатне значно полегшити процес безпосереднього прийняття рішення ОПР і зменшити помилки неадекватної інтерпретації.

При розгляді експертних систем основну увагу приділяють питанням отримання моделей об'єкта і керуючої частини системи. Когнітивне моделювання останньої зазвичай проводять у такій послідовності:

1. За методологією ситуаційного управління на основі моделі об'єкта будується адекватна імітаційна комп'ютерна модель. На цій моделі «програються» різні ситуації, в яких може опинитися об'єкт, з подальшим уточненням його характеристик. Водночас розробляються правила управління, які дають змогу досягти бажаних станів об'єкта.

2. За сформованими правилами управління розробляється керуюча частина системи управління, де варіантами моделей ситуаційних керуючих пристроїв можуть бути:

- кінцеві автомати;
- семантичні мережі (зокрема, мережі Петрі);
- продукційні системи;
- нечіткі логічні послідовності;
- нейромережі, тощо.

3. Розробляється імітаційна модель замкненої системи. Проведенням машинних експериментів на ній визначаються характеристики системи та якість процесів управління.

4. Приймається рішення про закінчення процедури розроблення системи керування або про повторення якісь етапів до отримання потрібного результату.

1.3.2 Класифікація моделей систем підтримки прийняття рішень

Залежно від використовуваних кваліфікаційних ознак існує безліч класифікацій СППР:

1. За принципами людино-машинної взаємодії [102]:

– *пасивна СППР* – допомагає під час прийняття рішення, але без винесення пропозиції про краще рішення;

- *активна СППР* – генерує пропозицію про рішення, яке слід прийняти;
- *кооперативна СППР* – генерує рішення, яке ОПР змінює, поповнює або покращує і далі надсилає до СППР. Процедура закінчується з отриманням узгодженого рішення.

2. За концепцією додатка СППР [103]:

- *СППР, керовані повідомленнями* (Communication-Driven DSS, раніше групова СППР – GDSS), допомагає виконувати спільне завдання групі користувачів;
- *СППР, керовані даними* (Data-Driven DSS), або *СППР, орієнтовані на роботу з даними* (Data-oriented DSS), сфокусовані на доступ і маніпуляції з даними;
- *СППР, керовані документами* (Document-Driven DSS), керують і маніпулюють різноформатною неструктурованою інформацією;
- *СППР, керовані знаннями* (Knowledge-Driven DSS) забезпечують маніпулювання фактами, правилами, процедурами;
- *СППР, керовані моделями* (Model-Driven DSS), характеризуються доступом і маніпуляціями з різноманітними математичними моделями;
- деякі *OLAP-системи* (Online Analytical Processing – аналітичне оброблення даних у реальному часі) можуть бути віднесені до *гібридних СППР*, що забезпечують моделювання, пошук і обробку даних.

3. За технічною реалізацією СППР [104].

- *СППР усієї організації* – під'єднана до великих сховищ інформації та обслуговує багато осіб, які приймають рішення;
- *настільна СППР* – обслуговує лише одне робоче місце користувача.

4. За даними, з якими працюють СППР.

- *оперативні СППР* або *інформаційні системи керівництва* (ICK) (Executive Information Systems (EIS)) – негайно виробляють рішення у відповідь на зміни поточної ситуації;
- *стратегічні СППР* (Decision Support System (DSS)) – здійснюють аналіз величезних обсягів різноманітної інформації, що надходить від джерел

різної природи, для формування раціональних варіантів дій в умовах впливу різноманітних чинників.

Існують й інші класифікації [105-107].

На теперішній час найпопулярнішою є класифікація, заснована на даних.

Подальший огляд і аналіз буде проведено саме на основі цієї класифікації.

1.3.2.1 Аналіз моделей, методів і програмних реалізацій систем типу Executive Information System

Системи даного типу здатні у режимі реального часу оцінювати обстановку і виробляти адекватні дії (звіти) на підставі поточних даних із транзакційної інформаційної системи об'єкта управління [108, 109].

Основні риси EIS:

- невелика кількість стандартних запитів для об'єкта управління породжує скінченну множину звітів;
- зручний вигляд надаваних для ОПР звітів від ІСК;
- ієрархічна структура ІСК.

СППР типу EIS також часто називають бізнес-аналітичними – Business Intelligence [110, 111].

Прикладами програмних реалізацій EIS є Microsoft PowerBI, Qlik Sense, Roistat, GetReport та ін. Спеціалізоване програмне забезпечення – Corporate Performance Management, Online Marketing Analytics, Predictive Analytics, тощо – здатне у певному сенсі оптимізувати процес управління.

Переваги систем типу EIS полягають у простоті реалізації та можливостях гнучкого налаштування під потреби користувача. До недоліків слід віднести неможливість отримання рекомендацій від системи, що надає агреговану числову інформацію у вигляді, зручному для фахівця конкретної предметної області. Не володіє штучним інтелектом.

1.3.2.2 Аналіз моделей, методів і програмних реалізацій систем типу Decision Support System

У СППР типу DSS здійснюється попереднє оброблення і спеціальне перетворення даних для зручності їхнього використання при прийнятті рішень. Для обґрунтування рішень фахівцями предметної області СППР застосовує правила прийняття рішень на основі комплексування даних.

DSS – це повнофункціональні системи аналізу та дослідження даних. У більшості випадків, коли говорять про системи підтримки прийняття рішень, мають на увазі системи саме цього типу.

DSS-системи можна розділити на системи аналізу даних (OLAP-аналіз) і видобутку даних (Data Mining) [48, 112]. Обидва підходи є складовими процесу підтримки прийняття рішень: OLAP-аналіз забезпечує доступ до багатовимірних даних, а Data Mining – вилучення нових знань із даних.

Підвищення функціональності СППР, а саме одночасний багатовимірний доступ до даних і пошук закономірностей у них, можливі комплексуванням технологій OLAP і Data Mining. Такі об'єднані СППР К. Parsaye [113] назвав «OLAP Data Mining» (багатовимірний Data Mining).

1.3.2.3 Особливості систем OLAP-аналізу

Результатом еволюції інформаційних СППР стали повноцінні OLAP-системи [114]. Вони можуть витягувати корисну інформацію з різних, часто розрізнених, даних [115]. OLAP-системи слугують для організації даних відповідно до деякого набору критеріїв, часто з нечіткими характеристиками.

В основі роботи OLAP-системи лежить обробка багатовимірних масивів даних. Загальну структуру OLAP-системи складають такі елементи:

- основний постачальник інформації – база даних (реляційна, багатовимірна, сховища даних), від якої визначається видом OLAP-системи

та алгоритмами роботи OLAP-сервера;

- OLAP-сервер – здійснює керування багатовимірною структурою даних і взаємозв'язок між БД і користувачами OLAP-системи;

- користувацькі додатки – забезпечує управління запитами користувачів і формує звіти, графіки, таблиці тощо, як результати звернення до БД.

Існує кілька різновидів архітектур OLAP:

- DOLAP (Desktop OLAP) – настільний OLAP – здатний проводити локальний багатовимірний аналіз, не підтримує багатокористувацький режим;

- ROLAP (Relational OLAP) – реляційний OLAP – у системах даного типу багатовимірність емулюється за допомогою реляційної СУБД;

- MOLAP (Multidimensional OLAP) – багатовимірний OLAP – забезпечує максимальну продуктивність, через ідеальну відповідність його структури та інтерфейсу структурі аналітичних запитів;

- HOLAP (Hybrid OLAP) – гібридний OLAP – визначає багатовимірні інструменти аналізу, які прозорим для користувача способом зберігають дані або в реляційній, або в багатовимірній базі даних.

На відміну від EIS, повновагова OLAP-система має певні обчислювальні інструменти обробки даних для отримання нової інформації [115].

Перевагою СППР даного типу можна вважати здатність агрегувати і витягувати інформацію з великого обсягу слабоструктурованих даних.

Однак OLAP-аналіз не здатний генерувати безпосередні рекомендації та виробляти керівництва до дії поза межами наявних у сховищах даних. Оперування з якісними об'єктами вкрай рідкісні.

1.3.2.4 Особливості Data Mining-систем

Data Mining (DM) – це процес виявлення в даних раніше невідомих, нетривіальних, практично корисних і доступних для інтерпретації знань, необхідних для прийняття рішень у різних сферах людської діяльності [116].

Data Mining перекладається на українську як «видобуток даних», «інтелектуальний аналіз даних» або «виявлення знань у базах даних» (Knowledge Discovery in Databases, KDD).

Збільшення обчислювальних можливостей комп'ютерів і розвиток технологій ШІ висунули СППР з технологією Data Mining у розряд таких, що є найбільш затребуваними і бурхливо розвиваються [116]. Саме у Data Mining-системах у найбільшому ступені реалізовано людиноорієнтований підхід до оброблення даних і подання результатів обчислень. Тому Data Mining затребуване в багатьох прикладних галузях.

1) **Вирішення бізнес-завдань** у телекомунікаціях, банківській і фінансовій справах та споріднених галузях, виробництві та ін. [117]. *У цьому напрямі слабо враховуються людські особливості сприйняття інформації, неформалізовані чинники (думки експертів) при побудові математичних моделей, можливість отримання рекомендацій від системи у вербальній формі.*

2) **Вирішення завдань державного рівня** (пошук злочинців, боротьба з тероризмом тощо) [105]. *Недостатній ступінь урахування якісних понять (словесні портрети, оцінювання ступеня небезпеки, врахування психології особистості) під час розроблення та використання моделей.*

3) **Проведення наукових досліджень** (медицина, біологія, екологія, молекулярна генетика і генна інженерія, біоінформатика, астрономія, прикладна хімія та ін. [118, 119]. *Можливість врахування якісних понять як у моделях СППР, що використовуються в науках про живе, так і отримання рекомендацій фахівцям у цих галузях людською ПМ.*

4) **Вирішення Web-завдань** (пошукові машини (search engines), лічильники та інші) [105, 120, 121]. *Застосування елементів антропоморфних СППР для розпізнавання голосу або рукописних текстів також здатне принести значні вигоди.*

Таким чином, розвиток технологій СППР, що реалізують людський спосіб сприйняття інформації, є вельми затребуваним у різних прикладних галузях. До таких технологій слід віднести способи проектування ЕС та ІС.

На теперішній час немає чіткого поділу цих понять. Часто при описі виникає подібність «циклічних посилань», коли експертні системи визначаються через поняття інтелектуальних [122], а визначення інтелектуальних систем спирається на поняття експертних [123]. У деяких джерелах інтелектуальні системи описано як різновид експертних [124], в інших, навпаки, інтелектуальні системи поділяються на експертні, рефлексорні, розрахунково-логічні тощо [125]. У низці робіт поняття експертних та інтелектуальних систем вважаються синонімами [126, 127].

Для цілей даного дослідження ці поняття поділяють за способом врахування в системі знань – у вигляді баз знань або в структурі моделей.

1.3.3 Характеристика динамічної експертної системи

Системи підтримки прийняття рішень є продуктом, що допомагає ОПР вибудовувати можливі варіанти розвитку подій з огляду на задані алгоритми і завантажену базу даних. У результаті ОПР приймають більш виважені рішення, навіть в умовах динамічно мінливої обстановки.

Основний функціонал СППР можна виразити так:

- інформаційний пошук;
- інтелектуальна аналітика даних;
- ситуаційний аналіз;
- імітаційне та когнітивне моделювання;
- побудова логічних ланцюжків на основі прецедентів.

Фактично, це – людино-машинний комплекс, що дає змогу обрати найдоцільніше рішення з переліку можливих варіантів.

Порівняльний аналіз досліджень із СПП та їхніх характеристик дає змогу виокремити основне коло завдань, що вирішуються динамічними експертними системами (рисунок 1.17):

- синтезувати мету (управління судном);

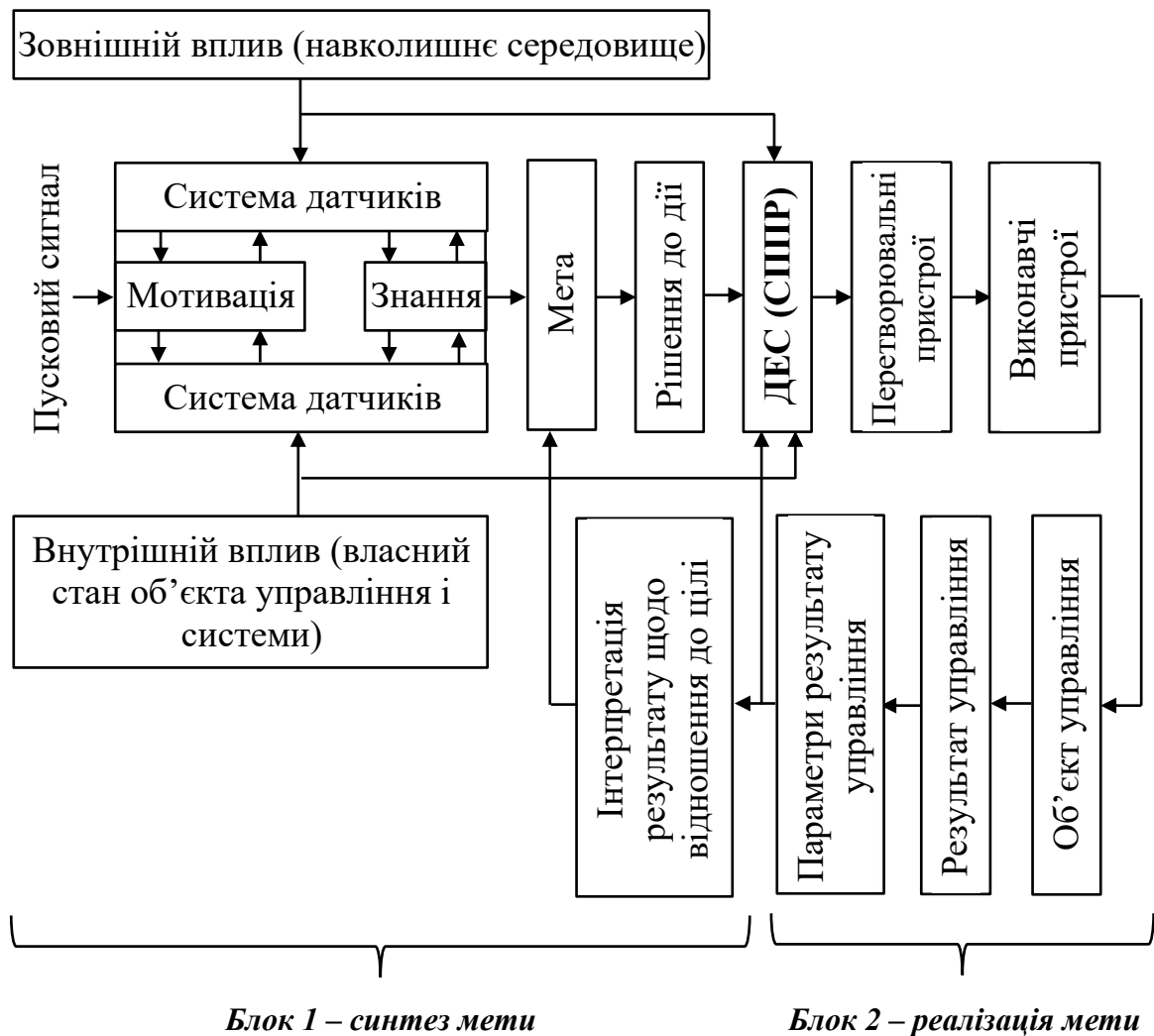


Рисунок 1.17 – Структурна схема системи інтелектуальної підтримки
(Джерело – розроблено автором)

- приймати раціональні рішення до дій;
- забезпечувати дію для досягнення проміжної та остаточної мети;
- реалізовувати зворотний зв'язок шляхом постійного прогнозування отриманих результатів дії та зіставлення їх із реальним розвитком ситуації;
- вносити необхідні зміни до мети або управління.

Структурна схема типової ДЕС складається з двох великих функціональних блоків системи: 1 – синтез мети; 2 – реалізація мети.

Оснoву синтезу мети й прийняття рішення до дії складає активне оцінювання інформації, отриманої від системи датчиків, вказівки (мотивація) і знання. За пусковими сигналами починається процес оцінювання інформації.

Мінливість довкілля і власного стану системи визначають потреба у вказівках. А мета синтезується за наявних знань про обстановку, ситуацію і стан системи.

У загальному випадку метою є ідеальне, уявне передбачення результату діяльності. Водночас мета і система взаємопов'язані й об'єднуються основними аксіомами і законами [103]:

1. **Принцип цілеспрямованості** – одна постійна головна мета системи.
2. **Принцип задавання мети системі** – завжди ставиться ззовні.
3. **Принцип виконання дії системою** – для досягнення мети система має діяти за певними законами:
 - **законом збереження** – принципом однозначної відповідності сталості дії системи і сталості мети;
 - **законом причинно-наслідкових обмежень** – принципом існування і взаємозв'язку дій системи;
 - **законом ієрархії цілей** – принципом розподілу мети на підцілі;
 - **законом ієрархії систем** – принципом розподілу підцілей між підпорядкованими підсистемами.
4. **Принцип незалежності результату дії** – результат дії систем існує незалежно від самих систем.

Звідси випливає уточнення поняття мети, яке має на увазі дуалізм та ієрархію, як завдання і прагнення для систем [103].

Мета-завдання – необхідність зовнішньої системи в певному заданому результаті для даної системи.

Мета-прагнення – бажання даної системи виробити певний результат дії, що дорівнює заданому результату, потрібному зовнішній системі.

Мета управління рухом (мета руху) (судна) – вказівка бажаних властивостей дій або руху, які, будучи досягнуті, гарантують вирішення завдання управління рухом.

Завдання і мету керування рухом зазвичай ставлять у словесній формі, а потім формулюють у термінах математики або механіки, і являють собою бажану *програму руху* [103].

Завдання керування рухом (завдання руху) – вказівка будь-яким способом дій, явищ і процесів, які мають відбутися (або не відбутися) в результаті керування рухом.

Дія – явище, яке відбувається за участю людини або системи автоматичного керування для досягнення поставлених цілей.

Основою для прийняття рішення до дії є активне оцінювання інформації про навколишнє середовище і власний стан системи під час зіставлення варіантів досягнення мети.

Для реалізації мети ДЕС, використовуючи поточні дані про навколишнє середовище і власний стан, наявні мету і знання, здійснює експертну оцінку, приймає рішення про дії, прогнозує його результати та виробляє управління, яке перетворюється на фізичний сигнал і надходить на виконавчі пристрої.

Судно (об'єкт управління) за сигналом від виконавчих пристроїв здійснює певну дію. Результати дії у вигляді параметрів за зворотним зв'язком надходять у ДЕС для порівняння із прогнозованими і цілеспрямованими значеннями, тобто в системі побудовано керуючий зв'язок [103].

Керуючий зв'язок – будь-яке співвідношення між узагальненими координатами об'єкта, використане для програмування руху, за існування якого керований рух відрізняється від природного.

Для можливості професійної оцінки одержані параметри результату дії водночас надходять у блок 1, де співвідносяться з метою системи. Управління підкріплюється при досягненні мети за всіма параметрами. При досягненні мети з не повністю задовольним результатом корегується управління. В умовах недосяжності мети коригується мета.

Формально операції для ДЕС і бази знань описуються шістьма основними типовими виразами на множині [100-108]:

$$T \times X \times S \xrightarrow{a_1} M \times T; \quad (1.2)$$

$$T \times X \times S \xrightarrow{a_2} C \times T; \quad (1.3)$$

$$C \times T \times X \times S \xrightarrow{a_3} R \times T; \quad (1.4)$$

$$T \times X A \xrightarrow{a_3} \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T; \quad (1.5)$$

$$T \times Y = \{D \times T\} X \times T; \quad (1.6)$$

$$T \times Y \times R \xrightarrow{a_4} C \times T, \quad (1.7)$$

де T – множина моментів часу;

X, S, M, C, R, Y, U – множини станів системи, навколишнього середовища, вказівок, мети, прогнозованого і реального результату, управління, відповідно;

A, B, D – матриці параметрів системи;

$a_1 - a_4$ – інтелектуальні оператори перетворення, що використовують знання;

\times – прямий добуток множин;

$+$ – додавання;

$\{D \times T\}$ – множина, що складається з елементів.

Для побудови СППР, що функціонуватиме у режимі реального часу, необхідно врахувати такі аспекти. Опис об'єктів системи за виразами (1.2)-(1.7) здійснюється комбінованим способом (поєднанням в єдиному формалізмі множини значень, множини висловлювань, нечітких множин, семантичних мереж або якихось інших форм) [40, 107, 108]. Простір станів застосовується для опису динамічних властивостей. Використані інтелектуальні оператори є формальним засобом опрацювання відомостей і знань і прийняття рішення. За їх допомогою реалізуються сприйняття, подання, формування поняття, судження й умовиводи в процесі пізнання.

Тобто СППР у процесі функціонування здатна оцінювати стан об'єкта управління і зовнішнього середовища, зіставляти прогнозовані і дійсні параметри і розв'язувати задачі за допомогою наявних методів. Отже, знання в експертній системі, умовно поділяються на певні категорії [128].

Концептуальне (понятійне) знання втілене у застосовуваних для конкретної Про термінах (лоціях, керівництвах, навігаційних картах), класах, об'єктах і взаємозв'язках зовнішнього середовища.

Фактуальне (предметне) знання виражається інформацією і даними про якісні та кількісні характеристики конкретних об'єктів предметної області. Організація і пошук накопиченої у БД інформації здійснюється на основі концептуальних знань.

Алгоритмічне (процедурне) знання фактично є «технологією», «вміннями», реалізованими як алгоритми, програми, пакети прикладних програм, програмні системи та ін. Воно базується на концептуальному знанні й орієнтоване на конкретну предметну область.

Програма руху – рівняння, символічна, графічна, словесна або будь-яка інша форма подання, якими визначається мета руху судна, що враховує, зокрема, закони механіки і правила плавання [129].

Динамічна ЕС призначена для розв'язання задач, які мають формальну поставку і написану формальну специфікацію [130]. В основі динамічної ЕС знаходиться певна БЗ. Тобто модель предметної області описує загальну обстановку, в якій виникла задача, а специфікація – зміст задачі. Їхнє поєднання показує абстрактні зв'язки і залежності між елементами, їхнє взаємне перетинання, послідовність використання для розв'язання задачі.

Програмний об'єкт – геометрична або кінематична модель зв'язків, що визначається умовними рівняннями як точки, лінії, поверхні тощо [129].

На практиці під час формування БЗ реально існує проблема опису досліджуваних об'єктів. З одного боку, певний об'єкт може приймати участь у багатьох задачах, і, звідси, його неправомерно вважати частиною специфікації задачі. З іншого боку, на автоматичне розв'язання виниклої задачі негативно впливає нечіткість і неповнота специфікації або опису об'єкта. Це може потребувати інтенсивного задіяння інтелектуального інтерфейсу.

Для якісного функціонування ДЕС важливо створити єдине програмне середовище і синтезувати алгоритми безпосередньо за постановкою задачі.

Мета і характер розв'язуваних СПП задач у загальному випадку висувають різні вимоги щодо подання бази знань, алгоритмів розв'язування задачі, прийняття рішення і вироблення управління (рисунк 1.18).

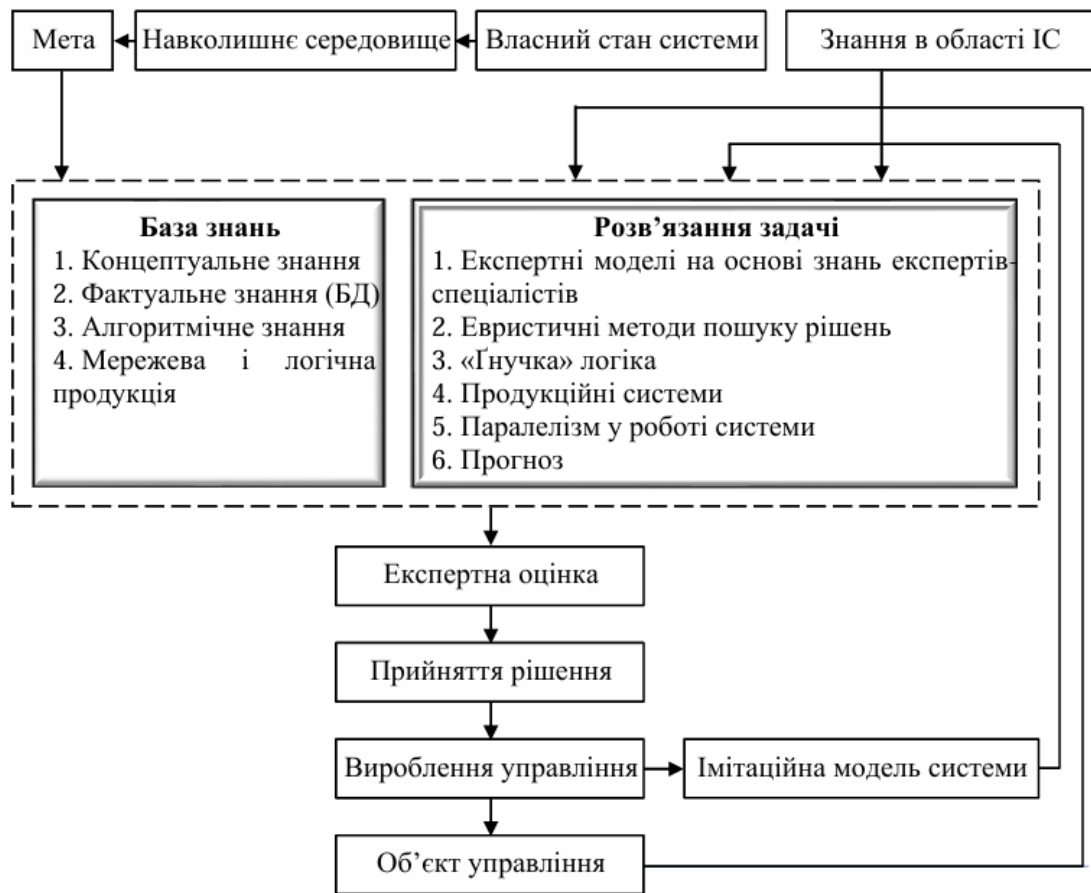


Рисунок 1.18 – Схема розв'язання задач у динамічній експертній системі
(Джерело – розроблено автором)

За результатами дослідження рішення і прогнозу одержується експертна оцінка і приймається рішення про необхідність управління. За алгоритмом управління, наявним у БЗ, формується керуючий вплив, ефективність і несуперечливість якого оцінюється в імітаційній математичній моделі. Лише після цього керуючий вплив надійде на об'єкт управління.

Використання у схемі експертних моделей, побудованих на основі знань експертів, та евристичних методів пошуку не є кращим рішенням. Цікавіші результати очікуються шляхом об'єднання вказаних моделей у розрахунково-логічну ДЕС (СППР). Метод подання знань в її базі є комплексним, що поєднує суворі математичні формули з інформацією експертів. Це відбивається на тісному переплетінні математичних та евристичних методів пошуку рішення. Як результат, спроможність адекватного опису предметної області та спосіб відшукування рішення визначають вагу кожного компонента.

1.3.3.1 Особливості експертних систем

Під **експертною системою** розуміють комп'ютерну систему, здатну частково замінити експерта при розв'язанні проблемної ситуації. Мозком експертної системи є БЗ як сукупність фактів і правил логічного виведення в обраній ПО, в якій база знань моделює поведінку фахівців, використовуючи процедури логічного виведення та прийняття рішень.

В експертній системі дані про досвід експертів зберігаються у вигляді окремої бази знань. В ЕС підтримується людський спосіб сприйняття інформації за рахунок спеціальної організації баз знань. Вони також здатні використовувати для «обчислень» якісні поняття, зокрема лексеми природною мовою. Яскравий приклад ЕС – системи нечіткого логічного виведення, де знання аналітиків формуються у вигляді бази нечітких правил. Вербальні оцінки елементів системи кодуються у вигляді спеціальних функцій. Подібні СППР сьогодні відомі як «м'які» системи, а обчислення з якісними даними заведено називати «м'якими» обчисленнями [131, 132].

Основна перевага експертних систем полягає у відносній простоті їхньої реалізації, часто ґрунтованої на евристиці, а також в інтуїтивно зрозумілій інтерпретації їхніх рекомендацій фахівцями предметної галузі, оскільки відповіді такі системи можуть формулювати природною мовою.

Однак зворотним боком простоти створення є недостатня адекватність і неможливість використання переваг інтелектуальних систем, зокрема, здатності до навчання та зміни власної структури під час коригування даних.

1.3.3.2 Інтелектуальні системи та їхні особливості

До такого типу СППР відносяться системи, які містять у власній структурі дані про досвід експертів, зокрема й результати минулих чисельних експериментів, і не мають окремо сховищ. Інтелектуальні системи оперують

числовою інформацією, тому якісні параметри в них ураховуються шляхом перетворення у числовий формат. Структура та/або параметри ІС генеруються динамічно на основі так званої процедури навчання. Так, у структурі моделі штучної нейронної мережі (ШНМ) присутній досвід і спосіб людського мислення у ШНМ у вигляді синаптичних зв'язків у персептроні або в методі її функціонування, такому, як коливання рекурентних нейронних мереж.

Інтелектуальні системи становлять основу більшості сучасних СППР, про що свідчить велика кількість робіт на дану тематику [133, 134].

Інтелектуальним моделям притаманна низка *недоліків*. По-перше, відсутність явного врахування якісної інформації та словесних описів. По-друге, неможливість надавати рекомендації у вербальній формі безпосередньо, без додаткового перекодування.

Але *переваги*, що полягають у можливості динамічного підстроювання під дані, що змінюються, шляхом навчання і самонавчання, застосування точних математичних методів і алгоритмів, дали змогу інтелектуальним системам посісти провідні позиції в рейтингу систем, які рекомендують.

1.4 Проблема семантичного розриву в системах підтримки прийняття рішень

Аналіз сучасних підходів до побудови СППР показує, що більшість методів розробляють для оброблення виключно кількісних даних. В умовах потоку інформації, що постійно збільшується, і, отже, обсягів даних, що потребують аналізу, фахівець предметної області, який використовує СППР для конкретних рішень з управління, постійно стикається з необхідністю адекватної інтерпретації отриманих результатів [135].

Оскільки особливість сприйняття інформації людиною така, що вона використовує частіше якісні оцінки, виражені у вербальній формі [136], це призводить до так званої *проблеми семантичного розриву*.

Узагальнено, **семантичний розрив** – це феномен нерозуміння або неправильного розуміння інформації, яка міститься в даних [137]. Особливо актуально ця проблема стоїть у сфері управління базами даних [138].

Отримуючи кількісну інформацію, фахівець предметної області не завжди може правильно її інтерпретувати, особливо якщо рішення залежать не від одного, а від кількох вихідних параметрів СППР відразу. У цьому разі ЛПР змушений на інтуїтивному рівні створювати якусь інтегральну оцінку відповіді системи, на жаль, не завжди адекватну. Особливо це актуально для галузей, де управління від самого початку передбачає якісну оцінку поточної ситуації. Таке неправильне розуміння інформації значно знижує цінність і ефективність прийнятих ЛПР управлінських рішень. А в деяких сферах помилки в прийнятті рішень можуть бути в підсумку фатальними.

Вирішенням виниклої проблеми може стати побудова інтелектуальних СППР, здатних враховувати людський спосіб сприйняття інформації – у вигляді слів природною мовою. Тобто для усунення небезпеки виникнення семантичних розривів ОПР має отримувати рекомендації природною мовою в термінах знайомої йому предметної області. СППР такого гібридного типу будуть являти собою сплав експертної та інтелектуальної систем.

1.5 Принципи інтелектуальної підтримки особи, яка приймає рішення

Аналіз загальних принципів побудови та функціонування інтелектуальних систем, дає змогу подати загальну структуру системи щодо аналізу обстановки і прийняття рішень при розв’язанні небезпечних ситуацій з судном (рисунок 1.19) [139].

Така ієрархічна організація СППР забезпечує вирішення не одного, а класу завдань. Серед них – аналіз обстановки, виявлення небезпечної ситуації на судні, прийняття рішення щодо оброблення вантажу або покидання порту – за принципом управління «типова ситуація – дія», що дає змогу:

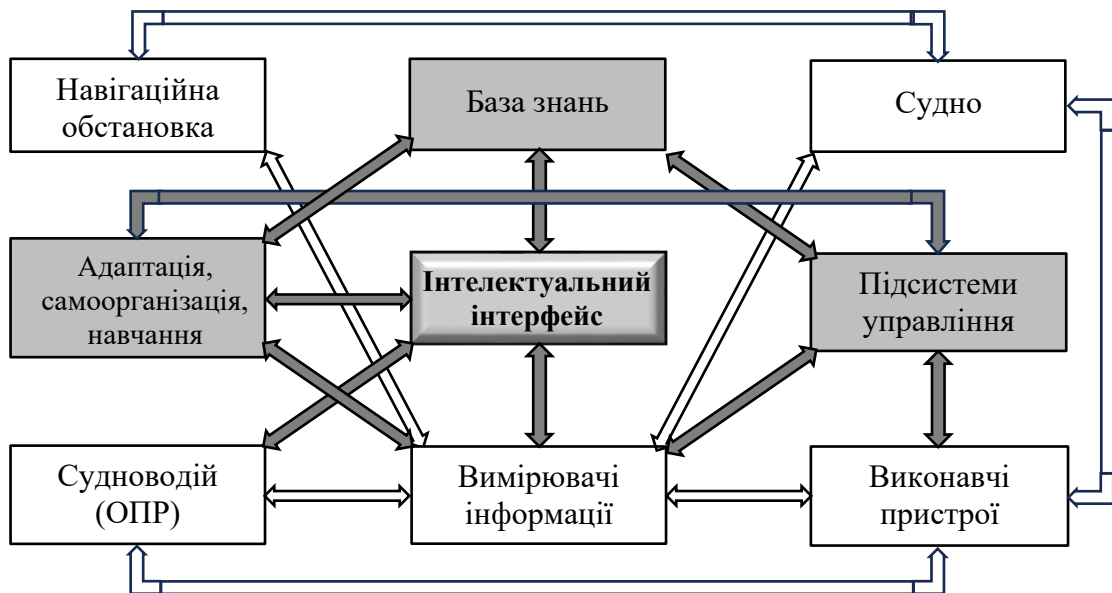


Рисунок 1.19 – Загальна структура системи інтелектуальної підтримки
(Джерело – розроблено автором)

- 1) перейти до адаптивно-ситуаційного керування судном;
- 2) забезпечити підтримку прийняття рішень на основі експертних БЗ у звичайних і надзвичайних ситуаціях;
- 3) обрати традиційні способи керування судноводієм безпосередньо через виконавчі пристрої (світлі блоки та стрілки на схемі) або новий підхід керування судноводієм через інтелектуальний інтерфейс (темні блоки);
- 4) накопичувати досвід ОПР з управління в базі знань і навчатися на основі рекомендацій системи.

Взаємозв'язок судноводія із системою забезпечує інтелектуальний користувальницький інтерфейс (Intelligent User Interfaces, IUI), який є центральною ланкою ІС і виконує низку функцій [139]:

- 1) адаптація до користувача, завдання керування судном, предметного середовища;
- 2) розпізнання і виділення типової ситуації;
- 3) інтерпретація і генерація висловлювань природною мовою;
- 4) генерація пояснень дій, пропонуєваних системою;
- 5) автоматичний синтез програми та алгоритмів, що виконують дії з

вирішення типової ситуації;

б) взаємне навчання користувача та інтелектуальної системи.

Під адаптацією до користувача розуміється підстроювання інформації на засобах відображення за конкретною найпростішою ситуацією і залежно від рівня кваліфікації, індивідуальних особливостей конкретного судноводія.

Наприклад, у найпростішій ситуації «розбіжність» важливою є інформація про курс, кутову швидкість, швидкість небезпечного судна, рекомендовані курс і/або швидкість для розбіжності на заданій дистанції, а координати судна, курс і швидкість відносно ґрунту, напрямок і швидкість течії менш важливі в цій ситуації. В іншому випадку, в типовій ситуації «швартування судна» знання швидкості відносно ґрунту, кутової швидкості важливіше, ніж координати судна.

Крім важливості, є особливі вимоги щодо форми подання інформації.

Для забезпечення безпеки мореплавства важливим є оцінювання найпростіших ситуацій, прогнозування їхнього розвитку та ухвалення відповідного рішення з управління. Для реалізації такого принципу організації керованих процесів найчастіше застосовують семантичні мережі.

1.6. Аналіз методів подання знань у системах підтримки прийняття рішень

1.6.1 Семантичні моделі подання знань

Семантичну мережу понять у першу чергу складають знання про ПО. Саме за допомогою семантичних мереж можна у наочній та структурованій формі показати ПО як сукупність понять і відносин між ними. Така структура добре описується орієнтованим графом.

Нехай за вершини графа приймемо поняття, а за ребра – зв'язки між ними. Узагальнення у мережі ієрархії передбачає використання механізму

логічного виведення, заснованого на успадкуванні ознак. Починаючи пошук від вихідного (початкового) поняття, можна за деяку кількість кроків по ребрах зв'язків досягти іншого поняття. Якщо шлях просування мережею не визначено закономірністю, то такий пошук у загальному випадку є простим перебором варіантів і, зрозуміло, неефективним.

Отже, семантичну мережу можна подати композицією синтагм [140, 141]

$$A \text{ } r \text{ } B, \quad (1.8)$$

де A і B – поняття, що мають місце у предметній області;

r – операційний зв'язок між ними.

Зв'язок між поняттями A і B – це найпростіший факт, що стосується цих понять і показує мінімальний обсяг знань. Для більш складних тверджень у семантичній мережі виділяють відповідні підграфи. Фактично такі підграфи описують певні ситуації, що виникають між поняттями ПО.

У кожен момент часу ПО представляється її станом – сукупністю сутностей, понять і ситуацій. Будь-яку зміну стану ПО викликає певна подія в ній. Основною сферою використання подій є ситуації, що призводять до зміни станів понять ПО. Основною категорією для опису ПО вважаються ситуації, кожній з яких можна поставити у відповідність деяке твердження про її істинність або хибність.

Методи концептуального моделювання відрізняються формальними засобами, використовуваними для опису ситуацій [1]:

- 1) у семантичних мережах і фреймах – поняття та їхні взаємозв'язки;
- 2) у логічних методах – предикати та логічні формули;
- 3) в об'єктно-орієнтованому підході – об'єкти, класи та повідомлення.

Розглядаючи *ситуацію* як найпростішу логічно закінчену структуру, що виступає деяким автономним блоком семантичної мережі, що моделює ПО, можна декомпозиціювати мережу, на простіші, семантично пов'язані блоки.

Поняття ПО, що подаються вершинами (вузлами), – події, атрибути,

комплекси ознак і процедури – складають основу моделі семантичної мережі.

Під **подіями** розуміють різні об'єкти ПО: судження, факти (індивідні поняття), об'єкти, орієнтири, результати спостережень, рекомендації.

Події представляються словосполученнями або числами; групуються тематично або функціонально в розділи. Одна подія може бути більш ніж в одному розділі.

Події в системі поділяють на події-ознаки такі, що характеризуються, і такі, що характеризують.

Зокрема, подія **зміна курсу** характеризується подією **перекладання керма**. Остання подія називається **обумовленою ознакою першої**, оскільки контрольована зміна курсу без перекладання керма неможлива.

Напряму впливу на подію поділяє ознаки на позитивні та негативні.

Зміна курсу під час **перекладання керма** є позитивною ознакою, а негативною ознакою – **сталість курсу під час перекладання керма**.

Атрибутом називається подія, що характеризує і має кілька значень.

Так, атрибутом поняття **Хід судна** є **ступінь ходу судна**, що має кілька значень: **Повний передній хід, Передній хід, Середній хід, Малий**.

Об'єднання кілька ознак у комплекс характеризує подію більшою мірою, ніж окрема ознака. Подія належить до повних, якщо її існування можливе тільки за реалізації всіх її властивостей. Так, зокрема, повною, є подія, що має єдиний атрибут або комплекс ознак.

За допомогою **процедур** здійснюється перетворення інформації: розраховуються значення одних атрибутів на підставі інших, використовуючи операції з числами і символами.

Події в моделі семантичної мережі поділяються на початкові (ознаки) і цільові (гіпотези). Такий поділ дозволяє виводити знання в моделі.

Передбачається, що всі ознаки мають притаманні їм значення (Істинно – Так; Хибно – Ні) і ці значення ознак відомі. Крім того, всі ознаки можуть мати ще два значення: Поки невідомо і Невідомо.

Якщо ознака має значення Невідомо, вона виключається з розгляду.

Значення початкових атрибутів обираються з певного списку або вводяться ззовні. Гіпотези (рекомендації, діагнози, прогнози та інші рішення), визначені специфікою ПО, у мережі розглядаються за об'єкти виведення. Умова виведення – наявність хоча б однієї гіпотези, а рішення – оцінка її істинності.

Семантичний зв'язок (СЗ) відображає відношення понять [2]. У лексиці їм відповідають лексеми будь-якого виду, зокрема предикатори «менше», «дорівнює», «якщо, то» тощо.

1.6.2 Фреймова модель подання знань

Для подання знань широко використовуються фрейми [142].

Фрейм – деяка структура для подання знань, яка в разі її заповнення відповідними значеннями перетворюється на опис конкретного факту, події або ситуації.

Фреймова модель, використовуючи принцип фрагментації (кластеризації) знань, є більш спеціалізованою щодо семантичної мережі. Фрейм складається зі слотів:

$$((\text{імя слота}): \{\langle A_i - v^i \rangle\}, \{r_i\}), \quad (1.9)$$

де A_i – ім'я ознаки;

v^i – значення ознаки;

r_i – деякий зв'язок з іншими слотами.

Зв'язками можуть виступати різноманітні відношення: ЧАСТИНА–ЦІЛЕ, РІД–ВИД, Є–ЕКЗЕМПЛЯР тощо.

У загальному вигляді фрейм можна представити сукупністю слотів:

$$\begin{aligned}
 & \langle \text{ім'я фрейму} \rangle: \\
 & [\langle \text{роль 1} \rangle](\langle \text{ім'я слоту 1} \rangle: \{ \text{значення слоту 1} \}); \\
 & [\langle \text{роль 2} \rangle](\langle \text{ім'я слоту 2} \rangle: \{ \text{значення слоту 2} \}); \\
 & \dots\dots\dots \\
 & [\langle \text{роль } n \rangle](\langle \text{ім'я слоту } n \rangle: \{ \text{значення слоту } n \}).
 \end{aligned}
 \tag{1.10}$$

Подання предметної області фреймами і семантичною мережею є еквівалентним. Кожен фрейм – це семантична мережа, що складається з виділених вершин і зв'язків. Верхній рівень фрейму представляє відповідне поняття, а нижчі рівні – термінальні слоти, які містять конкретні значення.

Наприклад, для формування елементів фрейму (1.10) для завдань судноводіння розглянемо ситуацію проходу судном протоки [143]:

Судно «m/t Voyager» під проводкою лоцмана Іванова безпечно пройшло Керченську протоку в районі поромної переправи, розташованої на відстані двох миль від буя № 17.

Ситуацію проходу судном Керченської протоки може бути представлено семантичною мережею (рисунок 1.20) та у вигляді фрейму:

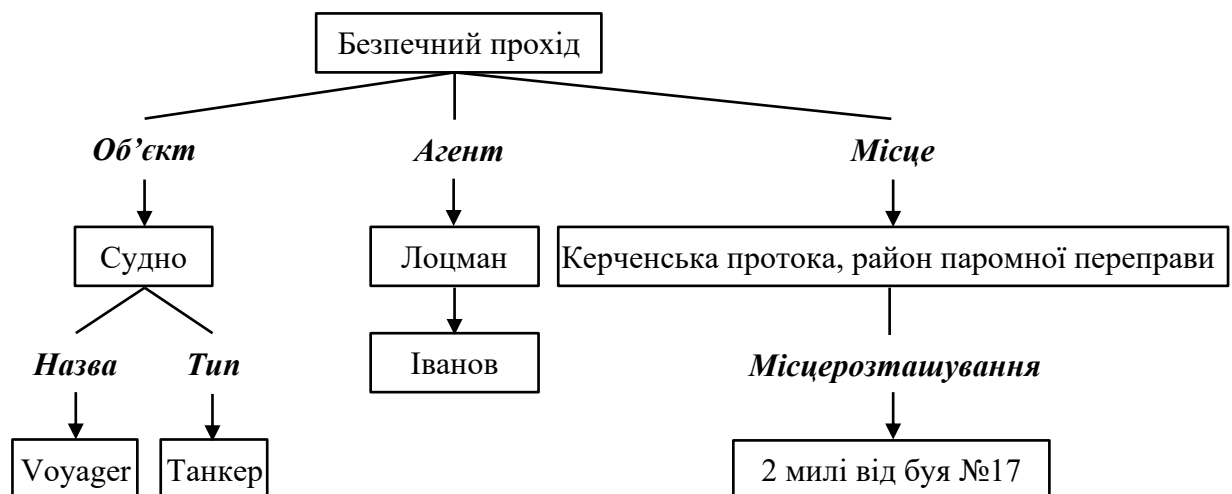


Рисунок 1.20 – Семантична мережа, що описує ситуацію
(Джерело – розроблено автором)

⟨Безпечний прохід⟩:

$$\begin{aligned}
 &[(\text{ОБ'ЄКТ})](\langle \text{Судно} \rangle: \{ \langle \text{Назва} - \textit{ Voyager} \rangle \}, \{ \text{тип} - \text{Танкер} \}); \\
 &[(\text{АГЕНТ})](\langle \text{Лоцман} \rangle: \{ \langle \text{Прізвище} - \text{Іванов} \rangle \}); \\
 &[(\text{МІСЦЕ})](\langle \text{Керченська протока} \rangle: \{ \langle \text{район} - \text{паромна переправа} \rangle \}, \\
 &\quad \{ \text{розташування} - 2 \text{ милі від буя №17} \}).
 \end{aligned}
 \tag{1.11}$$

1.6.3 Ситуаційне числення та мова логіки предикатів міркувань

Для моделювання міркувань про предметну область зазвичай застосовують ситуаційне числення та мову логіки предикатів [144].

Аксіоми ситуаційного числення – формули, істинні за всіх змін у предметній царині, тобто такі формули логіки предикатів, для яких предметна область є моделлю за всіх її змін.

Обчислення – сукупність, до складу якої входять [144]:

- використовувані символи (алфавіт);
- синтаксичні правила побудови формул;
- загальнозначущі вихідні формули і правила виведення за ними.

Предикат – висловлювальна функція, визначена на множині наборів значень об'єктних змінних, що являє собою опис властивостей якихось об'єктів або опис взаємозв'язків, які існують між об'єктами.

Функції слугують для задавання відносин між об'єктами, коли точно один об'єкт відповідає множині інших. Об'єктна константа збігається з ім'ям або найменуванням об'єкта, наприклад (лоцман, причал, танкер).

Терми – константи, змінні та функції. Предикатний символ задає відносини між об'єктами.

В окремому випадку подання поточної посадки судна із застосуванням ситуаційного числення має вигляд

$$(\text{має_крен (танкер)}) = 2^\circ, \quad (1.12)$$

де має_крен – предикатний символ;

танкер – об'єктна константа;

2° – константа.

Розв'язання задачі семантичної мережі полягає у визначенні початкової типової проблемної ситуації ($\text{ПрС} - S_0$) і цільової кінцевої проблемної ситуації (ПрС).

Після цього формується мінімально замкнена система відносин змінних, що дає змогу розв'язати задачу. Таким чином, перехід з однієї ситуації до іншої відбувається в результаті здійснення деякої дії. При цьому передбачається, що інших ситуацій, крім тих, які можуть бути досягнуті, за допомогою виконання дій, не існує. У цій мові використовуються такі категорії, предикати і функції.

Функторний предикат містить єдиний аргумент, значення якого належить категорії ситуацій S

$$\phi(d_1, d_2, \dots, d_n, s), \quad (1.13)$$

де ϕ – предикатний символ;

$\phi(d_1, d_2, \dots, d_n, s)$ – функторна функція змінних і константи, аргументу категорії;

d_1, d_2, \dots, d_n – змінні або константи категорії предметної області D ;

s – аргумент, значення якого належить категорії ситуацій S ;

S – категорія ситуацій;

D – об'єкти предметної області.

Сенс функторного предиката такий.

Якщо властивість або відношення (ϕ) між змінними або константами (d_1, d_2, \dots, d_n) має місце в ситуації (s), то предикат $\phi(d_1, d_2, \dots, d_n, s)$ істинний у цій ситуації s , і навпаки.

У конкретному випадку, якщо конкретний предикат

розійдуться ($\text{Судно}_1, \text{Судно}_2, \text{Судно}_3, s$) містить єдиний аргумент s , значення якого належить категорії ситуацій S , істинний, то це означає, що деякі конкретні судна з іменами $\text{Судно}_1, \text{Судно}_2, \text{Судно}_3$ розійдуться в ситуації S [143].

Функторна функція містить єдиний аргумент s , значення якого належить категорії ситуацій S

$$f(d_1, d_2, \dots, d_n, s).$$

У конкретному випадку значенням даної функції побудовано ($\text{СРЗ} - S$) може бути значення змінної Судно_1 ($\text{СРЗ} - \text{судноремонтний завод}$).

1.6.4 Подання знань на основі нечітких множин

Традиційно правила виведення ґрунтуються на твердженні істинності або хибності ($\text{Так} - \text{Ні}, 0 - 1$) будь-якого висловлювання (події). Однак, у процесах судноводіння (у т. ч. у порту) часто використовуються менш суворі (нечіткі) правила. Вони виникають, коли не можна однозначно оцінити істинність або хибність тієї чи іншої події, факту. Так, поради лоцмана «більше або помалу вправо», «більше або помалу вліво», «вправо/вліво не ходити», часто сприймаються як команди рульовому [143]. Хоча це – поради для капітана, який має дати конкретну команду керманичу про перекладання керма. Команда на кермо «одержуй» нечітка щодо того, наскільки саме здійснити перекладку керма, що може бути дуже важливим в екстрених навігаційних ситуаціях. Під час задавання курсу судна в різних умовах плавання припустимо несумірне утримання курсу і положення судна на лінії шляху.

Нечітка множина A – це множина впорядкованих пар або кортежів (наборів, списків упорядкованих елементів) вигляду [40, 145, 146]:

$$\langle x, \mu'A(x) \rangle, \quad (1.14)$$

де x – елемент деякої універсальної множини X , універсуму (множини, що містить у межах певного контексту всі можливі елементи);

$\mu'A(x)$ – функція приналежності, яка ставить у відповідність кожному з елементів $x \in X$ деяке дійсне число з інтервалу $[0, 1]$:

$$\mu'A: X \rightarrow [0, 1]. \quad (1.15)$$

Універсум X – це звичайна множина, що містить всі можливі елементи у межах деякого контексту. Прийнято, що функція приналежності універсуму, як нечіткої множини, тотожно дорівнює одиниці для всіх без винятку елементів [145, 146]:

$$\mu x = 1.$$

Характеристична функція набуває значення 1 для кожного з елементів цієї множини, і значення 0 – для всіх інших елементів, що не входять до розглянутої множини. Звичайна універсальна множина також тотожно дорівнює одиниці для яких би не було елементів:

$$Xx = 1.$$

Межі нечіткої множини $A = \{x, \mu'A(x)\}$ – це елементи універсуму $x \in X$, для яких значення функції приналежності відмінні від 0 і 1:

$$0 < \mu'A(x) < 1. \quad (1.16)$$

Елементи нечіткої множини $u \in A$, для яких виконується умова

$$\mu' A(x) = 0,5 \quad (1.17)$$

називаються точками переходу цієї нечіткої множини A [145, 146].

1.7 Постановка завдань створення моделей і методів для СППР з урахуванням якісної інформації

Аналіз відомих моделей, методів, алгоритмів і програмних реалізацій систем підтримки прийняття рішень засвідчив, що найбільше поширення і перспективи використання мають СППР типу DSS із технологією Data Mining. Серед таких систем найефективнішими визнано інтелектуальні системи.

Основним недоліком таких систем є слабка підтримка людського способу сприйняття інформації, що призводить до виникнення семантичних розривів і знижує ефективність застосування СППР у сферах, де рішення приймають на основі вербальної, часто неформалізованої інформації та вербального подання даних.

Для підвищення адекватності прийнятих управлінських рішень у таких сферах, як ситуаційний аналіз та судноплавство, постає завдання розроблення спеціальних гібридних моделей, методів, алгоритмів, а на їхній основі – програмних засобів для підтримки прийняття рішень, здатних урахувати неформальний, людський спосіб сприйняття інформації та давати рекомендації природною мовою.

Пропонується будувати подібні системи двома альтернативними способами: із залученням експертів-аналітиків на етапі створення моделі і повністю автоматично, спираючись лише на наявні дані, зокрема і якісні.

1.7.1 Системи, що створюються за участю експертів

Найприродніший спосіб урахування думок фахівців-експертів у

математичній моделі – їх безпосереднє залучення для її побудови. Однак, не будучи фахівцями в математичному моделюванні, експерти мають брати участь у генерації моделі на рівні вказівок, оцінок і рекомендацій. Відповідно до такого підходу, СППР будують на основі синергетичного підходу, який об'єднує в собі суворі математичні методи та експертні рішення групи фахівців конкретної предметної області. Отримані в результаті моделі здатні узагальнювати не тільки кількісну, а й якісну неформалізовану інформацію, що відбивається на етапі її побудови та навчання.

На етапі експлуатації модель здатна працювати повністю в автоматичному режимі, без залучення людини, і є ефективним апаратом ППР для галузей із вербальними критеріями ухвалення рішень.

1.7.2 Системи, що генеруються автоматично

Участь експертів у побудові моделей можлива не завжди. Частіше дослідник-розробник СППР має у своєму розпорядженні лише набори якісних (наприклад, елементи нормативних актів, документів, розпоряджень тощо) і кількісних даних. Необхідно вміти отримувати нові знання – рекомендації на основі наявної інформації.

Подібні СППР повинні будуватися автоматично лише на основі наборів вихідних кількісних і якісних даних, що дасть змогу швидко та ефективно створювати рекомендаційні системи для розв'язання найширшого кола завдань ППР [49].

1.7.3 Поєднання числових і якісних даних

Коректна робота алгоритмів, що враховують особливості людського сприйняття, досягається поданням вербальних даних у вигляді числових, і інтерпретацією числових відповідей алгоритмів як вербальних описів результату.

1.7.4 Постановка наукового завдання, розроблення методології проведення дослідження

В останні роки ІМО вжила серйозних заходів щодо попередження й аналізу АМП, пов'язаних з високим рівнем матеріальних збитків, жертв і забруднення довкілля [147, 148]. Так, за даними автоматичної ідентифікаційної системи у роботі [149] проведений аналіз ризику зіткнень суден у Сінгапурській протоці. Байєсівська мережа дає змогу виявити змінні, що впливають на аварійність, про що мова йде у роботі [150]. Динамічний метод аналізу ризику зіткнень у порту Роттердама розглянуто у статті [151].

У центрі уваги науковців і практиків постійно знаходяться питання запобігання аваріям з розливом нафти. Критерії економічної ефективності щодо заходів із запобігання розливам нафти розглянуті у роботі [71]. Аналіз інцидентів з розливом нафти у водах Португалії проведено у роботі [152]. Прогноз траєкторії розливу нафти у відкритому морі зроблено у роботі [153], а у роботі [154] – проаналізовано ризику забруднення при аваріях з розливом нафти.

Величезне значення для морських перевезень мають аварії з пожежами [155] і затопленнями [156, 157].

Причинами вторинних аварій часто є зіткнення і посадки на мілину [158], які посідають друге-третє місце серед усіх видів морських аварій [159]. У статті [160] запропонована процедура аналізу зіткнення суден і посадки на мілину, а у [161] надано детальний огляд аварій на мілині з точки зору управління ризиками. Моделювання аварій під час зіткнення і посадки на мілину розглянуті у [162]. У статті [163] виявлено, що людська помилка є ключовим фактором, що сприяє виникненню аварій під час посадки на мілину, а про роль людини та її втому у виникненні таких інцидентів ведеться у [164]. На питаннях кодифікації аварій під час посадки на мілину зосереджена увага у роботі [165].

Механізми зниження ризику при посадці судна на мілину на теперішній час оцінені достатньо глибоко. Але й тут є певні проблеми. Реагування СППР на ранніх стадіях при таких аваріях поки залишається поза сферою активних

досліджень [166]. Хоча, з іншого боку, детально розроблено питання підтримки прийняття рішень за інших видів морських аварій. Так, у автори той самої роботи [166] пропонують трирівневу ієрархічну СППР для оброблення суден, що вийшли з-під контролю, СППР для пошуку і порятунку суден розглянута у роботі [167], СППР для контролю ушкоджень на судах – у [168], використання технології віртуальної реальності для контролю ушкоджень на судах – у [169], СППР під час аварій, пов'язаних із затопленнями, – у [156, 157], у т. ч. у портових зонах [170], й управління безпекою [171].

Наявні моделі, застосовані до суден, на яких трапилася небезпечна ситуація, характеризуються такими недоліками:

- а) неможливість інтуїтивного уявлення впливових факторів на альтернативи;
- б) складнощі врахування та ігнорування впливових чинників, що свідчить про недостатню гнучкість моделі;
- в) нездатність врахування різних невизначеностей у моделі.

Завданням у даній дисертаційній роботі є позбавитися або хоча б зменшити вплив цих недоліків на функціонування СППР.

Ефективність методів автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень щодо оброблення вантажів у порту у разі виникнення небезпечної ситуації на судні у загальному випадку оцінюється множиною критеріїв. Але тут виникає нова проблема – неможливість застосування єдиного (зведеного) критерію. І причина цієї проблеми також дуже проста – кожна грань досліджуваних процесів описується окремим спеціальним показником зі своєю особливою одиницю виміру. Слід додати, що у більшості випадків часткові критерії є суперечливими, коли спроба покращення будь-якого критерію погіршує інші. Така постановка завдання не є унікальною, але потребує побудови допустимої області показників, в якій можливо комплексно врахувати вимоги, що висуюються. Таким чином, виникла ситуація характеризується наявністю декількох незведених один до одного параметрів, яка називається векторною оптимізацією. Спроби оптимізації за

декількома показниками якості

Така задача виникає і у разі аналізу й оцінювання обстановки, і у разі вибору варіанту рішення при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні. Знаходження векторного функціоналу у заявленій постановці – задача, не розв'язувана і вимагає йти шляхом компромісу. Найпростіший спосіб – це ретельне врахування факторів складності і зведення основної задачі до елементарних задач скалярної оптимізації. Далі з Парето-оптимальних рішень вибирається сингулярне, а векторний критерій згортається.

Основні шляхи згортання векторного критерію:

1) Вибір ОПР для критерію $O^{(d)}$ єдиного Парето-оптимального рішення $\mathbf{z}^p \in Z^{(g)}$ з побудованої області Парето $z \in Z^{(g)}, g = \overline{1, M}$:

$$O^{(d)}(\mathbf{z}^p) \leq O^{(d)}(\mathbf{z}^p + \delta \mathbf{z}), \quad (1.18)$$

де $\delta \mathbf{z}$ – певна варіація рішень.

Вираз (1.18) означає, що одночасне покращення рішення з області Парето $Z^{(g)}$ за всіма скалярними критеріями є неможливим. Для вибору \mathbf{z}^p з множин Парето-оптимальних рішень потрібна додаткова інформація.

2) Введення пріоритетів для критеріїв $O^{(M)} < \dots < O^{(d)} < \dots < O^{(2)} < O^{(1)}$. Скалярний критерій $O^{(d)}$ менш важливий за $O^{(d-1)}$: $O^{(d)} < O^{(d-1)}$. Далі під час поетапної векторної оптимізації спочатку на кожному етапі вибирається рішення $O^{(d)}$, краще мінімально допустиме значення $\bar{O}^{(d)}$ [172]:

$$\bar{O}^{(d)} \leq O^{(d)}(\mathbf{z}). \quad (1.19)$$

Далі застосується метод послідовних поступок: максимізується критерій $O^{(1)}$, знаходиться оптимальне рішення $O^{(1)*}$, і для максимізації інших компонентів векторного критерію призначається поступка $\Delta O^{(1)}$:

$$O^{(1)}(\mathbf{z}) \geq O^{(1)*} - \Delta O^{(1)}, \quad O^{(2)}(\mathbf{z}) \rightarrow \max.$$

І процедура продовжується ітераційно: призначається поступка $\Delta O^{(2)}$, максимізується критерій $O^{(3)}$ при обмеженнях на $O^{(1)}$ та $O^{(2)}$ тощо. Перевагою методу послідовних є наявність рішення навіть при невеликих змінах ΔO . Але невдалий вибір ΔO або пріоритетів суттєво обмежують можливості методу. До того ж цей метод не гарантує отримання оперативних рішень.

3) Введення вагових коефіцієнтів важливості λ_d критеріїв, які знаходяться експертними методами. Тоді скаляризація – це формування загального критерію у вигляді завершеної суми:

$$O(x) = \sum_{d=1}^M \lambda_d O^{(d)}(z) \rightarrow \max, \quad \sum_{d=1}^M \lambda_d = 1. \quad (1.20)$$

Доведено [173], що отримане із застосуванням критерію (1.20) рішення одночасно є Парето-оптимальним. При виробленні рішень щодо оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні за запропонованим принципом легко формуються допустимі значення всіх скалярних критеріїв $O^{(d)}$. А вже за їхніми відомими значеннями знаходиться рішення, що задовольняє обмеженням

$$O^{(d)}(\mathbf{z}) \geq O^{(d)}, \quad d = \overline{1, M}. \quad (1.21)$$

Однак рішення вигляду (1.21) не завжди є Парето-оптимальним. Тому при прийнятті оперативних рішень часто переходять до задачі порогової оптимізації. Тобто, з всієї множини виділяють єдиний найважливіший або довільно взятий критерій $O^{(d)}(\mathbf{z}) \rightarrow \max$, а інші зводяться у систему обмежень

$$O^{(d)}(\mathbf{z}) \geq O^{(d)}, \quad d = \overline{2, M}, \quad (1.22)$$

розв'язання якої належить до області Парето.

4) Оптимізація введенням ідеального рішення у просторі M максимізуємих критеріїв утопічної точки, і наближення до цього ідеального рішення за нормою, що залежить від складності конкретної задачі p :

$$\left\{ \sum_{d=1}^M \left| \left[\frac{O^{(d)}(z)}{O^{(d)*}} \right] - 1 \right|^p \right\}^{\frac{1}{p}}. \quad (1.23)$$

Введення утопічної точки з координатами $O^{(1)*}, O^{(2)*}, \dots, O^{(d)*}, \dots, O^{(M)*}$, $(d = \overline{1, M})$ і максимальним значенням параметру d -го критерію $\bar{O}^{(d)}$, що не враховує інших критеріїв, вимагає спочатку розв'язання задачі лінійного програмування для визначення оптимальних значень кожного скалярного критерію незалежно від інших критеріїв. Далі за критерієм (1.21) знаходиться мінімальне відхилення від сформованої утопічної точки [173], яке дає змогу приймати оперативні рішення на розширених множинах. Концепція прийняття рішень на розширених множинах дає змогу знаходити Парето-оптимальні рішення й оцінювати їхню складність. На відміну від оптимізації у точці векторні показники ефективності видають допустимі рішення, що є оптимізацією в області.

Існування множини оптимальних рішень задачі порогової оптимізації (1.21) гарантує хоч би одне Парето-оптимальне рішення на цій множині.

Векторний критерій при прийнятті рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні визначається суб'єктивізмом вибору вагових коефіцієнтів показників. Цей критерій дорівнює максимальній кількості скалярних критеріїв, що описують параметри процесу. Додавання ж нового критерію до обраної системи призводить до зміни вагових коефіцієнтів або порогів, а не раніше знайдених рішень.

Постановка задачі прийняття рішень на розширених множинах за векторним критерієм.

Нехай відомі: P – початкова функція (структура і зміст наведеної задачі прийняття рішень); Os – оціночна функція (залежність прийнятих рішень на множині оцінок); де D – функція допустимості (граничні значення якості рішення); x^0 – конкретний елемент $x^0 \in X$, за яким у подальшому отримують конкретне числове рішення; V^w – підмножина допустимих дій, що можуть привести до розв'язання задачі; N – множина невизначеностей, кожен елемент якої характеризує ступінь незнання параметрів задачі. Тоді задачу пошуку задовільних рішень представимо кортежем

$$\langle P, Os, D, x^0, V^w, N \rangle. \quad (1.24)$$

Нехай для множин вхідних X і вихідних параметрів K існує певна множина оціночних функцій

$$Os^{(d)}: X \times N \times V \times K \rightarrow O^{(d)}, \quad d = \overline{1, M} \quad (1.25)$$

і функція допустимості:

$$D^{(d)}: X \times N \rightarrow O^{(d)}, \quad d \leq M. \quad (1.26)$$

Тобто, вираз (1.24) перетворюється на $\langle P, Os^{(d)}, D^{(d)}, x^0, V^w, N \rangle$.

Введемо дискретну шкалу складності розв'язання задачі

$$S_t = \{S_t^{(d)}: S_t^{(d)} \leq S_t^{(d+1)}; \quad d = \overline{1, M}\}. \quad (1.27)$$

За допомогою виразу (1.27) розв'язуються задачі оптимізації і порогової оптимізації. Для цього задаються початкове значення порогу критерію O^0 , що оптимізується та його приріст $\Delta O^{(1)}$. Далі отримується очікуєма оцінка для граничного числа ітерацій l .

Також введемо оцінки часу побудови за наявності обмежень на час побудови шкали складності при прийнятті рішень:

$$S_t = \{S_t^C, S_{t(a)}\}, \quad (1.28)$$

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

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

За наявності заданої похибки при прийнятті рішень на розширених множинах альтернатив особливе значення надається процедурі векторної оптимізації на основі принципу складності. З введенням шкали складності (1.27) задачі прийняття рішень на розширених множинах трансформуються у задачі багатокритеріальної оптимізації. Тоді розв'язання проблеми скаляризації векторного критерію залежить від співвідношення між толерантностями й оціночними функціями і можливі чотири випадки.

Випадок 1. За рівності кількості функцій (1.25) і (1.26) формуються M пов'язаних задач і розв'язується задача мінімізації складності (F – показник складності) процедури прийняття рішень на оцінках $F(P', Oc', D', X', V^{w'}, N') R F(P, Oc, D, X, V^w, N)$, де R – відношення порядку на оцінках F .

Випадок 2. Якщо кількість оціночних функцій (1.25) більша кількості функцій толерантності (1.26) на одиницю, то можна поставити задачу мінімальної чи обмеженої складності залежно від обраного основного критерію.

Випадок 3. Якщо кількість функцій (1.25) більша кількості функцій (1.26), то при розв'язанні задачі скаляризації векторного критерію допустимі всі раніше розглянуті підходи.

Випадок 4. Якщо функції толерантності не задані, то після введення первинних показників якості у допустимій області розглядається випадок 3.

Отже, нехай у задачі прийняття рішень за векторним критерієм на розширених множинах задані первинні показники якості $d_V \in D_V$ і кортеж, в

якому всі множини є розширеними:

$$< P, Oc^{(d)}, D^{(d)}, X, V, N >. \quad (1.29)$$

Поставимо задачу: знайти підмножини $X' \in X$, $V^{w'} \in V$, $N' \in N$, $Oc' \in Oc$, $D' \in D$ й елемент $P' \in P$, що для будь-яких елементів $x' \in X'$ і $n' \in N'$ знайдеться елемент $v' \in V^{w'}$ і відповідний v' елемент k' , при яких трійка $< x', v', k' > \in S$, тобто виконуються первинні показники якості $d_v \in D_v$ й умова

$$F(P', Oc^{(d)'}, D^{(d)'}, X', V^{w'}, N') R(P, Oc^{(d)}, D^{(d)}, X, V^w, N). \quad (1.30)$$

Задача (1.30) узагальнює задачу автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні в нечітких умовах сумісно з критерієм оцінки $F(Oc', D') R_{d,D}(Oc, D)$. Показник ефективності вибору критерію $F(Oc', D')$ та його допустиме значення враховує складність процедури прийняття рішення.

Хоча задача (1.30) розв'язується складніше, але дає змогу отримати більш ефективні рішення. Це досягається шляхом розширення множини розглянутих альтернатив і мінімізації складності при використанні процедур векторної оптимізації.

Розв'язок вирішуваного завдання має риси багатокритеріальності, ітераційності і розгалуженості і складається з таких кроків:

- вироблення альтернативних варіантів рішень;
- оцінка згенерованих варіантів за заданим критерієм ефективності;
- вибір найкращого варіанту.

Тому для розпізнавання й аналізу ситуацій в зоні інтересу та прийняття рішень важливо обґрунтувати відповідний апарат формалізації, визначити межі дослідження та розробити пропозиції щодо реалізації технологій

прийняття рішень. Перспективна технологія враховуватиме тенденції розвитку СППР, питання аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні [174].

Отже, існує невідповідність у практиці, де потреби бізнеса вимагають прийняття швидких й обґрунтованих рішень при виникненні і розв'язанні небезпечних ситуацій на судні. З іншого боку, є невідповідність у науці, яка полягає у необхідності подальшого вдосконалення елементів теорії ситуаційної обізнаності і прийняття рішень щодо розробки методів формалізації завдань оцінки обстановки і адекватного реагування на вирішення небезпечних ситуацій на судні в умовах невизначеності.

У дисертаційній роботі дані невідповідності усуваються шляхом вирішення актуального наукового завдання, яке полягає у розробці методів автоматизованого аналізу обстановки та прийняття рішення для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.

Метою дисертації є зменшення часу і підвищення обґрунтованості аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.

Метою дисертаційної роботи є зменшення часу і підвищення обґрунтованості аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні.

Досягнення поставленої перед дисертантом мети передбачає проведення дослідження та вирішення таких часткових наукових завдань (рис. 1.21).

1. Дослідити сучасний стан систем автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні..

2. Удосконалити метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту в умовах детерміністичної невизначеності.

3. Удосконалити інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту.

4. Розробити метод підтримки прийняття рішень для управління судном,

яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину у районі порту.

5. Розробити метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах небезпечної ситуації на судні.

6. Розробити метод системи підтримки прийняття рішень щодо виходу суден з порту в аварійних умовах.

7. Розробити рекомендації щодо технічної реалізації запропонованих методів.

8. Оцінити ефективність отриманих результатів.

За результатами рішення першого часткового завдання досліджено питання нормативно-правового регулювання забезпечення безпеки на водному транспорті. Аналіз стану аварійності засобів водного транспорту України свідчить про необхідність інтелектуальної підтримки особи, яка приймає рішення, зокрема, у питаннях аналізу обстановки, розв'язання небезпечних ситуацій та оброблення вантажів у порту. Здійснено постановку наукового завдання дослідження.

У результаті вирішення другого часткового завдання удосконалено метод автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту в умовах детерміністичної невизначеності.

Необхідність у вирішенні третього часткового завдання пов'язана з удосконаленням інтелектуального методу аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому порту.

Результатом вирішення четвертого часткового завдання є подальший розвиток метод підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину у районі порту.

При вирішенні п'ятого часткового завдання одержав подальший розвиток метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах небезпечної ситуації на судні.

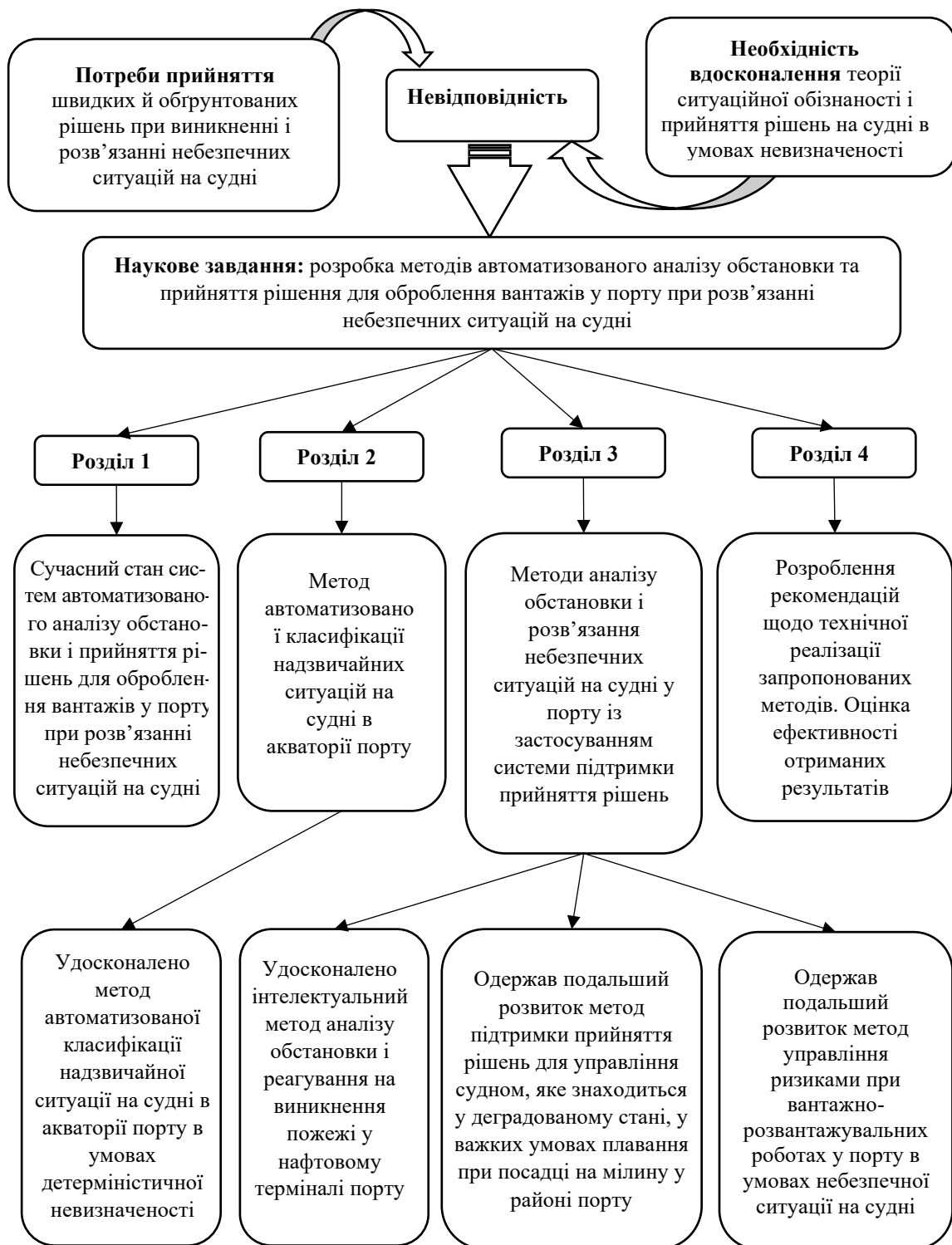


Рисунок 1.21 – Схема проведення дослідження

(Джерело- розроблено автором)

Метод системи підтримки прийняття рішень щодо виходу суден з порту в аварійних умовах став завершенням виконання шостого часткового завдання.

Розробка рекомендації щодо технічної реалізації запропонованих методів складає суть вирішеного сьомого наукового результату.

Рішення восьмого часткового завдання дає змогу оцінити ефективність отриманих результатів.

Таким чином, для досягнення поставленої мети роботи необхідно розробити моделі, методи та алгоритми, які використовують не тільки кількісне, а й якісне представлення знань про предметну область.

Висновки до першого розділу

1. Сформульовано ключові поняття та визначення процесів аналізу обстановки і прийняття рішення щодо оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні. Вони слугують основою для обґрунтування принципів побудови систем інтелектуальної підтримки й формування їхніх баз знань.

2. Найприйнятнішим варіантом реалізації систем інтелектуальної підтримки в сучасному мореплавстві є експертні системи, що функціонують на принципі підтримки прийняття рішень капітаном та командуванням судна. Системи підтримки прийняття рішень на судні придатні для виконання специфічних завдань: синтез мету управління; підготовлювати рішення і забезпечувати його виконання; прогнозувати значення параметрів результату дії і зіставляти їх із реальним розвитком ситуації, утворюючи зворотний зв'язок у процесах управління; коригувати мету або управління.

3. Проведений ретельний аналіз підходів щодо побудови систем підтримки прийняття рішень при розв'язанні небезпечних ситуацій з судном в обмежених водах. Доведено, що фреймова модель є більш спеціалізованою щодо мережевої з позицій кластеризації знань. Моделювання міркувань про

область основних понять і знань капітана і судноводіння можна здійснювати за допомогою ситуаційного числення і мови логіки предикатів. Але для врахування невизначеності у процесах управління подання знань пропонується здійснювати на основі нечітких множин, представлених кортежами значень і функцій їх приналежності.

4. Нові перспективи для СППР відкриває комплексне використання штучних нейронних мереж та апарату нечітких множин, а також розвиток СППР типу Data Mining. Вони дають змогу отримувати нові знання під час розв'язання задач ситуаційного аналізу та безпеки судноплавства у портах та виконанні вантажно-розвантажувальних робіт на підставі якісних оцінок.

5. Недостатнє врахування в моделях якісної інформації часто призводить до зниження ефективності систем через неправильну інтерпретацію кількісної відповіді системи (семантичні розриви). Тому розроблення спеціальних моделей, методів і алгоритмів на основі методів штучного інтелекту для створення систем підтримки прийняття рішень з урахуванням якісної інформації є актуальним науковим завданням. Ключовим моментом врахування якісної інформації вважається можливість адекватного якісного оцінювання об'єктів у термінах предметної області.

6. Для розв'язання сформульованого завдання запропоновано використовувати моделі якісного оцінювання об'єктів, у тому числі із залученням експертів-аналітиків на етапі створення моделі. Пропонований підхід дає змогу враховувати якісні та кількісні знання і дані й виробляти рекомендації для прийняття на їхній основі адекватних управлінських рішень.

Основні матеріали, викладені у першому розділі, опубліковані у роботах [40-43, 48, 49].

РОЗДІЛ 2

МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА СУДНІ В АКВАТОРІЇ ПОРТУ

Удосконалено метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту в умовах детерміністичної невизначеності. Його основу складає логіко-лінгвістична продукційна ієрархічна модель. Досліджено нечіткі бінарні відношення несуперечливої переваги множини чинників, що безпосередньо впливають на результат класифікації. Для формування продукційних правил класифікації НС визначено функції приналежності НЗ лінгвістичних змінних. Для оцінки розпізнаваних класів надзвичайних ситуацій розв'язано багатокритеріальну задачу оптимізації методом аналізу ієрархій. Безпосередньо процес визначення класів описано за допомогою алгебраїчної моделі і методу нечіткої ідентифікації.

2.1 Метод формування множини факторів, що впливають на класифікацію надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту

У разі виникнення НС із судном в акваторії порту її необхідно швидко й ефективно класифікувати. Результат класифікації дає змогу застосувати необхідні заходи для забезпечення безпеки екіпажу судна, портових робітників і терміналу. Актуальність класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту визначається таким [26, 40, 44, 175-184]:

по-перше, серйозністю можливих наслідків для життя і здоров'я членів екіпажу судна і портових робітників, навколишнього середовища, вантажу, що перевозиться, тощо;

по-друге, складнощами, а найчастіше, неможливістю передбачення настання такої події через раптовість зміни погодних умов, виникнення людської помилки або технічних дефектів. Тому у більшості випадків

прийняти запобіжні заходи виявляється неможливим;

по-третє, недостатньою точністю наявних методів класифікації НС на судах в акваторії порту. Це може призвести до затримок у реагуванні на виниклі надзвичайні ситуації та збільшення витрат на ліквідацію їх наслідків.

На виявлення НС на судні в акваторії порту і віднесення її до певного класу розглядають багато чинників. Вони безпосередньо впливають на вибір доцільних заходів щодо забезпечення безпеки екіпажу судна, портових робітників, терміналу і майна.

Для формування множини враховуваних факторів $M = \{m_j\}$, $j = \overline{1, k}$, що складається з m_j елементів для класифікації конкретної НС експерти висловлюють свої думки щодо важливості факторів із застосуванням нечітких бінарних відношень несуперорії переваги. У подальшому ці думки використовують для вибору найкращого набору несуперорії переваги елемента m_{j^*} до елемента $m_{j^{**}}$, $j^*, j^{**} = \overline{1, k}$. Результати експертизи використовують для отримання бінарного відношення суперорії переваги і набору недетермінованих елементів (ННЕ). Елементи функції приналежності ННЕ трактуються як рівні недомінуючості елементів множини.

Нехай M – деяка множина факторів. Тоді суб'єктивна думка l -го експерта, $l = \overline{1, L}$, подається як ФП $\mu_{\tilde{R}_l}(m', m'')$, $m', m'' \in M$ нечіткої підмножини \tilde{R}_l бінарних відношень несуперорії переваги. Нечітке відношення $\tilde{R}(m', m'')$ на множині M – це нечітка підмножина прямого декартового добутку $M \times M$, що характеризується функцією приналежності (ФП) $\mu_{\tilde{R}}: M \times M \rightarrow [0, 1]$. Значення $\mu_{\tilde{R}_l}(m', m'')$ приймають як суб'єктивну міру відношення $(m', m'') \in \tilde{R}_l$. Для кожного l -го експерта значення ФП $\mu_{\tilde{R}_l}(m', m'')$ означає ступінь виконання переваги: «елемент m' «не гірший» за елемент m'' ». Нечітке відношення несуперорії переваги містить відношення рівності: кожен елемент у такому відношенні вважається не гіршим за самого себе. Отже, $\mu_{\tilde{R}_l}(m', m'') = 1$. Якщо $\mu_{\tilde{R}_l}(m', m'') = 0$, то $\mu_{\tilde{R}_l}(m'', m') > 0$, тобто елемент m'' «не гірший» за елемент m' , або $\mu_{\tilde{R}_l}(m'', m') = 0$, тобто елементи m'' і m' не

можна порівняти між собою. Під час попарного порівняння експерти враховують умову нормування: $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') = 1 - \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m')$.

Суб'єктивна думка експерта щодо нечіткого бінарного відношення несупорядності переваги елементів множини за допомогою ФП подається матрицею

$$\mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(l)} = \|\mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(l)}(m', m'')\|, \quad m', m'' \in \tilde{R}, \quad l = \overline{1, L}. \quad (2.1)$$

З урахуванням ваг експертів K_l , $l = \overline{1, L}$ матриці $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(l)}$ усереднюються:

$$\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') = \frac{\sum_{l=1}^L K_l \mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(l)}(m', m'')}{\sum_{l=1}^L K_l}. \quad (2.2)$$

Під час оброблення результатів експертизи матриця вигляду $\|\mu_{\tilde{R}_{\geq}}^{(l)}(m', m'')\|$ перетворюється на матрицю $\mu_{\tilde{R}_{>}} = \|\mu_{\tilde{R}_{>}}(m', m'')\|$ значень ФП нечітких бінарних відношень суворості переваги:

$$\mu_{\tilde{R}_{>}} = \begin{cases} \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') - \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m'), & \text{якщо } \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') \geq \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m'); \\ 0, & \text{якщо } \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') < \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m'). \end{cases} \quad (2.3)$$

Множину бажаних елементів $M_f \subset M$ формують звуженням множини M при визначенні міри невідомості її елементів. Елемент $m^{(q)} \in M$ є невідомим за відношенням суворості переваги при відсутності серед інших елементів множини M жодного $m \in M$, що був би суворо переважнішим за $m^{(q)}$, а підмножина непереважніших елементів $\{m^{(q)}\}$ становить ННЕ суворого відношення на множині M

$$M_{\tilde{R}_{>}} = \{m^{(q)} / \exists m \in M: m > m^{(q)}; \forall m, m^{(q)} \in M\}.$$

Набір недетермінованих елементів $M_{\tilde{R}_{>}}$ має ФП $\mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(m)$, яка з урахуванням (2.3) визначається за таким співвідношенням

$$\mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(m) = \min_{m' \in M} (1 - \mu_{\tilde{R}_{>}}(m', m'')), \quad \forall m', m'' \in M. \quad (2.4)$$

Отримані за результатами оброблення (2.3), (2.4) значення компонент ФП набору недетермінованих елементів $\mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(m)$ на множині M дають змогу впорядкувати елементи множини $\{m_j\}$, $j = \overline{1, k}$ за рівнями їхньої недомінуючості. Із множини M виділяють підмножину $M^* \in M$ переважних чинників, що впливають на визначення типу ситуації, що виникла. Якщо $\mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(m) \geq 0,5$, то множина параметрів дорівнює $M^{*(\alpha)} = (m_j^{(\alpha)} / \mu_{M_{\tilde{R}_{>}}} \geq \alpha: m_j^{(\alpha)} \in M_{\tilde{R}_{>}}), j = \overline{1, k}$.

Множина чинників, що впливають на класифікацію надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту, має такого вигляду:

$M = \{\text{«Щільність скупчення суден в акваторії порту»}, \text{«Технічний стан судна (технічне обслуговування)»}, \text{«Курс судна»}, \text{«Ризик зіткнення з іншими суднами»}, \text{«Швидкість судна»}, \text{«Відношення осадки судна до глибини акваторії порту»}, \text{«Погодні умови»}, \text{«Час доби»}, \text{«Пора року»}, \text{«Тип вантажу»}, \text{«Досвід екіпажу»}, \text{«Навігаційне обладнання на судні»}\}.$

Значення ФП нечіткого бінарного відношення несупорядності ($\mu_{M_{\tilde{R}_{\geq}}}(m)$) (табл. 2.1) та супорядності ($\mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(m)$) (табл. 2.2) переваги отримані внаслідок оброблення експертних даних.

Згідно з виразом (2.4), $\mu_{M_{\tilde{R}_>}}(m)$ має вигляд

$\mu_{M_{\tilde{R}_>}}(m) = \|1/\text{«Щільність скупчення суден в акваторії порту»};$
 $0,8/\text{«Технічний стан судна (технічне обслуговування)»}; 0,6/\text{«Курс судна»};$
 $0,8/\text{«Ризик зіткнення з іншими суднами»}; 0,6/\text{«Швидкість судна»};$
 $0,6/\text{«Відношення осадки судна до глибини акваторії порту»}; 0,3/\text{«Погодні умови»};$
 $0,3/\text{«Час доби»}; 0,3/\text{«Пора року»}; 0,3/\text{«Тип вантажу»}; 0,2/\text{«Досвід екіпажу»};$
 $0,2/\text{«Навігаційне обладнання на судні»}\|$.

Нехай рівень невідомості параметрів $\alpha > 0,4$. Тоді параметри для визначення класу НС на судні в акваторії порту, розташовуються в порядку зменшення їхньої важливості:

$M = \{\mu_{M_{\tilde{R}_>}}(m) = \|1/\text{«Щільність скупчення суден в акваторії порту»};$
 $0,8/\text{«Технічний стан судна (технічне обслуговування)»}; 0,8/\text{«Ризик зіткнення з іншими суднами»};$
 $0,6/\text{«Курс судна»}; 0,6/\text{«Швидкість судна»}; 0,6/\text{«Відношення осадки судна до глибини акваторії порту»}\|$.

Множину НС на судні в акваторії порту формально представимо як

$$D = \{d_i\}, i = \overline{1, I}, I = 5,$$

де d_1 – надзвичайна ситуація «Зіткнення суден». Це найпоширеніший тип надзвичайної ситуації в акваторії порту. Зіткнення може статися через різні чинники, наприклад, висока щільність скупчення суден, людський фактор, погана видимість, недотримання правил МПЗС-72, правил плавання та маневрування порту або несправність судна тощо;

d_2 – надзвичайна ситуація «Навалювання суден», яке відбувається, коли судно стикається з причалом або іншим судном і застрягає. Це може призвести

до пошкодження судна, його вантажу, затримок у судноплавстві;

d_3 – надзвичайна ситуація «Затонулі судна» може становити небезпеку для судноплавства та довкілля. Воно може заблокувати фарватер, забруднити воду і стати джерелом розливу нафти або інших небезпечних речовин;

d_4 – надзвичайна ситуація «Посадка на міліну». Посадка на міліну може статися з будь-яким судном через помилку капітана (лоцмана), погану видимість, несправність судна, невідповідність відношення осідки судна до глибини, неврахування просідання (через підвищену швидкість) або стихійне лихо. Посадка на міліну може призвести до пошкодження судна, його вантажу, а також до забруднення навколишнього середовища;

d_5 – надзвичайна ситуація «Пожежа» може виникнути, якщо в акваторії порту спостерігається порушення МПЗС-72 і правил плавання та маневрування порту, недотримання вимог безпеки або інші порушення. У результаті може статися вигорання судна, вибух, забруднення довкілля тощо.

Додаткові фактори, які можуть бути використані для класифікації з урахуванням кожної надзвичайної ситуації наведені у Додатку А.

Таким чином, на класифікацію надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту найбільше впливають такі чинники: «Щільність скупчення суден в акваторії порту», «Технічний стан судна (технічне обслуговування)», «Ризик зіткнення з іншими суднами», «Курс судна», «Швидкість судна», «Відношення осадки судна до глибини акваторії порту».

2.2 Методи оброблення знань для прийняття рішень під час класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту

2.2.1 Метод формування множини продукційних правил для визначення класу надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту

Для формування правил визначення класу НС використовується

прогнозна та поточна інформація, що дає змогу генерувати їх завчасно або в реальному часі. Зазвичай постановка задачі класифікації виконувалася для умов стохастичної невизначеності. Однак у процесі розв'язання задачі умови визначення значень параметрів часто змінюються, що вимагає постановки й розв'язання задачі в умовах детерміністичної невизначеності (ДН).

За основу розробки множини продукційних правил класифікації НС на судні приймемо експертні методи. Визначення й оцінювання кінцевих класів надзвичайних ситуацій виконується є методом аналізу ієрархій із залученням кількісних та/або якісних факторів.

Нечітка постановка задачі визначення типу НС на судні вимагає декомпозиціювати проблему в ієрархію (рис. 2.1). Її перший рівень складають чинники, що є наріжним каменем прийняття рішення щодо множини класів НС. Другий рівень містить мету вирішення завдання класифікації. За результатами виявлення класу НС на судні на третьому рівні узагальнюються найважливіші заходи щодо забезпечення безпеки екіпажу і вантажу.

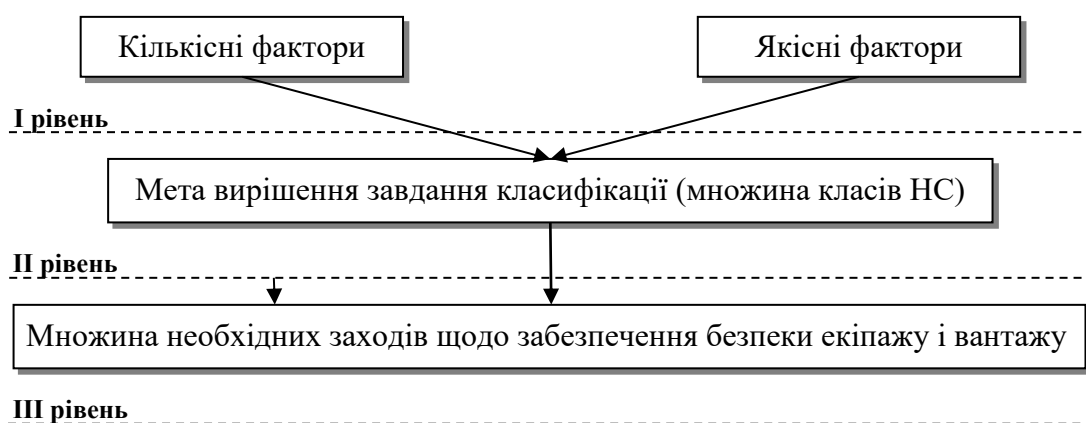


Рисунок 2.1 – Ієрархічна структура завдання класифікації надзвичайних ситуацій на судні

(Джерело – розроблено автором)

Для визначення класу НС на судні з допомогою кількісних та якісних факторів в умовах ДН розглянемо лінгвістичну змінну (ЛЗ) з назвою β :

$$\langle \beta, S(\beta), X, G, Z \rangle,$$

де $S(\beta)$ – терм-множина β , елементи якої $\alpha_i, i = \overline{1, n}$ є найменуванням нечіткої змінної (НЗ), поданої кортежем $\langle \alpha, X, \tilde{C}(\alpha) \rangle$ як ЛЗ;

X – область визначення нечіткої змінної, $\tilde{C}(\alpha_i) = \{ \mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)/x \}$, $x \in X$, $\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)$ – значення ФП;

G – синтаксичне правило, що породжує найменування змінної $\alpha \in S(\beta)$ як вербальних значень ЛЗ;

Z – синтаксичне правило, що ставить у відповідність кожній змінній $\alpha \in S(\beta)$ нечітку множину $\tilde{C}(\alpha)$.

Функції приналежності, що визначаються для значень НЗ $\alpha \in S(\beta)$, мають задовольняти певним умовам.

Нехай $X \subseteq R$, де R – множина дійсних чисел, $x_1 = \inf X$, а $x_2 = \sup X$. Якщо $S(\beta) = \{\overline{\alpha_1, \alpha_5}\}$, то $S(\beta)$ впорядковується за умовою $(\forall \alpha_i \in S(\beta))(\forall \alpha_j \in S(\beta))(i < j \leftrightarrow (\exists x \in \tilde{C}(\alpha_i)(x))(\forall y \in \tilde{C}(\alpha_j)(x)/(x > y)))$. Це означає, що терм, який має ФП, розташовану лівіше, отримує менший номер.

Функції приналежності крайніх значень НЗ (термів) не можуть мати вигляд дзвоноподібних кривих, що зумовлено розташуванням цих термів у впорядкованій множині $S(\beta)$: $\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x_i) = 1; i = \overline{1, m}, \alpha_i \in S(\beta)$.

При цьому в $S(\beta)$ не повинні бути присутніми терми за відсутності розмежування визначень, що апроксимуються ФП, і коли знайдеться ділянка області визначення X , якій не відповідає жодне з понять НЗ (терму) $\forall \alpha_i \in S(\beta)/\alpha_m)(0 < \sup_{x \in X} \mu_{\tilde{C}(\alpha_i) \cap \tilde{C}(\alpha_{i+1})}(x) < 1)$.

Для будь-якого значення НЗ α знайдеться таке $x \in X$, за якого $\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x_i)$ дорівнює одиниці: $\forall \alpha_i \in S(\beta)(\exists x \in X)(\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x) = 1)$.

У задачі класифікації числові значення на множині, що визначає сферу визначення X розглянутої лінгвістичної змінної, обмежені $(\forall \beta)(\exists x_1 \in R)(\exists x_2 \in R)((\forall x \in X)(x_1 < x < x_2))$.

Нечіткі множини $\tilde{C}(\alpha_i)$, $i = \overline{1,3}$ НЗ α кількісної природи можуть бути сформовані на основі постановки експертизи. Постановка експертизи – це процес збирання та оброблення експертних даних для вираження переваг на основі якісних порівнянь. Вони використовуються для вимірювання розглянутої характеристики ЛЗ, що має кілька значень. Постановка експертизи для виявлення $\tilde{C}(\alpha_i)$, $i = \overline{1,3}$ заснована на таких припущеннях:

– при розгляді матричного рівняння $AY^T = \lambda Y$ для матриці $A = \|\alpha_{ij}\|$; $i, j = \overline{1, n}$ визначаються відповідні їй власні числа λ_q , $q = \overline{1, G}$ як корені характеристичного рівняння $A - \lambda E = 0$, де E – одинична матриця. Кожному λ_q , $q = \overline{1, G}$ відповідатиме власний вектор Y_g , $g = \overline{1, G}$;

– якщо матриця A позитивна зворотно симетрична та узгоджена ($a_{ij} > 0$, $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, $a_{ik} = a_{ij}a_{jk}$, $i, j, k = \overline{1, n}$), то рівняння $A - \lambda E = 0$ має єдиний розв'язок $\lambda = \lambda_{max}$. Цьому значенню власного числа відповідатиме єдиний власний вектор Y .

Нехай суб'єктивні думки експертів щодо $\tilde{C}(\alpha_i) = \{\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)/x\}$, $x \in X$, $i = \overline{1, n}$ виражено додатною зворотно симетричною та узгодженою матрицею. Тоді розв'язання рівняння $AY^T = nY$ дає змогу визначити вектор $Y = \{\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)\}$, а міра збігу λ_{max} з n виступатиме мірою узгодженості суджень експертів. Кожен l -ий експерт $l = \overline{1, L}$ висловлює судження про те, у скільки разів значення ФП $\mu_{\tilde{C}(\alpha_1)}(x_i)$ НЗ α перевершує значення ФП $\mu_{\tilde{C}(\alpha_1)}(x_j)$, де $x_i, x_j \in X$; $i, j = \overline{1, n}$. Якщо $a_{ij}^{(l)} = \frac{\mu_{\tilde{C}(\alpha_j)}(x_i)}{\mu_{\tilde{C}(\alpha_j)}(x_j)}$, $a_{ij}^{(l)} = \frac{1}{a_{ij}^{(l)}}$, $a_{ik}^{(l)} = a_{ij}^{(l)} \cdot a_{jk}^{(l)}$, то $a_{ij}^{(l)} > 0$; $a_{ij}^{(l)} = 1$; $i, j = \overline{1, n}$. Суб'єктивні думки експертів усереднюють.

Тоді $a_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^L a_{ij}^{(l)} \cdot k_l}{\sum_{l=1}^L k_l}$, а за умови, що $\sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{C}(\alpha_1)}(x_i) = 1$, маємо

$$K_j = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{\tilde{C}(\alpha_1)}(x_i)}{\mu_{\tilde{C}(\alpha_1)}(x_j)} = \frac{1}{\mu_{\tilde{C}(\alpha_1)}(x_j)}. \quad (2.5)$$

Тоді за виразом

$$A\mu^T = \lambda_{max} \quad (2.6)$$

формується вектор $\mu = \{\mu_{\tilde{c}(\alpha_1)}(x_j)\}$, $j = \overline{1, n}$, де $\{\mu_{\tilde{c}(\alpha_1)}(x_j)\} = \frac{1}{k_j}$.

Отриманий за результатами оброблення експертизи вектор μ може не задовольняти рівнянню $AY^T = nY$, тому що узгодженість позитивної обернено симетричної матриці відповідає вимозі λn_{max} . Нерівність λn_{max} завжди правильна. Відхилення від узгодженості оцінюється за співвідношенням

$$\eta = \frac{\tilde{\lambda} n_{max}}{n-1}, \quad (2.7)$$

оскільки під час порівняння n елементів експерт висловлює $(n - 1)$ суджень. Вектор $\bar{\lambda}_{max}$ є найкращим, що одержується поелементним діленням вектора $A\mu^T$ на вектор μ , а $\tilde{\lambda}_{max}$ – усереднене значення компонент вектора $\bar{\lambda}_{max}$. Якщо η не задовольняє за точністю, то матриця A редагується з урахуванням отриманого вектора μ . Ітераційну процедуру повторюють, доки на k -му кроці η_k задовольнятиме вимогам точності.

При неможливості точно передбачити результат (умови детерміністичної невизначеності) використання методів нечітких суджень дає змогу враховувати невизначеність і приймати рішення, що більше відповідають ситуації.

Для визначення в умовах ДН фактору «курс судна» (ψ_{kc}) введемо ЛЗ $\langle \beta, A, S(\beta), X, G, Z \rangle$, де β – назва змінної («курс судна»), терм-множина містить $S(\beta) = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5)$, де α_1 – «дуже малий», α_2 – «малий», α_3 – «середній», α_4 – «великий», α_5 – «дуже великий».

У загальному випадку кожному фактору відповідає різна область визначення ЛЗ. Кожен експерт має свою думку про можливі значення ЛЗ, і ці думки не залежать одна від одної. Крім того, думки всіх експертів мають однакову вагу, і немає можливості змінити думку одного експерта на підставі

думки іншого експерта. Кожен l -ий експерт $l = \overline{1, 10}$ висловлює свою суб'єктивну думку щодо песимістичної $\psi_{\text{КС}}^{(\Pi)}$, найочікуванішої $\psi_{\text{КС}}^{(H)}$ та оптимістичної оцінок $\psi_{\text{КС}}^{(0)}$ значень лінгвістичної змінної (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Песимістичні, найбільш очікувані й оптимістичні оцінки можливих значень лінгвістичної змінної «курс судна» в умовах поганої видимості (Джерело – розроблено автором)

Експерт Значення	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\psi_{\text{КС}}^{(\Pi)}$	5	6	5	11	10	9	11	8	6	9
$\psi_{\text{КС}}^{(H)}$	10	12	11	12	14	12	14	10	11	14
$\psi_{\text{КС}}^{(0)}$	15	16	15	17	16	15	16	16	17	15

Песимістична оцінка – це найнижча ймовірна величина курсу судна. Найбільш очікувана оцінка – це середня ймовірна величина курсу судна. Оптимістична оцінка – це найвища ймовірна величина курсу судна. Наприклад, якщо судно рухається зі швидкістю 10 вузлів в умовах гарної видимості, то песимістична оцінка курсу судна може бути 1° , найбільш очікувана оцінка – 5° , а оптимістична оцінка – 10° . Однак, якщо судно рухається в умовах поганої видимості, то песимістична оцінка курсу судна може бути 5° , найбільш очікувана оцінка – 10° , а оптимістична оцінка – 15° .

При обробці експертних даних $\psi_{\text{КС}}^{(\Pi)}$, $\psi_{\text{КС}}^{(H)}$, $\psi_{\text{КС}}^{(0)}$ розглядаються як можливі значення випадкових величин $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(\Pi)}$, $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(H)}$, $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(0)}$ відповідно. Побудуємо статистичні функції розподілу зазначених випадкових величин $F^*(\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(\Pi)})$, $F^*(\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(H)})$, $F^*(\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(0)})$, що дають змогу вказати квантілі $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(\Pi)\alpha_1}$, $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(\Pi)\alpha_2}$; $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(H)\alpha_1}$, $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(H)\alpha_2}$; $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(0)\alpha_1}$, $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(0)\alpha_2}$, де

$$\begin{aligned}\hat{\psi}_{\text{КС}}^{\alpha_1} &= F^{-1}(\alpha_1); \quad \psi_{\text{КС}}^{\alpha_2} = F^{-1}(\alpha_2); \\ \alpha_1 &= P(\hat{\psi}_{\text{КС}} < \psi_{\text{КС}}^{\alpha_1}) = F(\psi_{\text{КС}}^{\alpha_1}) = 0,1; \\ \alpha_2 &= P(\hat{\psi}_{\text{КС}} < \psi_{\text{КС}}^{\alpha_2}) = F(\psi_{\text{КС}}^{\alpha_2}) = 0,9.\end{aligned}$$

На основі вказаних квантилів можна сформуванати інтервал, який містить у собі песимістичні, найбільш очікувані та оптимістичні оцінки випадкової величини $\psi_{\text{КС}}$. Під час формування області визначення ЛЗ не враховуються малоймовірні значення оцінок експертів $\psi_{\text{КС}}^{(\Pi)}$, $\psi_{\text{КСИО}}^{(H)}$, $\psi_{\text{КС}}^{(O)}$. Крім того, дані оцінки розглядаються в інтервалах

$$I^{(\Pi)} = (\psi_{\text{КС}}^{(\Pi)\alpha_1}, \psi_{\text{КС}}^{(\Pi)\alpha_2});$$

$$I^{(H)} = (\psi_{\text{КС}}^{(H)\alpha_1}, \psi_{\text{КС}}^{(H)\alpha_2});$$

$$I^{(O)} = (\psi_{\text{КС}}^{(O)\alpha_1}, \psi_{\text{КС}}^{(O)\alpha_2}).$$

Визначені квантили використовуються для формування області визначення лінгвістичної змінної «курс судна»

$$X = I^{(\Pi)} \cup I^{(H)} \cup I^{(O)}.$$

Результати обчислень статистичних функцій розподілу випадкових величин $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(\Pi)}$, $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(H)}$, $\hat{\psi}_{\text{КС}}^{(O)}$ показані на рис. 2.2.

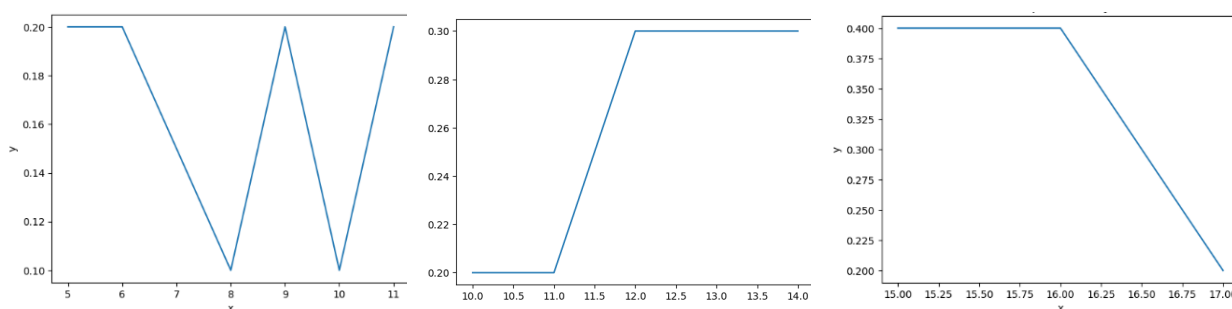


Рисунок 2.2 – Функції розподілу випадкових величин

(Джерело – розроблено автором)

Якщо $\alpha_1 = 0,1$; $\alpha_2 = 0,9$, то інтервал песимістичних оцінок $I^{(\Pi)} = (5; 11)$, $I^{(H)} = (10; 14)$, $I^{(O)} = (15; 17)$, а область визначення нечітких змінних лінгвістичної змінної «Курс судна» має вигляд $X = I^{(\Pi)} \cup I^{(H)} \cup I^{(O)} = (5; 17)$.

Аналогічно визначаються статистичні функції розподілу для інших параметрів. Нехай параметри мають однакові значення квантилів. Сформуємо області визначення НЗ відповідних ЛЗ «Щільність скупчення суден в акваторії порту» (кількість суден – $X = (5; 25)$), «Технічний стан судна (технічне обслуговування)» (час між технічними обслуговуваннями, у місяцях – $X = (6; 24)$), «Ризик зіткнення з іншими суднами» (відстань між суднами, у метрах – $X = (20; 80)$), «Швидкість судна» у вузлах – $X = (5; 30)$), «Відношення осадки судна до глибини акваторії порту» – $X = (0,1; 2)$.

Далі здійснимо постановку експертизи для формування нечітких множин $\tilde{C}(\alpha_i), i = \overline{1,5}$ нечіткої змінної α_i кожної ЛЗ. В експертизі беруть участь 10 незалежних експертів з однаковою вагою, зворотний зв'язок відсутній. Думки $l, l = \overline{1,10}$ експертів щодо $\tilde{C}(\alpha_i) = \{\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)/x\}, x \in X, i = \overline{1,5}$ виражено додатною зворотно симетричною та узгодженою матрицею $A^{(l)}$. Матриця A для значень α_1 ЛЗ «Курс судна» як усереднений результат думок 10 експертів на підставі якісних бінарних порівнянь має вигляд:

$A =$		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
	x_1	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	0	0	0	0	0	0
	x_1	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	0	0	0	0	0	0
	x_3	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	0	0	0	0	0	0
	x_4	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	0	0	0	0	0	0
	x_5	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	0	0	0	0	0	0
	x_7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	x_8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	x	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	x_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	x_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	x_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Нулі відповідають незрівнянності елементів для прийнятого значення змінної α_1 . Елементи $x_i \in X, i = \overline{1,12}$ являють собою значення з області визначення X лінгвістичної змінної β з кроком дискретизації 5: $x_1=5, x_2=10,$

..., $x_{12} = 60$. Формування вектора μ за виразами (2.5), (2.6) задовольнятиме (2.7) щодо точності, що досягається вже після другої ітерації матриці A . Після нормування вектора μ нечіткі множини НЗ $\alpha_1 - \alpha_5$ набувають вигляду:

$$\begin{aligned}\tilde{C}(\alpha_1) &= (1/10; \dots 0/20); \\ \tilde{C}(\alpha_2) &= (0/10; \dots; 1/20; \dots; 0/30); \\ \tilde{C}(\alpha_3) &= (0/20; \dots; 1/30; \dots; 0/40); \\ \tilde{C}(\alpha_4) &= (0/30; \dots; 1/40; \dots; 0/50); \\ \tilde{C}(\alpha_5) &= (0/40; \dots; 1/50).\end{aligned}$$

На рис. 2.3 значення носіїв нечітких підмножин $\tilde{C}(\alpha_1) - \tilde{C}(\alpha_5)$ якісно згладжені прямими. Значення $\psi_{\text{кк}}$ за прийнятих значень ФП для терм-множин ЛЗ подано в табл. 2.4. Для прийняття рішення щодо класифікації НС можуть бути рекомендовані рівні функції приналежності $\mu_{\tilde{C}(\alpha)} \geq 0,5$.

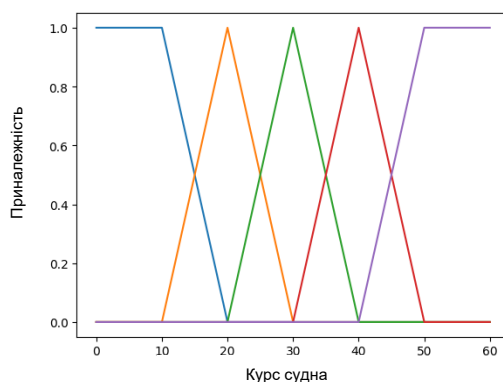


Рисунок 2.3 – Графічне представлення функції приналежності
лінгвістичної змінної «Курс судна»
(Джерело – розроблено автором)

Таблиця 2.4 – Значення НЗ лінгвістичної змінної за різних рівнів функції приналежності

(Джерело – розроблено автором)

$S(\beta)$ $\mu_{\tilde{C}(\alpha)}$	«Курс судна»					
	β_1 – «Дуже малий»		β_2 – «Малий»	β_3 – «Середній»	β_4 – «Великий»	β_5 – «Дуже великий»
$\psi_{\text{КС}}$	3...12	14...22	22...32	34...48	47...55	3...12
	3...7	15...20	24...40	38...43	49...55	3...7
	3...5	16...17	25...38	33...47	43...55	3...5
	3...4	18...25	28...35	36...45	44...55	3...4
	10	20	30	40	50	10

У такий самий спосіб отримано значення НЗ α_i , $i = \overline{1,6}$ решти лінгвістичних змінних: «Щільність скупчення суден в акваторії порту», «Технічний стан судна (технічне обслуговування)», «Швидкість судна» (рис. 2.4), «Ризик зіткнення з іншими суднами» (рис. 2.5), «Відношення осадки судна до глибини акваторії порту».

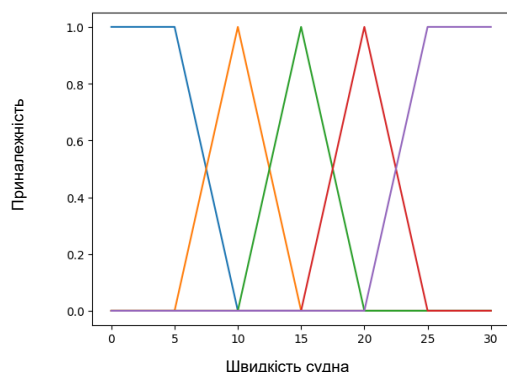


Рисунок 2.4 – Графічне подання функції приналежності лінгвістичної змінної «Швидкість судна»
(Джерело – розроблено автором)

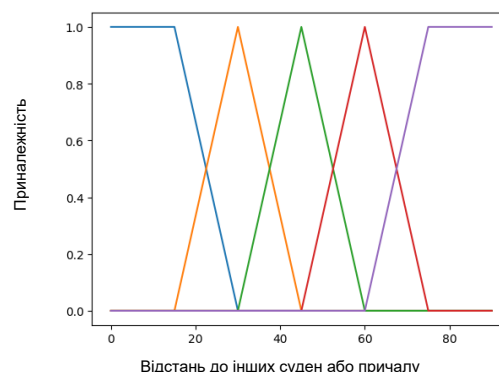


Рисунок 2.5 – Графічне подання функції приналежності лінгвістичної змінної «Ризик зіткнення з іншими суднами»
(Джерело – розроблено автором)

Для визначення типу надзвичайної ситуації проведемо якісний формальний порівняльний аналіз чинників щодо їхньої важливості стосовно результуючого класу. Результати представимо у вигляді матриці $A = \|a_{ij}\|$; $i, j = \overline{1, 6}$ (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Порівняльний аналіз відносної важливості показників стосовно мети класифікації

(Джерело – розроблено автором)

Фактори	«Щільність скупчення суден в акваторії порту»	Технічний стан судна (технічне обслуговування)	Курс судна	Швидкість судна	Ризик зіткнення з іншими суднами	Відношення осадки судна до глибини акваторії порту
«Щільність скупчення суден в акваторії порту»	1	2	3	5	7	9
Технічний стан судна (технічне обслуговування)	0,5	1	2	5	5	7
Курс судна	0,33	0,5	1	3	7	7
Швидкість судна	0,2	0,2	0,33	1	2	3
Ризик зіткнення з іншими суднами	0,14	0,2	0,14	0,5	1	2
Співвідношення осадки судна до глибини акваторії порту	0,11	0,14	0,14	0,33	0,5	1

Відносний ранг кожного класу НС визначається шляхом множення ваги оцінки класу за деяким фактором на вагу цього фактору. Сума значень, отриманих для кожного класу за всіма факторами, дає шуканий відносний ранг класу. Для визначення вектора пріоритетів μ_i розв'язується матричне рівняння, згідно з (2.6). Нормований результуючий вектор пріоритетів чинників дає змогу прийняти рішення про клас НС на судні в акваторії порту. Для цього можуть бути рекомендовані рівні ФП $\mu_{\tilde{c}(\alpha)} > 0,6$. За рівнів функції приналежності 0,7...1 чіткі множини НЗ a_j відрізняються незначно. Тому критерії розглядатимемо за рівня функції приналежності 0,7.

Бінарні відносини класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту з погляду того чи іншого чинника становлять зміст другого рівня ієрархії. На цьому рівні ієрархії експерти порівнюють, у скільки разів розпізнаний клас є доцільним відносно інших із погляду прийняття рішення щодо чинників класифікації. Для отримання результуючого значення класу НС на судні щодо узагальнених чинників використовуємо принцип синтезу.

Згідно з цим принципом, компонента вектора пріоритетів щодо класу НС визначається як $\sup_{\alpha} \sup_{0,7} \max_k \mu_k^{(H)}$, де $\mu_k^{(H)} = \sum_{i=1}^6 \mu_{i,k}^{(H)} \mu_i^{(H)}$, $k = \overline{1, K}$.

Таким чином, розв'язано нечітко поставлену багатокритеріальну оптимізаційну задачу. Її розв'язанням є класифікація НС на судні в акваторії порту за прогнозованими або поточними значеннями найбільш важливих факторів, що розкривають НС та функціонування судна.

За результатами розв'язку задачі сформовані лінгвістичні продукційні правила класифікації НС на судні в акваторії порту і побудовано відповідну ієрархічну модель для класифікації таких НС. Визначений клас надзвичайної ситуації дає змогу сформулювати перелік потрібних заходів щодо забезпечення безпеки екіпажу і вантажу (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Логіко-лінгвістична ієрархічна продукційна модель класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту

(Джерело – розроблено автором)

Розглянемо безрозмірні ЛЗ «Положення судна в акваторії порту», «Умови плавання судна в акваторії порту», «Безпека обстановки в акваторії порту», «Умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах в акваторії порту», «Класи надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту» та проведемо експертизу відповідно до (2.1) – (2.4).

Нехай функції приналежності ННЕ суворої переваги задано в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Функції переваги ННЕ суворої переваги

(Джерело – розроблено автором)

№	Функція приналежності
1	$\left\{ \begin{array}{l} \mu \leq 0,2, \text{ то положення судна в акваторії порту — небезпечне;} \\ 0,2 < \mu \leq 0,4, \text{ то положення судна в акваторії порту — не дуже} \\ \text{небезпечне;} \\ 0,4 < \mu \leq 0,6, \text{ то положення судна в акваторії порту — відносно небезпечне;} \\ 0,6 < \mu \leq 0,8, \text{ то положення судна в акваторії порту — безпечне;} \\ 0,8 < \mu \leq 1, \text{ то положення судна в акваторії порту — дуже безпечне,} \end{array} \right.$
2	$\left\{ \begin{array}{l} \mu \leq 0,2, \text{ то умови плавання судна в акваторії порту — дуже погані;} \\ 0,2 < \mu \leq 0,4, \text{ то умови плавання судна в акваторії порту — не дуже погані;} \\ 0,4 < \mu \leq 0,6, \text{ то умови плавання судна в акваторії порту — відносно добрі;} \\ 0,6 < \mu \leq 0,8, \text{ то умови плавання судна в акваторії порту — не дуже добрі;} \\ 0,8 < \mu \leq 1, \text{ то умови плавання судна в акваторії порту — дуже добрі,} \end{array} \right.$
3	$\left\{ \begin{array}{l} \mu \leq 0,2, \text{ то безпека обстановки в акваторії порту — дуже низька;} \\ 0,2 < \mu \leq 0,4, \text{ то безпека обстановки в акваторії порту — низька;} \\ 0,4 < \mu \leq 0,6, \text{ то безпека обстановки в акваторії порту — відносно низька} \\ 0,6 < \mu \leq 0,8, \text{ то безпека обстановки в акваторії порту — невисока;} \\ 0,8 < \mu \leq 1, \text{ то безпека обстановки в акваторії порту — висока,} \end{array} \right.$
4	$\left\{ \begin{array}{l} \mu \leq 0,2, \text{ то умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах —} \\ \text{дуже погані;} \\ 0,2 < \mu \leq 0,4, \text{ то умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах —} \\ \text{не дуже погані;} \\ 0,4 < \mu \leq 0,6, \text{ то умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах —} \\ \text{відносно добрі} \\ 0,6 < \mu \leq 0,8, \text{ то умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах —} \\ \text{не дуже добрі} \\ 0,8 < \mu \leq 1, \text{ то умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах —} \\ \text{дуже добрі.} \end{array} \right.$

Упорядкуємо комбінації чинників, що характеризують класи НС на судні в акваторії порту, у порядку зменшення їхньої недомінуючості.

Матриці значень ФП нечіткого бінарного відношення суворої переваги комбінацій НЗ лінгвістичних змінних «Щільність скупчення суден в акваторії порту» і «Технічний стан судна» відносно «дуже вигідного» місцеположення судна в акваторії порту, згідно з (2.3), наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Комбінації нечітких змінних лінгвістичних змінних, що визначають змінну «Положення судна в акваторії порту»

(Джерело – розроблено автором)

Щільність скупчення суден в акваторії порту	Технічний стан (технічне обслуговування)	Місцеположення судна в акваторії порту
Дуже мала	Дуже низький	Не дуже безпечне
Мала	Дуже низький	Не дуже безпечне
Мала	Низький	Не дуже безпечне
Невелика	Дуже низький	Відносно безпечне
Середня	Дуже низький	Відносно безпечне
Середня	Низький	Відносно безпечне
Невелика	Невисокий	Дуже безпечне
Невелика	Середній	Дуже безпечне
Невелика	Високий	Дуже безпечне
Середня	Невисокий	Дуже безпечне
Середня	Високий	Дуже безпечне
Велика	Дуже низький	Безпечне
Велика	Низький	Безпечне
Велика	Середній	Безпечне
Велика	Високий	Безпечне
Дуже мала	Невисокий	Небезпечне
Дуже мала	Середній	Небезпечне
Дуже мала	Високий	Небезпечне
Мала	Невисокий	Небезпечне
Мала	Високий	Небезпечне

Визначимо за виразом (2.4) функції приналежності ННЕ $\mu_{M_{\bar{R}_>}}(m)$. Вони дають змогу впорядкувати комбінації нечітких змінних «Щільність скупчення суден в акваторії порту» і «Технічний стан (технічне обслуговування)» щодо «дуже бажаного» положення судна в акваторії моря (див. табл. 2.7).

Результати впорядкування комбінацій інших факторів, що характеризують НС і поведінку судна в акваторії порту, подаються аналогічно.

Так само впорядковуються комбінації нечітких змінних «Курс судна» і «Ризик зіткнення з іншими суднами» щодо «бажаних» умов плавання судна в акваторії порту (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Комбінації нечітких змінних лінгвістичних змінних, що визначають змінну «Умови плавання судна в акваторії порту»

(Джерело – розроблено автором)

Курс судна	Ризик зіткнення з іншими суднами	Умови плавання судна в акваторії порту
Дуже малий	Дуже малий, малий	Не дуже вигідні
Малий	Дуже малий	Не дуже вигідні
Малий	Малий	Не дуже вигідні
Невеликий	Дуже малий, малий	Відносно вигідні
Середній	Дуже малий	Відносно вигідні
Середній	Малий	Відносно вигідні
Невеликий	Невеликий	Дуже вигідні
Невеликий	Середній	Дуже вигідні
Невеликий	Великий	Дуже вигідні
Середній	Невеликий, середній	Дуже вигідні
Середній	Великий	Дуже вигідні
Великий	Дуже малий	Вигідні
Великий	Малий	Вигідні
Великий	Невеликий, середній	Вигідні
Великий	Великий	Вигідні
Дуже малий	Невеликий	Невигідні
Дуже малий	Середній	Невигідні
Дуже малий	Великий	Невигідні
Малий	Невеликий, середній	Невигідні
Малий	Великий	Невигідні

Таким чином, сформовано продукційні правила класифікації НС на судні в акваторії порту за прогнозованими або поточними значеннями факторів кількісної та якісної природи в нечіткій постановці. Отримані результати дають змогу перейти до подальшого оброблення знань для підтримки прийняття рішень під час керування динамічними об'єктами за даними класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту.

2.2.2 Метод алгебраїчної поліноміальної апроксимації логіко-лінгвістичної ієрархічної моделі та нечіткої ідентифікації для визначення класу надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту

Логіко-лінгвістична продукційна модель складає математичний базис опису динамічних зв'язків між змінними неформального процесу визначення класу НС на судні в акваторії порту в умовах невизначеності. Модель визначається такими аксіомами.

1. Нехай визначено такі множини:

а) множина вхідних впливів $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, $x_i^* \in [\underline{x_i}, \overline{x_i}]$;

б) множина станів $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, що являють собою ЛЗ. Вони відрізняються наборами $(x_i, S(x_i), U_i, G_i, M_i)$, $i = \overline{1, n}$ (x – назва ЛЗ; $S(x)$ – терм-множина змінної x , елементи якої α_j , $j = \overline{1, n}$ – найменування НЗ $< \alpha, U, \tilde{C}(\alpha) >$ як лінгвістичних значень ЛЗ, де U – область визначення НЗ, $\tilde{C}(\alpha) = \{\mu_{\tilde{C}(\alpha)}(u)/u\}$, $u \in U$, $\mu_{\tilde{C}(\alpha)}(u)$ – значення ФП; G – синтаксичне правило, що породжує найменування змінної $\alpha \in S(x)$; M – синтаксичне правило, що ставить у відповідність кожній змінній $\alpha \in S(x)$ НМ $\tilde{C}(\alpha)$);

в) множина вихідних значень $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, які також є ЛЗ, що визначаються наборами $(y_k, S(y_k), H_k, G_k, M_k)$, $k = \overline{1, m}$. Причому $S(y)$ – терм-множина змінної y , елементи якої d_z , $z = \overline{1, S}$ – найменування НЗ $< d, H, \tilde{C}(d) >$ як лінгвістичних значень ЛЗ, де H – область визначення НЗ, $\tilde{C}(d) =$

$\{\mu_{\tilde{C}(d)}(h)/h\}$, $h \in H$, $\mu_{\tilde{C}(d)h}(h)$ – значення ФП.

2. Задано відображення виходу $R: x(t) \rightarrow d$, що визначає вихідну величину $y = d_z$, $z = \overline{1, m}$ множиною наборів правил $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$:

$$R: \begin{cases} \text{IF } x_1 = \alpha_1^{(1)} \text{ AND } x_2 = \alpha_2^{(1)} \dots [\text{AND } x_k = \alpha_k^{(1)}] \dots x_n = \alpha_n^{(1)} \\ \text{THEN } y_1 = d_1, \\ \text{IF } x_1 = \alpha_1^{(2)} \text{ AND } x_2 = \alpha_2^{(2)} \dots [\text{AND } x_k = \alpha_k^{(2)}] \dots x_n = \alpha_n^{(2)} \\ \text{THEN } y_2 = d_2, \\ \dots \dots \dots \\ \text{IF } x_1 = \alpha_1^{(m)} \text{ AND } x_2 = \alpha_2^{(m)} \dots [\text{AND } x_k = \alpha_k^{(1)}] \dots x_n = \alpha_n^{(m)} \\ \text{THEN } y_m = d_m, \end{cases} \quad (2.8)$$

де k_i – кількість правил у наборі r_i , $i = \overline{1, n}$.

Число правил у наборі знаходиться у межах $0 < k_i \leq \prod_{i=1}^n \text{card}(S(x_i))$, де $\text{card}(S(x_i))$ – потужність терм-множини змінної x_i , $i = \overline{1, n}$.

Будь-яка система, організована за ієрархічним принципом, використовує класифікаційні ознаки для створення ієрархічної структури. Ця структура відображає взаємозв'язок між частково впорядкованими множинами. У випадку з надзвичайними ситуаціями на судні в акваторії порту в якості кістяка дерева використовується ієрархія завдань, які необхідно розв'язати для визначення класу ситуації $L = \{L_0, L_1, \dots, L_m\}$. Кожен рівень ієрархії визначає свою підмножину системи $L_r = \{l_1^{(r)}, \dots, l_k^{(r)}\}$. Тоді під логіко-лінгвістична ієрархічна продукційна модель має такий вигляд:

$$\bigcup_{j=1}^{m_i} \text{conseq } R_{i-1,j}^{(k)} = \text{antec } R_i^{(k)}, \quad (2.9)$$

де $R_1: \bigcup_{j=1}^{m_{n_0}} L_{0,j} \rightarrow L_1$, $L_0 = \{l_1^{(0)}, l_2^{(0)}, \dots, l_{k_0}^{(0)}\}$;

$$R_2: \bigcup_{j=1}^{m_{n_1}} L_{1,j} \rightarrow L_2, \quad L_1 = \{l_1^{(1)}, l_2^{(1)}, \dots, l_{k_1}^{(1)}\};$$

.....

$$R_M: \bigcup_{j=1}^{m_{n_{m-1}}} L_{m-1,j} \rightarrow L_m, \quad L_{m-1} = \{l_1^{(m-1)}, l_2^{(m-1)}, \dots, l_{k_n}^{(m-1)}\};$$

$l_{ij}^{(k)}$ – лінгвістична змінна.

Опишемо динаміку процесу класифікації НС на судні в акваторії порту за допомогою взаємопов'язаних таблиць лінгвістичних правил, що пов'язують поточні (X_{k-1}) та майбутні (X_k) стани (табл. 2.9):

$$Y = R(X_{k-1}, X_k),$$

де R – відношення зв'язку;

k – крок дискретизації моделі.

Таблиця 2.9 – Приклад формування лінгвістичних правил неформального процесу $Y = R(X_{k-1}, X_k)$

(Джерело – розроблено автором)

$X_{k-1} \backslash X_k$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZE
NS	NB	NB	NS	ZE	PS
ZE	NB	NB	ZE	PB	PB
PS	NS	ZE	PS	PB	PB
PB	ZE	PS	PB	PB	PB

База знань об'єкта описується таблицями лінгвістичних правил. Вершини дерева ієрархічної системи є таблицями лінгвістичних правил, а дуги – метаправилами. Вони використовуються для вибору потрібної таблиці при зміні поточної мети СППР.

На основі продукційних правил визначення класу НС на судні в акваторії порту побудуємо таблиці лінгвістичних правил. Нехай задано термножину $S = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$ нечітких змінних із заданими ФП, де NB – negative big (дуже поганий), NS – negative small (не дуже поганий), ZE – zero

(середній елемент), *PS* – positive small (не дуже хороший), *PB* – positive big (дуже хороший).

Нехай також маємо ЛП: «Щільність скупчення суден в акваторії порту» (x_1), «Технічний стан судна (технічне обслуговування)» (x_2), «Курс судна» (x_3), «Ризик зіткнення з іншими суднами» (x_4), «Швидкість судна» (x_5), «Відношення осадки судна до глибини акваторії порту» (x_6), «Положення судна в акваторії порту» (Y), «Умови плавання судна в акваторії порту» (Z), «Умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах в акваторії порту» (T), «Безпека обстановки в акваторії порту» (F) і «Класи надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту» (D). Тоді системи продукцій, що являють собою відображення НЗ ЛЗ (x_1) і (x_2) в НЗ ЛЗ (Y); (x_3) і (x_4) – в (Z); (x_5) і (x_6) – в (T), (F) и (D) подано в табл. 2.10 – 2.14.

Дані про вхідні змінні дають змогу СППР визначати клас надзвичайної ситуації. Для кожного класу НС система підтримки прийняття рішень має побудувати таблиці лінгвістичних правил, визначити функції приналежності і потужності використовуваних у таблицях базових терм-множин ЛЗ. Для адекватного опису будь-яких процесів, представлених таблицями лінгвістичних правил, використовують алгебраїчні системи.

Алгебраїчна система є непустою множиною із заданими на ньому сигнатурою і набором операцій. Вони виконуються над парами елементів із множини $S = \{S_1, ..., S_n\}$ і повертають один або кілька елементів до неї.

Таблиця 2.10 – Система продукцій, що представляє відображення $R: x_1 \times x_2 \rightarrow Y$ (Джерело – розроблено автором)

x_1/x_2	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>
<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>
<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>
<i>PS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>
<i>PB</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>

Таблиця 2.11 – Система продукцій, що представляє відображення $R: x_3 \times x_4 \rightarrow Z$
(Джерело – розроблено автором)

x_3/x_4	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>
<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>PS</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>PB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>

Таблиця 2.12 – Система продукцій, що представляє відображення $R: x_5 \times x_6 \rightarrow T$
(Джерело – розроблено автором)

x_5/x_6	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>
<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>
<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>
<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>

Таблиця 2.13 – Система продукцій, що представляє відображення $R: Y \times Z \rightarrow F$
(Джерело – розроблено автором)

Y/Z	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>PS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>ZE</i>
<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>PB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>
<i>ZE</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>PB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>
<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>
<i>PB</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>PB</i>	<i>ZE</i>

Таблиця 2.14 – Система продукцій, що представляє відображення $R: F \times T \rightarrow D$
(Джерело – розроблено автором)

F/T	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>
<i>NS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>
<i>ZE</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>
<i>PS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>
<i>PB</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>

Алгебраїчні системи для лінгвістичних продукційних моделей та евклідові простори мають аналогічні властивості. Тобто, ці системи можуть використовуватися для подання та обробки інформації, аналогічної до інформації, що може бути подана та оброблена в евклідовому просторі. Але, на відміну від евклідових просторів, базові терм-множини в алгебраїчних системах для лінгвістичних продукційних моделей є скінченними. Це означає, що в цих системах існує лише скінченна кількість елементів, які можуть бути використані для подання інформації. Кожен елемент базової терм-множини в алгебраїчних системах для лінгвістичних продукційних моделей також є лінгвістичним значенням. Це означає, що кожен елемент являє собою не число, а слово або фразу, яка має значення в контексті конкретного завдання.

У загальному вигляді таблиці лінгвістичних правил є відображенням терм-множини $S = \{S_1, \dots, S_n\}$ на себе $(+: S \times S \rightarrow S)$. Ґрунтуючись на принципах побудови алгебраїчних систем, необхідно визначити на базовій терм-множині $S = \{S_1, \dots, S_n\}$ операції додавання елементів із S і множення на елементи деякої множини коефіцієнтів Ω .

Як поле Ω виберемо абстрактну множину, для якої визначимо зовнішній закон композиції

$$\times \Omega: \Omega \times S \rightarrow S \quad (2.10)$$

і два внутрішні закони

$$+\omega: \Omega \times \Omega \rightarrow \Omega, \quad (2.11)$$

$$\times \omega: \Omega \times \Omega \rightarrow \Omega. \quad (2.12)$$

Відповідно до вимог лінійного простору, множина S має бути абелевою групою відносно операції (2.11), тобто бути замкнутою, асоціативною, мати нейтральний елемент або протилежні елементи.

Для реалізації цієї вимоги відповідна таблиця має бути складена з

перестановок рядків базової терм-множини. Це означає, що рядки таблиці мають бути переставлені таким чином, щоб створити нову таблицю, яка має ті самі властивості, що й базова терм-множина.

Нехай задано терм-множину $S = \{s_0, s_1, \dots, s_n\}$, в якій визначено повний порядок ($s_i \leq s_j$, якщо $i < j$), тобто на ній задано рефлексивне, антисиметричне, транзитивне відношення. Для забезпечення симетричності досліджуваних властивостей припускаємо, що n є парним і на ньому задано нульовий елемент $sn/2 = ZE$.

Для заданої множини $S = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$ операція додавання (2.11), що задовольняє перелічені вище умови, подана у вигляді табл. 2.15. Із цього випливає виконання наступної умови $s_i + s_j = s_{i+j-n/2}$, де існує обмеження $0 \leq i + j - n/2 \leq n$, яке приводить до появи ділянок переповнення, в яких результат операції є невизначеним.

Таблиця 2.15 – Внутрішній закон композиції

(Джерело – розроблено автором)

$+: S \times S \rightarrow S$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	переповн.		NB	NS	ZE
NS		NB	NS	ZE	PS
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	NS	ZE	PS	PB	
PB	ZE	PS	PB		переповн.

Таблиця 2.15 показує, що операція додавання елементів має властивість циклічного зсуву значення рядка зі доданком ZE вправо (верхня половина таблиці) і вліво (нижня половина таблиці). Циклічне зміщення також вимагає заповнення всіх областей таблиці. Однак за такої операції зміщення отримані значення можуть не відповідати семантиці терм-множини S . Наприклад, можуть виникнути операції типу $PS + PB = NB$, що, звісно ж, не порушує властивостей абелевої групи, але суперечить сенсу лінгвістичної змінної S . Тому вважається, що в ділянці переповнення порушуються властивості

лінійного простору (властивості абелевої групи щодо внутрішнього закону композиції). Алгебраїчні операції слід проводити тільки на множині, визначеній допустимою областю, поданою в таблиці 2.15.

Щоб множина S мала властивості лінійного простору відносно зовнішнього закону композиції, необхідно і достатньо, щоб було стільки ж елементів у полі Ω , скільки і в множині S : $\text{card}(\Omega) = \text{card}(S)$.

Розглянемо операцію (2.10) на множині $S = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$. Уявімо множину Ω у вигляді $\Omega = \{-2, -1, 0, 1, 2\}$. Елементи цієї множини вказують на кількість операцій додавання, які необхідно виконати над відповідними елементами з S . Реалізацію операції (2.10) для множин $S = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$ і $\Omega = \{-2, -1, 0, 1, 2\}$ наведено у табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Зовнішній закон композиції

(Джерело – розроблено автором)

F/T	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	d_4	d_4	d_4	d_4	d_4
NS	d_4	d_4	d_4	d_4	d_4
ZE	d_5	d_5	d_5	d_5	d_5
PS	d_3	d_3	d_3	d_3	d_3
PB	d_2	d_2	d_2	d_1	d_1

Нехай деяка підмножина $\Omega_{\text{ст}}$ є областю стійкості. Ця вимога аналогічна з лінійними системами в евклідовому просторі.

Операція зовнішнього закону композиції (2.10) з урахуванням області стійкості для множини $S = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$ в остаточному варіанті наведена в табл. 2.17. Введення додаткових елементів $\Omega_{\text{ст}}$ викликало появу нових областей, де порушується дистрибутивний закон лінійного простору S відносно адитивного закону поля Ω .

Області, в яких виникають проблеми з виконанням операцій, можна назвати областями «округлення». Наприклад, під час множення на $1/2$ непарних

чисел у множині натуральних чисел необхідно виконувати округлення, що призводить до порушення дистрибутивного закону щодо додавання.

Таблиця 2.17 – Зовнішній закон композиції

(Джерело – розроблено автором)

$\times: \Omega \times S \rightarrow S$	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
-2	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>ZE</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>
-1	<i>PB</i>	<i>PS</i>	<i>ZE</i>	<i>NS</i>	<i>NB</i>
-1/2	<i>PS</i>	<i>ZE</i> (округл.)	<i>ZE</i>	<i>ZE</i> (округл.)	<i>NS</i>
0	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>
1/2	<i>NS</i>	<i>ZE</i> (округл.)	<i>ZE</i>	<i>ZE</i> (округл.)	<i>PS</i>
1	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
2	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>ZE</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>

Отриманий лінійний простір S лінгвістичних змінних над полем Ω забезпечує необхідні операції для розв'язання задач аналізу та синтезу лінгвістичних динамічних систем.

Система є ієрархією рівнів, кожен з яких має свій стан. Покрокове лінгвістичне відображення дає змогу перевести систему з одного рівня на інший. За m кроків система перейде в стан, який визначається відображенням $R_m: R_{m-1}(R_{m-2} \dots R_2(R_1(L_0))) \rightarrow L_m$, що можна подати алгебраїчним поліномом

$$R_m = A_0 \cdot L_0 + A_1 \cdot R_1(L_0) + \dots + A_{m-1} \cdot R_{m-1}(L_0),$$

де параметри A_i є елементами Ω , а операції додавання і множення розуміють у сенсі введеної алгебри. Кількість поліномів дорівнює кількості класів.

Таким чином, відображення R пов'язують вхідні змінні $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, $x_i^* \in [\underline{x_i}, \overline{x_i}]$ та вихідну величину $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$.

У загальному вигляді структура правил має вигляд

$$IF \bigwedge_{\mathfrak{Z}} x = s_{\mathfrak{Z}} THEN y = s, \quad (2.13)$$

де \mathfrak{Z} – множина індексів вхідних параметрів.

З точки зору системного підходу розглядається не набір окремих правил, а цілісна структура. Тоді відображення (2.13) можна подати у вигляді лінгвістичних правил (табл. 2.18).

Таблиця 2.18 – Таблиця лінгвістичних правил

(Джерело – розроблено автором)

Правила	Антецедент $X_k = (x_1, x_2, \dots, x_n)$				Консеквент X_{k+1}
	x_1	x_2	...	x_n	y
R_1	NB	ZE	•	•	•
R_2	•	PS	•	NS	ZE
...	•	•	•	•	•
R_m	ZE	•	•	•	•

Узагальнений підхід використовує символ «•» для позначення змінних, для яких не визначено конкретних значень у правилах. Відображення (2.13) встановлює відповідність між підпросторами різних рівнів у просторі (n – кількість ЛЗ). Нечіткі моделі дають змогу представляти системи менш деталізовано, не зменшуючи кількості досліджуваних змінних. Це досягається за рахунок відмови від несуттєвих деталей.

Процедура алгебраїчної апроксимації використовується для синтезу послідовності правил. Використання таблиць лінгвістичних правил, що описують процес класифікації надзвичайних ситуацій, ускладнене. Метод нечіткої ідентифікації використовується одночасно із зазначеною процедурою за недоцільності редукції кількості продукційних правил. Він дає змогу за допомогою нечітких логічних рівнянь обчислювати значення ФП різних рішень за фіксованих значень вхідних змінних.

Отримані продукційні правила дають змогу перейти до обробки знань для класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту.

Послідовність оброблення знань складається з таких етапів [40]:

1. Фіксування вектора значень вхідних змінних $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ і визначення НЗ ЛЗ за значеннями ознак $\langle x_1^*, S_1, \dots \rangle \dots \langle x_n^*, S_j, \dots \rangle$, де $S_j = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$ – терм-множина параметра x_n .

2. Визначення значень ФП для x_i^* , $i = \overline{1, n}$.

3. Застосування процедури алгебраїчної апроксимації при визначенні класів надзвичайних ситуацій у вигляді продукційних правил.

4. Застосування методу нечіткої ідентифікації, якщо відомі:

– множина рішень $y = d_z$, $z = \overline{1, m}$;

– множина вхідних змінних $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$;

– діапазони зміни кожної вхідної змінної $x_i^* \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$, $i = \overline{1, n}$;

– ФП, що представляють вхідні змінні $\tilde{C}(\alpha) = \{\mu_{\tilde{C}(\alpha)}(x)/x\}$, $x \in X$ і вихідну змінну $\tilde{C}(d) = \{\mu_{\tilde{C}(d)}(y)/y\}$, $y \in Y$ у вигляді нечітких множин;

– база знань, представлена у вигляді логічних висловлювань вигляду

$$R: \begin{cases} \text{IF } x_1 = \alpha_1^{(11)} \text{ AND } x_2 = \alpha_2^{(11)} \dots [\text{AND } x_k = \alpha_k^{(11)}] \dots x_n = \alpha_n^{(1h_1)} \\ \text{THEN } y_1 = d_1, \\ \text{IF } x_1 = \alpha_1^{(21)} \text{ AND } x_2 = \alpha_2^{(21)} \dots [\text{AND } x_k = \alpha_k^{(21)}] \dots x_n = \alpha_n^{(2h_2)} \\ \text{THEN } y_2 = d_2, \\ \dots \dots \dots \\ \text{IF } x_1 = \alpha_1^{(m1)} \text{ AND } x_2 = \alpha_2^{(m1)} \dots [\text{AND } x_k = \alpha_k^{(m1)}] \dots x_n = \alpha_n^{(mh_1)} \\ \text{THEN } y_m = d_m. \end{cases} \quad (2.14)$$

Представимо таблиці лінгвістичних правил у вигляді

$$\bigcup_{h=1}^{k_z} \left[\bigcap_{i=1}^n (x_i = \alpha_i^{(ih)}) \right] \rightarrow y = d_z, \quad z = \overline{1, m}.$$

Необхідно розробити алгоритм класифікації, щоб поставити у відповідність фіксованому вектору вхідних змінних $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, $x_i^* \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ розв'язок $y \in D = (d_1, d_2, \dots, d_z)$, $z = \overline{1, m}$.

Отримання нечітких логічних рівнянь полягає в такому. Розглянемо НЗ

$\alpha_i^{(jh)}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, $h = \overline{1, k_z}$ ЛЗ x_i , $i = \overline{1, n}$, які входять у логічні висловлювання щодо рішень d_z , $z = \overline{1, m}$ (2.14).

Нехай $\mu_{\tilde{C}(\alpha_i^{(jh)})(x_i)}$ – ФП фактору $x_i \in [\underline{x_i}, \overline{x_i}]$ нечіткої змінної α_i^{jh} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, $h = \overline{1, k_z}$, $\mu_{\tilde{C}(d_z)}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – ФП вектора вхідних змінних $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ значенню вихідної змінної $y = d_z$, $z = \overline{1, m}$. Зв'язок між цими функціями визначається (2.14) і може бути представлений у вигляді

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{C}(\alpha_{d_1})}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{11})}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{11})}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_n^{11})}(x_n) \vee \\ &\quad \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{12})}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{12})}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_n^{12})}(x_n) \vee \dots \\ &\quad \vee \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{1k_1})}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{1k_1})}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_n^{1k_1})}(x_n), \\ \mu_{\tilde{C}(\alpha_{d_2})}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{21})}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{21})}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_n^{21})}(x_n) \vee \\ &\quad \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{22})}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{22})}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_n^{22})}(x_n) \vee \dots \\ &\quad \vee \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{2k_2})}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{2k_2})}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_n^{2k_2})}(x_n), \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{C}(\alpha_{d_m})}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{m1})}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{m1})}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_n^{m1})}(x_n) \vee \\ &\quad \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{m2})}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{m2})}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_n^{m2})}(x_n) \vee \dots \\ &\quad \vee \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{mk_m})}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{mk_m})}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\tilde{C}(\alpha_n^{mk_m})}(x_n), \end{aligned}$$

Процес класифікації d_z , $z = \overline{1, m}$, що відповідає вектору фіксованих значень вхідних змінних $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, $x_i^* \in [\underline{x_i}, \overline{x_i}]$, здійснюється відповідно до таких етапів:

1. Визначаються та аналізуються фактори, що впливають на класифікацію НС на судні в акваторії порту.

2. Фіксується вектор значень вхідних змінних $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ і визначаються значення $\mu_{\tilde{C}(\alpha)}(x)$ вхідних змінних x_i^* , $i = \overline{1, n}$.

3. За допомогою логічних рівнянь (2.15) визначаються багатовимірні ФП $\mu_{\tilde{C}(\alpha_{d_z})}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ вектора X^* для всіх значень d_z , $z = \overline{1, m}$ змінної y .

Таким чином, за заданим вектором фіксованих станів вхідних змінних

$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ та БЗ знаходимо дискретні значення (d_1, d_2, \dots, d_m) .

Узагальнену структуру методу оброблення знань для класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту подано на рис. 2.7.

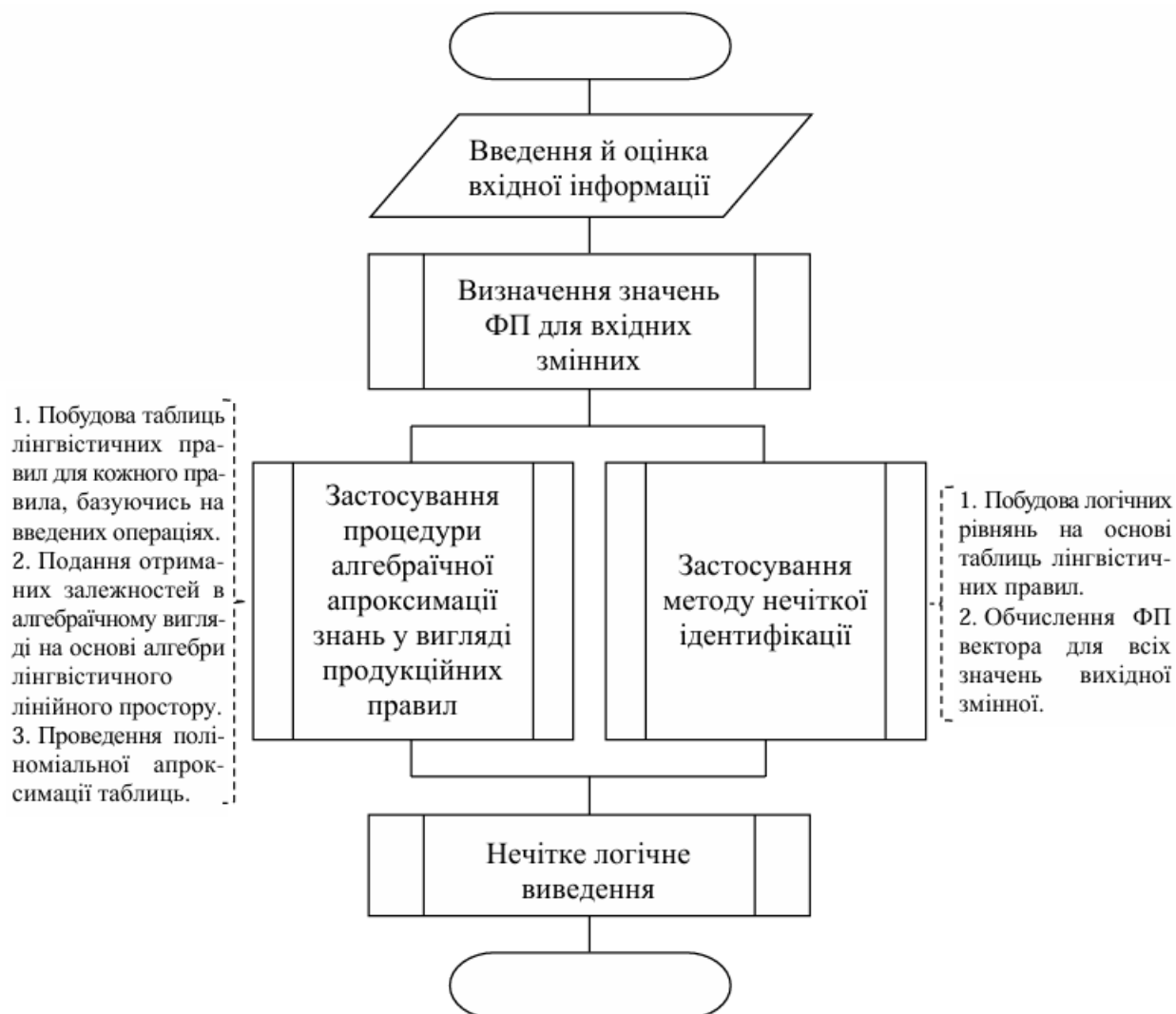


Рисунок 2.7 – Узагальнена структура методу обробки знань для класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту
(Джерело – розроблено автором)

Застосуємо розроблений метод для визначення класу надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту. Використаємо для цього детально розглянуті в підрозд. 2.1 фактори. ЛЗ «Класи надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту» залежить від ЛЗ «Безпека обстановки в акваторії порту», «Умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах в

акваторії порту» і описується 100 продукційними правилами, що призводить до складності організації та контролю правильності обчислювального процесу. Для визначення правил, які найбільше впливають на процес визначення змінної «Класи надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту», застосуємо процедуру алгебраїчної апроксимації.

Задамо ЛЗ «Положення судна в акваторії порту» і параметри, що її визначають (рис. 2.8-2.10):

– «Щільність скупчення суден в акваторії порту»

$$S = \{NB, NS, ZE, PS, PB\} =$$

{"Дуже низька", "Низька", "Середня", "Висока", "Дуже висока"};

– «Технічний стан судна (технічне обслуговування)»

$$S = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$$

= {"Критичне", "Погане", "Задовільне", "Добре", "Відмінне"}.

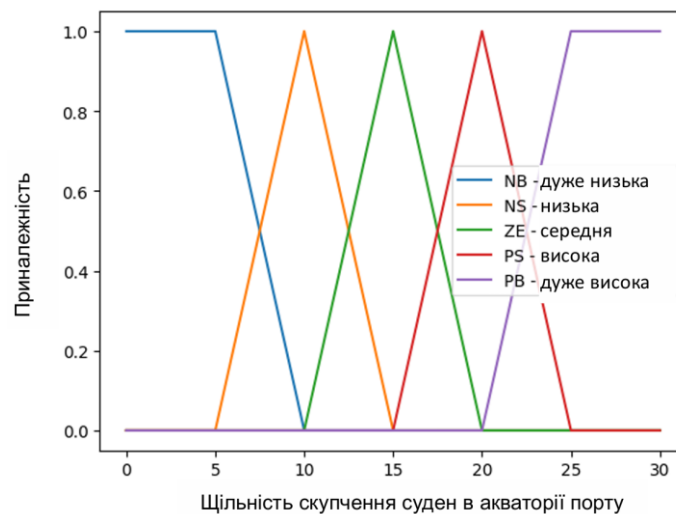


Рисунок 2.8 – Графічне представлення функції приналежності лінгвістичної змінної «Щільність скупчення суден в акваторії порту»

(Джерело – розроблено автором)

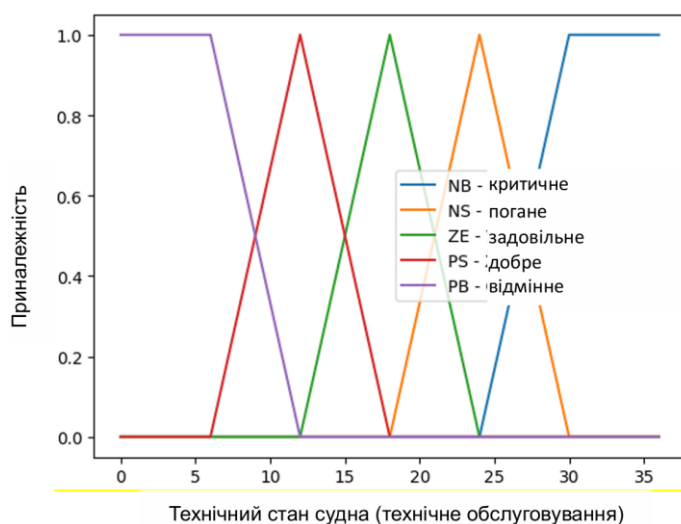


Рисунок 2.9 – Графічне представлення функції приналежності лінгвістичної змінної «Технічний стан судна (технічне обслуговування)»
(Джерело – розроблено автором)

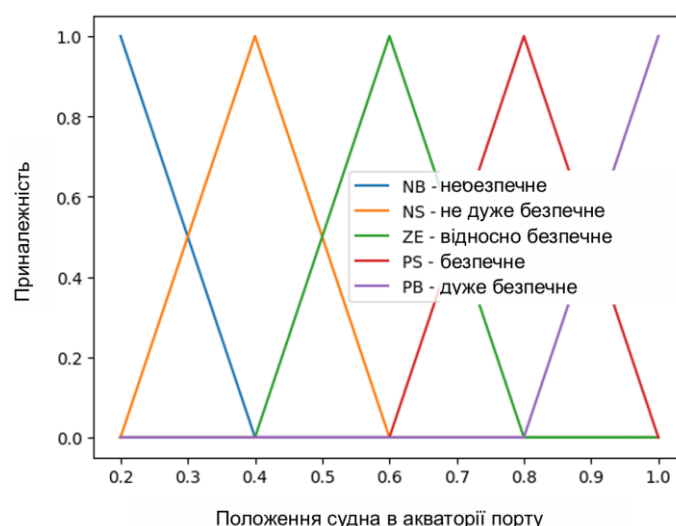


Рисунок 2.10 – Графічне представлення функції приналежності лінгвістичної змінної «Положення судна в акваторії порту»
(Джерело – розроблено автором)

Формалізуємо процес визначення класів НС на судні в акваторії порту, представивши імплікативні відображення лінгвістичними правилами (табл. 2.19). На даних з цієї таблиці побудуємо таблиці лінгвістичних правил для кожного правила, ґрунтуючись на введених операціях $+: S \times S \rightarrow S$ і $\times: \Omega \times S \rightarrow S$.

Таблиця 2.19 – Система продукцій, що представляє відображення $R: x_1 \times x_2 \rightarrow Y$
(Джерело – розроблено автором)

Щільність скупчення суден в акваторії порту (x_1)	Технічний стан судна (технічне обслуговування) (x_2)	Положення судна в акваторії порту (Y)
<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>
<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>
<i>ZE</i>	<i>NB</i>	<i>ZE</i>
<i>PS</i>	<i>NB</i>	<i>ZE</i>
<i>PB</i>	<i>NB</i>	<i>PS</i>
<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>ZE</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>
<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>
<i>PB</i>	<i>NS</i>	<i>PS</i>
<i>NB</i>	<i>ZE</i>	<i>NS</i>
<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>NS</i>
<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>
<i>PS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>
<i>PB</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>
<i>NB</i>	<i>PS</i>	<i>NB</i>
<i>NS</i>	<i>PS</i>	<i>NB</i>
<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>PB</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>
<i>NB</i>	<i>PB</i>	<i>NB</i>
<i>NS</i>	<i>PB</i>	<i>NB</i>

Так, для відображення $PB \times PS \rightarrow PB$ алгебраїчна модель має вигляд $PB = A \times PB + B \times PS$. Зробимо операцію додавання $A \times PB$ і $B \times PS$, яку розуміють у значенні введеної алгебри.

З табл. 2.20 видно, що операції додавання $A \times PB + B \times PS$, де результати операцій множення $A \times PB$ і $B \times PS$, $A, B \in \Omega$ наведені в табл. 2.21, дають результат PB за кількох значень коефіцієнтів A і B : $A = (0, 1/2, 1, 2), B = (-1/2, 0, 1/2, 1, 2)$. Тоді один із можливих алгебраїчних виразів, що описують дане відображення R , має вигляд

$$Y = 1/2 \cdot x_1 + 1/2 \cdot x_2.$$

Таблиця 2.20 – Операція множення $A \times PB, B \times PS$

(Джерело – розроблено автором)

$\times: \Omega \times S \rightarrow S$	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
-2	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>ZE</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>
-1	<i>PB</i>	<i>PS</i>	<i>ZE</i>	<i>NS</i>	<i>NB</i>
-1/2	<i>PS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>NS</i>
0	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>
1/2	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>
1	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
2	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>ZE</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>

Таблиця 2.21 – Результируюча таблиця лінгвістичних правил

(Джерело – розроблено автором)

A\B	-2	-1	-1/2	0	1/2	1	2
-2	15,16	15	12	11,12	5,10,12	4,5,6,9, 10,17	4,5,9,10, 14,17
-1		16	12,15	11,12	5,12	4,5,6, 10,17	4,5,7,9, 10,14,17
-1/2	9,10, 21,22	10,21	6,12,16	6,11,12,15,16	6,12,16	1,5,7, 17,25	1,2,4,5,14, 17,19,24,25
0	4,5,9,10	5,6,10,22	12,16,21	11,12,15,16	1,12,16, 25	2,7,17, 20,24	14,17, 19,20
1/2	4,5,6,9, 10,23	4,5,10,23	2,5,12,16, 22,23,24	1,2,11,12, 15,16,21, 22,23,24,25	2,12,16, 22,23,24	7,16,17, 20,23	14,17,19, 20,23
1	3,4,5, 9,10	2,3,4,5, 9,10,24	1,3,4,5,7, 10,12,25	3,4,5,7,11,12	3,4,7,12, 15,20,21	3,16,17, 19,20,22	3,14,17,20
2	3,4,5,8, 9,10,18	2,3,4,5,7,8, 9,10,18,24	1,3,4,5,8,9,10, 12,18,19,25	3,4,5,8,9,10, 11,12,18,19,20	3,4,8,9,12, 18,19,21	3,8,15, 17,18,22	3,8,14,15, 16,17,18

Аналогічно отримуємо інші таблиці лінгвістичних правил, що описують визначення ЛЗ «Положення судна в акваторії порту». Складаємо результируючу таблицю лінгвістичних правил і записуємо алгебраїчний поліном (див. табл. 2.22) Аналіз отриманих таблиць показав, що лише 11 правил мають повний вплив на процес визначення змінної «Положення судна в акваторії порту». Отже, БЗ, що описує процес визначення вказаної змінної і складається з 25 правил, необхідно зменшити (редувати) до 11 правил:

IF $x_1 = \text{NB}$ AND $x_2 = \text{NB}$ THEN $Y = \text{NS}$;
 IF $x_1 = \text{NB}$ AND $x_2 = \text{NS}$ THEN $Y = \text{NS}$;
 IF $x_1 = \text{ZE}$ AND $x_2 = \text{NB}$ THEN $Y = \text{ZE}$;
 IF $x_1 = \text{ZE}$ AND $x_2 = \text{NS}$ THEN $Y = \text{ZE}$;
 IF $x_1 = \text{PS}$ AND $x_2 = \text{NB}$ THEN $Y = \text{ZE}$;
 IF $x_1 = \text{PS}$ AND $x_2 = \text{NS}$ THEN $Y = \text{ZE}$;
 IF $x_1 = \text{PB}$ AND $x_2 = \text{NB}$ THEN $Y = \text{PS}$;
 IF $x_1 = \text{PB}$ AND $x_2 = \text{NS}$ THEN $Y = \text{PS}$;
 IF $x_1 = \text{PB}$ AND $x_2 = \text{ZE}$ THEN $Y = \text{PS}$;
 IF $x_1 = \text{PB}$ AND $x_2 = \text{PS}$ THEN $Y = \text{PS}$;
 IF $x_1 = \text{PB}$ AND $x_2 = \text{PB}$ THEN $Y = \text{PS}$;

$$\Rightarrow Y = 1/2 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 ;$$

IF $x_1 = \text{NB}$ AND $x_2 = \text{ZE}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NB}$ AND $x_2 = \text{PS}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NB}$ AND $x_2 = \text{PB}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NS}$ AND $x_2 = \text{ZE}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NS}$ AND $x_2 = \text{PS}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NS}$ AND $x_2 = \text{PB}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{ZE}$ AND $x_2 = \text{NB}$ THEN $Y = \text{ZE}$;
 IF $x_1 = \text{ZE}$ AND $x_2 = \text{NS}$ THEN $Y = \text{ZE}$;
 IF $x_1 = \text{PS}$ AND $x_2 = \text{ZE}$ THEN $Y = \text{PB}$;
 IF $x_1 = \text{PS}$ AND $x_2 = \text{PS}$ THEN $Y = \text{PB}$;
 IF $x_1 = \text{PS}$ AND $x_2 = \text{PB}$ THEN $Y = \text{PB}$;

$$\Rightarrow Y = 2 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 ;$$

IF $x_1 = \text{NB}$ AND $x_2 = \text{ZE}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NB}$ AND $x_2 = \text{PS}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NB}$ AND $x_2 = \text{PB}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NS}$ AND $x_2 = \text{ZE}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NS}$ AND $x_2 = \text{PS}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{NS}$ AND $x_2 = \text{PB}$ THEN $Y = \text{NB}$;
 IF $x_1 = \text{ZE}$ AND $x_2 = \text{NS}$ THEN $Y = \text{ZE}$;
 IF $x_1 = \text{PS}$ AND $x_2 = \text{ZE}$ THEN $Y = \text{PB}$;
 IF $x_1 = \text{PS}$ AND $x_2 = \text{PS}$ THEN $Y = \text{PB}$;
 IF $x_1 = \text{PB}$ AND $x_2 = \text{PB}$ THEN $Y = \text{PS}$.

$$\Rightarrow Y = 2 \cdot x_1 + (-1/2) \cdot x_2 .$$

Аналогічно будуються правила для ЛЗ «Умови плавання судна в акваторії порту» і «Умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах в акваторії порту» і для ЛЗ «Безпека обстановки в акваторії порту» на другому рівні ієрархії системи рівнянь. Тільки 11 правил і 10 правил, відповідно, повністю впливають на процес визначення цих ЛЗ.

Параметри, що визначають ЛЗ «Класи НС на судні в акваторії порту», – змінні «Безпека обстановки в акваторії порту» і «Умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах в акваторії порту» (табл. 2.22).

Таблиця 2.22 – Система продукцій, що представляє відображення $R: F \times T \rightarrow D$ (Джерело – розроблено автором)

«Безпека обстановки в акваторії порту» (<i>F</i>)	«Умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах в акваторії порту» (<i>T</i>)	«Класи надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту» (<i>D</i>)
<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>d₄</i>
<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>d₄</i>
<i>ZE</i>	<i>NB</i>	<i>d₅</i>
<i>PS</i>	<i>NB</i>	<i>d₃</i>
<i>PB</i>	<i>NB</i>	<i>d₂</i>
<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>d₄</i>
<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>d₄</i>
<i>ZE</i>	<i>NS</i>	<i>d₅</i>
<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>d₃</i>
<i>PB</i>	<i>NS</i>	<i>d₂</i>
<i>NB</i>	<i>ZE</i>	<i>d₄</i>
<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>d₄</i>
<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>d₅</i>
<i>PS</i>	<i>ZE</i>	<i>d₃</i>
<i>PB</i>	<i>ZE</i>	<i>d₂</i>
<i>NB</i>	<i>PS</i>	<i>d₄</i>
<i>NS</i>	<i>PS</i>	<i>d₄</i>
<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>d₅</i>
<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>d₃</i>
<i>PB</i>	<i>PS</i>	<i>d₁</i>
<i>NB</i>	<i>PB</i>	<i>d₄</i>
<i>NS</i>	<i>PB</i>	<i>d₄</i>
<i>ZE</i>	<i>PB</i>	<i>d₅</i>
<i>PS</i>	<i>PB</i>	<i>d₃</i>
<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>d₁</i>

Належність чіткого значення розглянутих лінгвістичних змінних задано відповідними функціями приналежності (рис. 2.11-2.13).

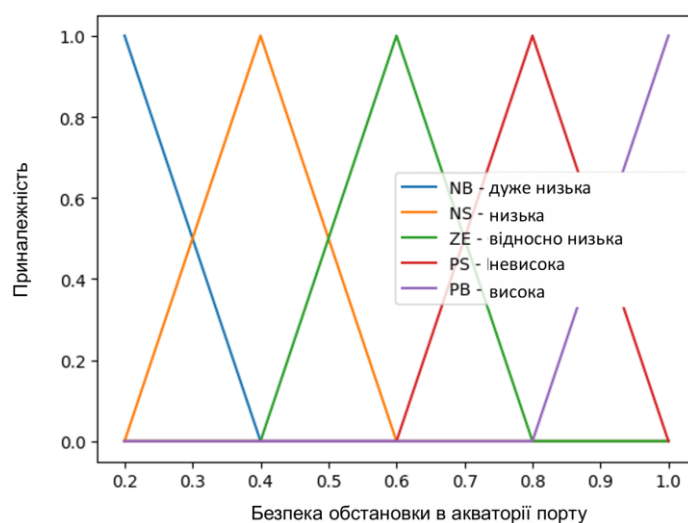


Рисунок 2.11 – Графічне представлення функції приналежності лінгвістичної змінної «Безпека обстановки в акваторії порту»
(Джерело – розроблено автором)

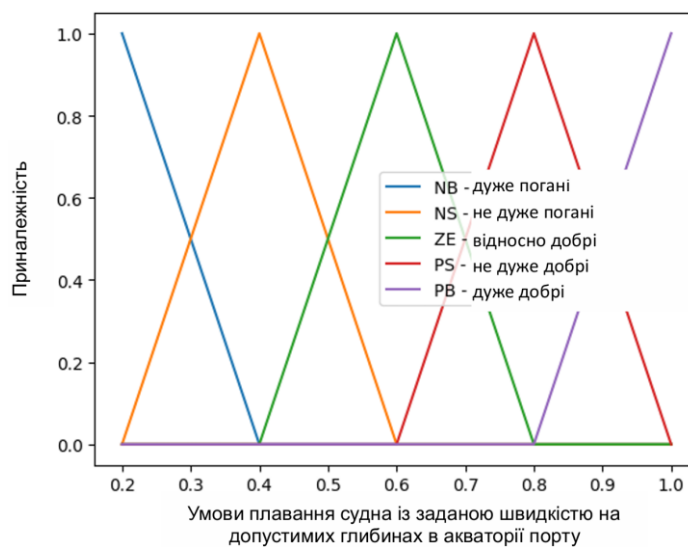


Рисунок 2.12 – Графічне представлення функції приналежності лінгвістичної змінної «Умови плавання судна із заданою швидкістю на допустимих глибинах в акваторії порту»
(Джерело – розроблено автором)

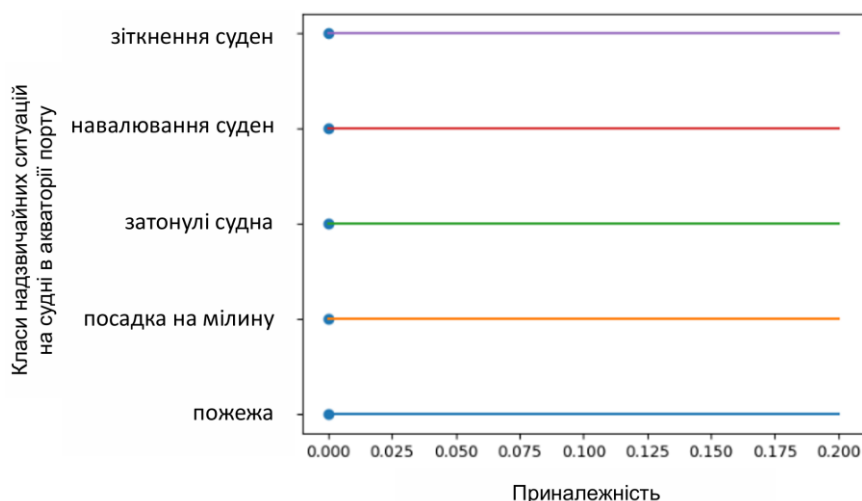


Рисунок 2.13 – Графічне представлення функції приналежності лінгвістичної змінної «Класи надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту»
(Джерело – розроблено автором)

Лінгвістична змінна «Класи надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту» (D) описується такими точковими терм-множинами:

d_1 – надзвичайна ситуація «Зіткнення суден»;

d_2 – надзвичайна ситуація «Навалювання суден»;

d_3 – надзвичайна ситуація «Затонулі судна»;

d_4 – надзвичайна ситуація «Посадка на міліну»;

d_5 – надзвичайна ситуація «Пожежа».

Через недоцільність проведення алгебраїчної апроксимації визначимо клас НС на судні в акваторії порту шляхом логічного виведення (наприклад, Сугено 0-го порядку).

Отже, метод автоматизованої класифікації НС на судні (рис. 2.14.) забезпечує подання й оброблення нечітких даних і знань; опрацювання для встановлення класу НС у визначеній послідовності множини продукційних правил як результату розв'язку багатокритеріальної оптимізаційної задачі у нечіткій постановці. Автоматизація процесу встановлення класу НС на судні в акваторії порту досягається організацією нечіткого логічного виведення.

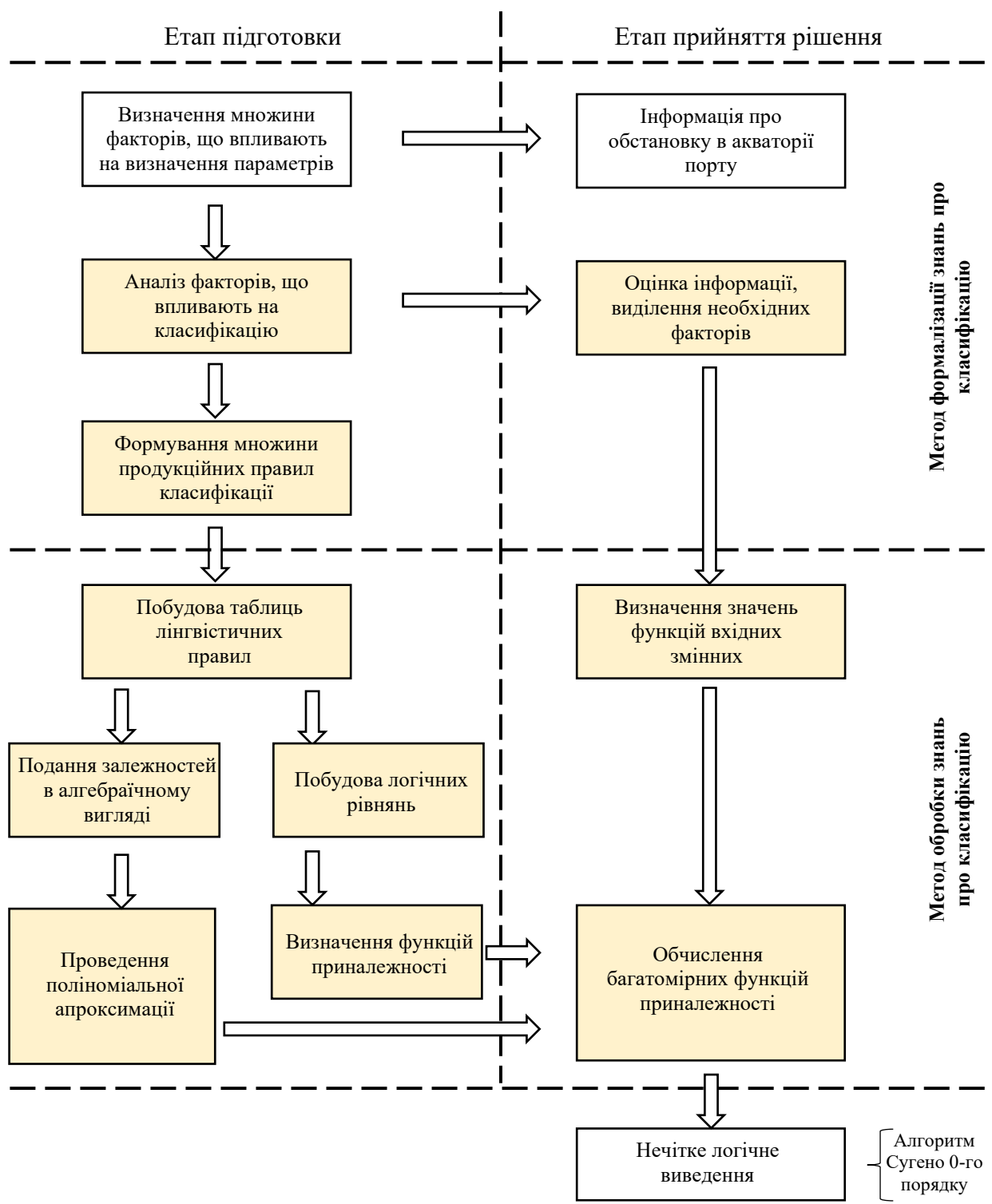


Рисунок 2.14 – Узагальнена структура методу автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту
(Джерело – розроблено автором)

Сутність відповідного методу автоматизованої класифікації полягає у формуванні множини продукційних правил визначення класів НС та сумісному використанні процедури алгебраїчної апроксимації знань і методу нечіткої ідентифікації, а також методу нечіткого логічного виведення.

Висновки до другого розділу

1. Сформовано множину факторів, що розташовані у порядку зменшення значень нечітких бінарних відношень несуворої переваги і визначають класифікацію надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту. Недомінуючість факторів оцінюється шляхом аналізу набору недетермінованих елементів суворої переваги. Найбільший вплив на результат визначення типу надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту має порядок елементів множини за рівнями недомінуючості. Для впорядкування набору недетермінованих елементів суворої переваги розраховується значимість компонент функції приналежності.

2. Для формування продукційних правил, застосовуваних для проведення класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту передбачена покрокова процедура. По-перше, проводиться експертиза, дані якої представляються матрицею бінарних відносин значень функцій приналежності елементів області визначення лінгвістичних змінних. По-друге, за результатами оброблення отриманих експертних даних обчислюються функції приналежності нечітких змінних. По-третє, після розрахунку функцій приналежності нечітких змінних лінгвістичних змінних виконується процедура формування продукційних правил класифікації надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту за прогнозованими або поточними значеннями бажаних чинників.

3. Для порівняння класів розпізнаваних надзвичайних ситуацій на судні в акваторії порту методом аналізу ієрархій розв'язується багатокритеріальна задача оптимізації. Згідно методу аналізу ієрархій, проводиться якісний

порівняльний аналіз показників, що характеризують прогнозовану обстановку, і дії судна, щодо їхньої важливості стосовно мети класифікації. Обчислення відносного рангу кожного класу за кожним із чинників ґрунтується на результатах добутку ваги оцінки класу за деяким показником на вагу цього показника. Сума значень, отриманих для кожного класу за всіма факторами, є шуканим відносним рангом класу надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту.

4. Для виявлення класів надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту базовою математичною моделлю прийнято і доведено логіко-лінгвістичну продукційну ієрархічну модель. Характерною особливістю подання інформації у цієї моделі є використання взаємопов'язаних таблиць лінгвістичних правил. Вони виступають як основна форма запису правил, що дає змогу відтворювати й зв'язувати попередні, поточні та майбутні стани процесу класифікації.

5. Безпосередньо сама логіко-лінгвістична ієрархічна продукційна модель має обмежені можливості щодо контролю протікання процедури визначення класів надзвичайної ситуації на судні. Для подолання цієї складності розроблено алгебраїчну модель, найбільш схожу до лінгвістичного опису. Алгебраїчна модель дає змогу досліджувати слабо формалізований процес із погляду формальної алгебри. У випадках, коли за певними причинами за необхідності зменшення кількості продукційних правил обґрунтовано застосування методу нечіткої ідентифікації.

6. Удосконалено метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту в умовах детерміністичної невизначеності, в якому, на відміну від відомих, фактори, що описують нечітке середовище під час визначення класів ситуацій, подаються множиною продукційних правил, оброблення яких здійснюється з використанням процедури алгебраїчної апроксимації та нечіткої ідентифікації розробленого апарату формалізації.

Результати, викладені в цьому розділі, опубліковано в роботах [40, 44].

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ОБСТАНОВКИ І РОЗВ’ЯЗАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ НА СУДНІ У ПОРТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У попередньому розділі запропоновано метод автоматизованого визначення класів надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту. Він відрізняється застосуванням процедури алгебраїчної апроксимації та нечіткої ідентифікації для оброблення множини продукційних правил, якими описується нечітке середовище. Для порівняння класів надзвичайних ситуацій застосовано метод аналізу ієрархій, в якому виконується якісний аналіз показників стосовно мети класифікації.

Після визначення класів надзвичайної ситуації на судні розроблено інтелектуальні методи розв’язання конкретних виниклих проблем: пожежа у нафтовому терміналі порту, посадка на міліну, ризики при проведенні вантажно-розвантажувальних робіт, екстрене залишення судном порту.

3.1 Інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту

Розроблено архітектуру та основні алгоритми функціонування СППР для управління НС у порту. Персоноїди – абстрактні інтелектуальні агенти (ІА) – складають формально-логічний базис запропонованої системи. Крім таких відомих властивостей, як інкрементація, повторюваність, рекурсивність, ітеративність, персоноїд має складну ІРК(Information, Preferences, Knowledge)-архітектуру інтелекту, реалізовану у вигляді ієрархічних БЗ. Використання НМ як метода подання знань розширило можливості опису предметної області і спростило процедуру логічного виведення. Стани середовища формально описані атрибутами об’єкту у вигляді нечітких множин. На всіх рівнях

ієрархічних баз знань результат логічного виведення, представлений нечіткою множиною, автоматично передається до наступного рівня ієрархії. Особі, яка приймає рішення, пропонується можливий варіант реакції на виниклу ситуацію з урахуванням наявних ресурсів.

3.1.1 Обґрунтування структури системи підтримки прийняття рішень

Ініціатива глобальної інформаційної мережі з управління надзвичайними ситуаціями GEMINI (Global Emergency Management Information Network Initiative) стала закономірною реакцією науковців й інженерної спільноти на екологічні та виробничі виклики, зокрема на морі. Об'єднання завдяки GEMINI локальних СППР сприяє парируванню викликів у різноманітних НС [185, 186]. У разі виникнення надзвичайних ситуацій у порту управлінський інтелектуальний вузол СППР (MINDES – Managerial Intelligent Node for Decisional Emergency Support) задіюється в усіх комп'ютеризованих вузлах мережі управління.

Зниженню ролі людського фактору під час прийняття рішень у НС сприяла програмна реалізація за технологією ІА [187-189].

Будучи інтелектуальною системою, MINDES здатен моделювати надзвичайні ситуації й адекватну та оперативну реакцію ОПР на них. Цей управлінський вузол для досягнення мінімізації негативних наслідків від НС задовольнятиме таким вимогам:

- 1) функціонування в режимі реального часу;
- 2) обробка різноманітних даних, що надходять з усіх доступних джерел;
- 3) наявність зручного користувацького інтерфейсу для роботи підготовленого користувача без допомоги професійних програмістів;
- 4) можливість формування різноманітних надзвичайних ситуацій з метою проведення постійних тренувань з командою судна.

Для задоволення цих вимог СППР будується за технологію ІА.

3.1.1.1 Обґрунтування обрання апарату формалізації системи підтримки прийняття рішень

Традиційно математичну основу СППР складають обчислення предикатів, різні логіки, нечіткі множини, модні у теперішній час нейронні мережі тощо. Для подолання труднощів, з якими стикається інтелектуальна СППР, що використовує агенти при розв'язанні надзвичайних ситуацій і ролей ОПР [6-8], задіяно об'єктно-орієнтований підхід [187].

Відповідно до цього підходу використовується IDA (Intelligent Decision Advisor – інтелектуальний радник з прийняття рішень). Він застосовує абстрактні ІА з ієрархічною багаторівневою архітектурою і досить складним інтелектом – персоноїди. Останні подаються у вигляді монади – трикутника ІРК [190-192].

Кожен стан попередньо обраної області втручання в персоноїді є *інформацією*.

Впорядкування станів області втручання за суб'єктивною (експертною) шкалою важливості здійснюється за допомогою відносних *правил (вподобань)*.

За допомогою *знань* задана інформація перетворюється в іншу [187, 193].

Взагалі система, побудована за такими принципами, дозволяє на основі наявної інформації, знань і правил досягати нові цілі у нових обставинах [190].

Для управління надзвичайними ситуаціями в нафтовому порту запропоновано ІСППР. Її прототипом є IDA як системний підхід до розробки ядра системи на основі загальної моделі абстрактних ІА [194].

Функціональне ядро IDA утворюють три прості агенти: DirectAdvisor (безпосередній радник), InfoProvider (постачальник інформації) і IDAPlanner (інтелектуальний радник із планування прийняття рішень).

Безпосередній радник організує взаємодію з користувачем і зовнішнім середовищем, в якому розвивається надзвичайна ситуація.

Постачальник інформації керує потоками інформації і цілями втручання.

IDAPlanner планує втручання, адекватне надзвичайної ситуації, що розвивається. У рамках архітектури ІРК запропоновані конкретні завдання

агентів, керованих інформацією і знаннями, та перевірені їх властивості. Після кожної нової значущої події, що виникає під час розвитку надзвичайної ситуації, такий агент пропонує дії або план.

При проектуванні системи застосовано уніфіковану мову моделювання UML (Unified Modelling Language). Планування дій з управління НС базується на марковському процесі прийняття рішень MDP (Markov Decision Process) і міркуванні на основі випадку CBR (Case-Based Reasoning). Система IDA адаптована до різних ролей менеджерів з НС завдяки загальній агентній моделі та об'єктно-орієнтованій концептуалізації. Отримані результати підтвердили правильність обраної архітектури ІРК і можливість створення й ефективного функціонування СППР для управління надзвичайними ситуаціями.

Як правило, надзвичайні ситуації у розглянутій предметній області розвиваються миттєво. Тому СППР повинна виробляти план дій або їх послідовності у режимі реального часу одразу після настання кожної нової значущої події. Ці функції виконують InfoProvider та Planner, використовуючи інформацію або знання відповідно. Обмежені можливості агента PreferenceManager дещо знижують результативність агентів InfoProvider та Planner. Підвищити можливості агента PreferenceManager можна заміною їх фіксованим набором можливих цілей втручання [195]. Але тут виникає функціональний парадокс. Розширення функціоналу інтелектуальних агентів InfoProvider та Planner водночас суттєво зменшує спроможності самої СППР.

Для опису станів об'єктів для домену нафтового порту у роботі [194] застосовано кінцевий набір атрибутів об'єктів, які моделюють їх особливості і набувають дискретних значень (2, 4 або 10 – залежно від типу змінної). Так, температура резервуара представляється булевою змінною залежно від співвідношень поточного і критичного значень, а рівень покриття об'єкта піною – цілим числом від 0 (немає піни) до 3 (повністю покритий) (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Дескриптивні знання про домен IDA

(Джерело – за матеріалами [194])

Тип / Об'єкт	Док	Цистерна	Танкер	Стояк
4	опромінений	опромінений	опромінений	опромінений
В	розлитий	розлитий	розлитий	розлитий
В	температура	температура	температура	температура
4	пінне покриття	пінне покриття	пінне покриття	пінне покриття
В	пожежна безпека	пожежна безпека	пожежна безпека	пожежна безпека
10	розмір події	розмір події	розмір події	розмір події
В	–	ступінь вогню	–	–
4	–	рівень продукту	рівень продукту	–
В	–	–	танкер на причалі	–
В	–	–	в доці	–
В	забруднений	–	–	–
В	доступ до причалу	–	–	–

Примітка: **В** – булева, **4**, **10** – кількість дискретних значень, яких може набувати змінна

Але запропонований у [194] опис змінних кількістю дискретних значень (від 2 до 10) є складним при формалізації об'єктів ПО та проведенні логічного виведення. По-перше, опис знань важко розширити через жорсткі прописані кількісні значення змінних. По-друге, для розширення описових знань до моделі просто додаються нові змінні стану. По-третє, проведення логічного виведення у загальному випадку вимагає застосування елементів багатозначної логіки присутності та введення однозначних порогів. Подолання вказаних обмежень можливо шляхом подання декларативних знань про домен IDA нафтового порту нечіткими множинами з певними ФП.

3.1.1.2 Розробка архітектури СППР управління надзвичайною ситуацією у порту та основних алгоритмів її функціонування

Нехай агент – функціональна програмна одиниця, здатна автономно виконувати заздалегідь визначений клас завдань. У загальному випадку клас агентів залежить від програмного середовища реалізації, розв'язуваних завдань, автономності, можливостей передбачуваного втручання тощо [188]. ІА має

високий ступінь автономності, може самостійно змінювати цілі втручання, навчатися і планувати дії для досягнення поставленої мети функціонування.

Персоноїд складається з трикутних модулів ІРК (інформації, правил і знань), утворює монади (рисунок 3.1) [187] і функціонує за циклічним механізмом. У певному домені M нові дані змінюють інформацію I , що сприяє активації правил P , які ініціюють мету D , яка, у свою чергу, активує знання K , які модифікують інформацію I .

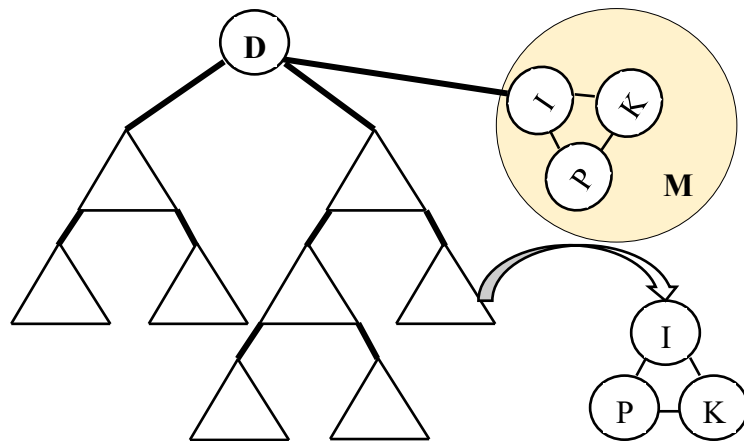


Рисунок 3.1 – Загальна ІРК-архітектура інтелектуального агента
(Джерело – за матеріалами [194])

Якщо знання K і правила P не можуть виконати завдання персоноїда, то вони виробляють дані для трикутника вищого рівня і самі стають новим доменом. Отже, для кожної монади БЗ фактично є зовнішньою сферою діяльності на нижчому метарівні. А загальна ІРК-архітектура ІА передбачає використання ієрархічних нечітких БЗ з ієрархічною процедурою логічного виведення. Її результатом є нечітка множина, що безпосередньо використовується у нечіткому виведенні на наступному рівні ієрархії. На проміжних етапах у знайдених нечітких змінних ФП не визначаються.

Переваги ієрархічної процедури нечіткого логічного виведення:

- економічність при вирішенні глобального завдання;
- стійкість – малі зміни вхідних параметрів відбиваються малим ефектом на виході;

– гнучкість – додавання параметрів принципово не змінює характеристики добре структурованої ієрархії;

– об’єктивність;

– адекватний опис порівняно невеликою кількістю нечітких правил багатовимірних залежностей типу «входи – вихід». Так, якщо лінгвістична оцінка змінних має у складі п’ять термів, то для задавання залежності $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ однієї базою знань необхідно $5^6=15625$ правил. Для ієрархічної БЗ, що описує ту саму залежність і представлена трьома базами знань, максимальна кількість нечітких правил дорівнює $5^2+5^3+5^3=275$ (рис. 3.2). Причому, це – «короткі» правила з двома-трьома вхідними змінними. Кількість правил у традиційних БЗ більша за їхню кількість в ієрархічних приблизно в 60 разів.

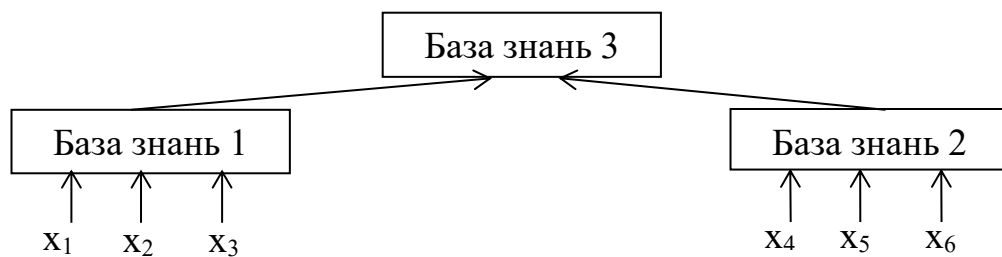


Рисунок 3.2 – Ієрархічна база знань
(Джерело – розроблено автором)

Таким чином, подання експертних знань природною мовою зручно здійснювати нечіткою ієрархічною моделлю.

Одночасно агрегуючи у собі образ реальної НС, базу правил і БЗ агента, персоноїд може застосовуватися у різних абстрактних предметних областях на різних метарівнях мислення. Отже, базову онтологічну платформу персоноїда складають область застосування, абстрактний ІА, інформація, правила і знання.

Для повноцінного функціонування системи недостатньо введення лише набору можливих цілей втручання. Також необхідно провести моделювання та формалізацію доменів НС, представивши їх у вигляді об’єктів з подіями,

ресурсами та фактами.

Основним функціональним ядром запропонованої СППР є агенти MainAdvisor, InfoProvider і ActionPlanner [42]. MainAdvisor організує взаємодію з користувачем і зовнішнім середовищем, в якому розвивається надзвичайна ситуація, шляхом обробки інформації, що надійшла від InfoProvider. ActionPlanner планує необхідні й адекватні дії для зменшення ризиків переростання надзвичайної ситуації у катастрофічну. Динаміка розвитку НС проявляється у настанні послідовності нових значущих подій, на яку ActionPlanner виробляє адекватний план на основі знань із відповідної БЗ.

Таким чином, на рисунку 3.3 наведено функціональну декомпозицію персоноїда на прототипи агентів системи для верифікації функцій управління інформацією та планування.

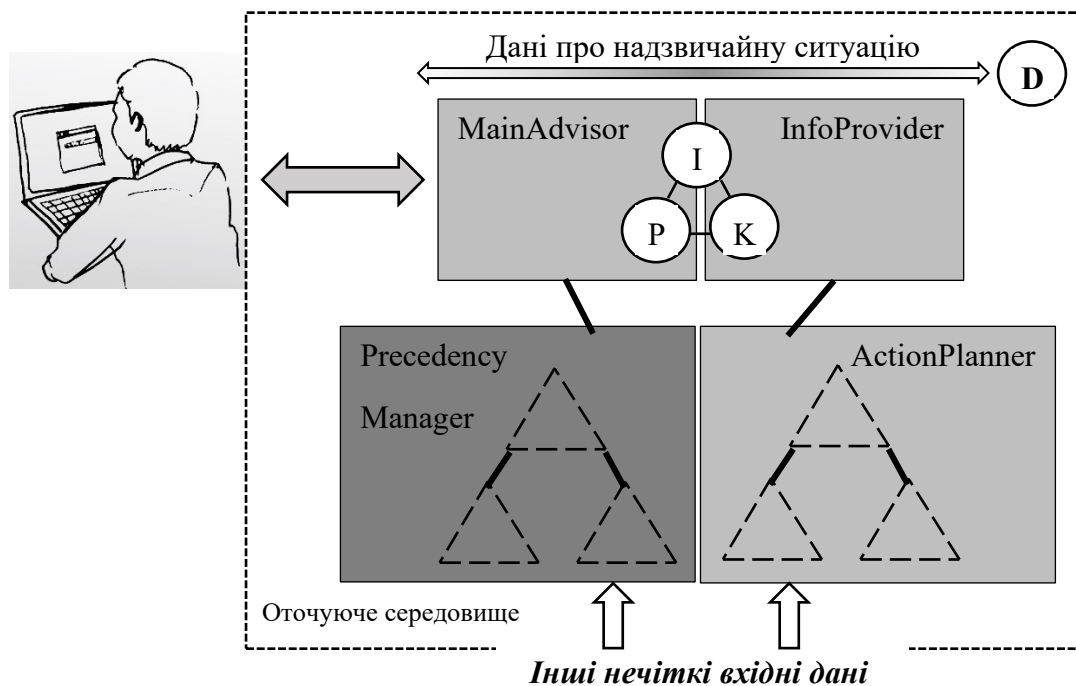


Рисунок 3.3 – Загальна архітектура СППР на основі ІРК-структури інтелектуального агента
(Джерело – розроблено автором)

3.1.2 Розробка інтелектуального методу аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту

Нехай у нафтовому терміналі порту сталася НС, яка описується доменом, інформація про кожен глобальний або локальний стан якого або їх зміни надходить до менеджера [191].

Початковий стан нафтового терміналу порту є аварійним: у 4-му нафтовому резервуарі S_4 виникла пожежа, на інші резервуари S_1 - S_3 , S_5 , S_6 , доки B_1 - B_3 і нафтові танкери P_1 , P_2 пожежа поки не поширилася (рисунок 3.4).

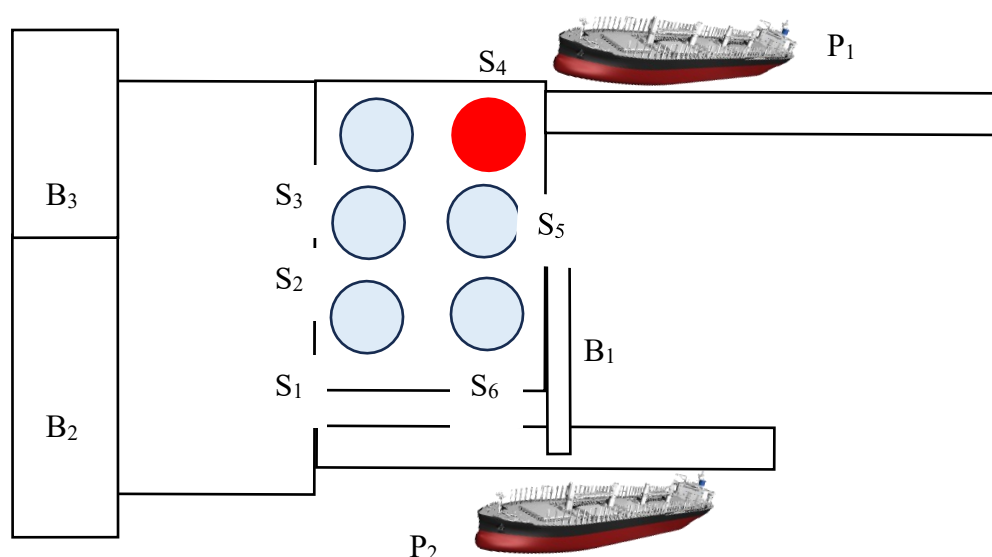


Рисунок 3.4 – Пожежа у резервуарі у нафтовому терміналі порту
(Джерело – розроблено автором)

Стан, що характеризується прийнятністю для керівника порту, зупиненням процесу генерації ризиків, пом'якшенням кризових подій, мінімізацією загальних втрат та запобіганням розростанню аварії, називається безпечним. Головною метою функціонування СППР при виникненні пожежі на одному з нафтових резервуарів у порту є зміна початкового стану на безпечний.

Для цього СППР видає особі, яка приймає рішення, можливий (зазвичай, найкращий) реалізуємий варіант виконання визначеного завдання з

урахуванням власних ресурсів за прийнятими логікою і правилами.

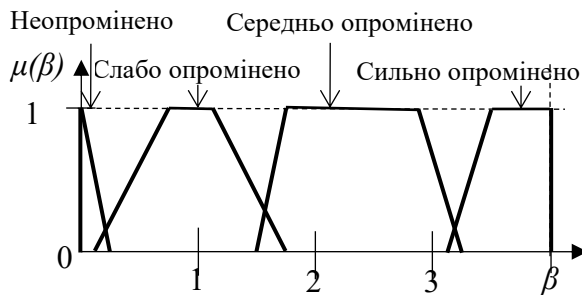
Модель розглянутої аварійної області представимо декларативною (дескриптивною) областю знань KD_j , яка є частиною зв'язків між класами абстрактних об'єктів та їх атрибутів:

$$KD_j: I_i \rightarrow I_{i+1}, \text{ for } i = 1, 2, \dots,$$

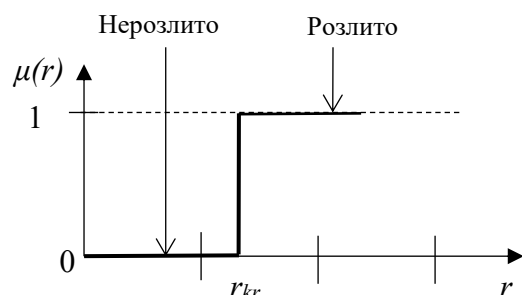
де I_i, I_{i+1} – інформація, яка описує стани аварійної області у різні моменти.

Представимо кожен конкретний елемент предметної області у вигляді екземпляра об'єкта або ресурсу. Класами об'єктів предметної області нафтового терміналу порту є резервуар, танкер, док або причал.

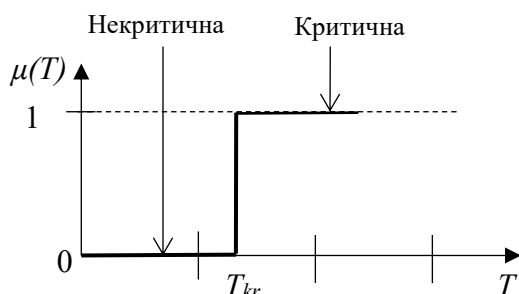
У базовій версії СППР стани середовища описані атрибутами об'єктів типу: $\{\text{Object}_{n.\text{variable}_i}, \text{Object}_{n.\text{variable}_j}, \text{Object}_{n.\text{variable}_k}\}$ з конкретним станом середовища типу: $s = \{\text{Tank}_1.\text{irradiated} = 3, \text{Tank}_1.\text{temperature} = 0, \text{Tank}_1.\text{foamCover} = 0\}$ [194]. Представимо атрибути об'єкту у порядку, наведеному у (див. табл. 3.1), у вигляді нечітких множин (рис. 3.5 а-г) [42].



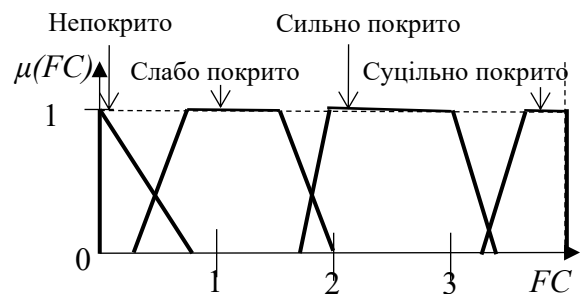
а)



б)



в)



г)

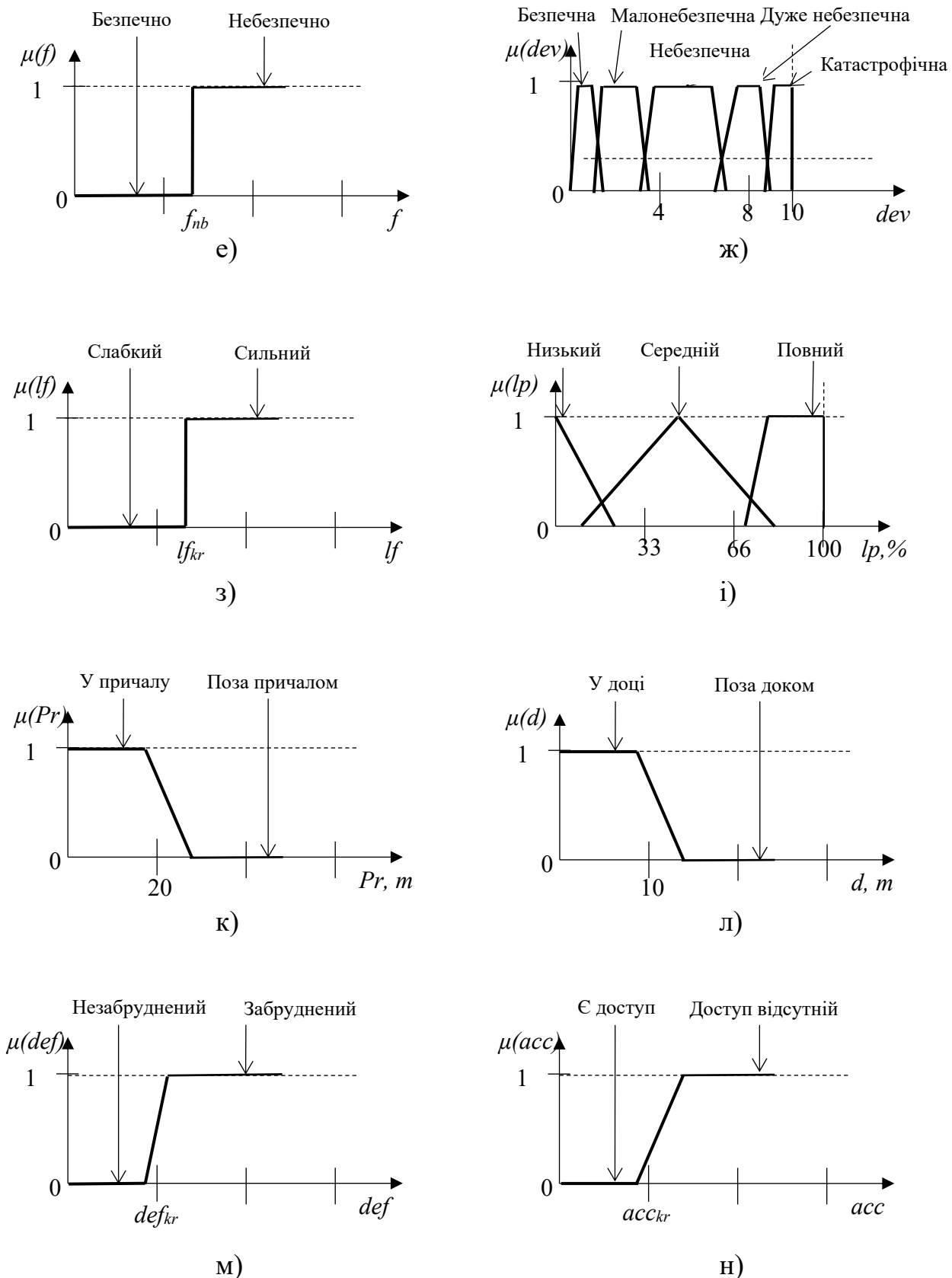


Рисунок 3.5 – Нечіткі функції приналежності параметрів об'єктів при описі надзвичайної ситуації «Пожежа у резервуарі у нафтовому терміналі порту»

(Джерело – розроблено автором)

При виникненні НС відповідний менеджер (E-M'er) виконує певну дію j , спираючись на свої оперативні знання KO_j , показуючи, як змінюється опис предметної області за допомогою інформації до I_i і після I_k виконання дії:

$$KO_j: I_i \rightarrow I_k.$$

Застосовувані ймовірнісні оператори простору станів (ЮПС) [196–198] як розширення набору класичних операторів STRIPS [198], збагачені значеннями ймовірності на кожному переході, у розробленій СППР подаються нечіткими множинами з ФП $\mu(\varepsilon)$ [42].

Тоді ЮПС α є трійкою (φ, ρ, ω) , де φ і ω – кон'юнкції атомної формули ($\chi = \nu$, де $\chi \in X$ – змінний стан, а ν – одне з можливих значень змінної); φ – передумови дії, які повинні бути виконані для застосування оператора α , в результаті чого середовище перейде в стан, описаний постумовою ω з ймовірністю ρ . У пропонованому формалізмі постумова ω описується нечіткою множиною з функцією приналежності $\mu(\varepsilon)$ [42, 46].

Приклад опису складної дії піни, що розтікається по резервуару, за допомогою модифікованих операторів просторів стану наведено у [42].

Дія: Піноутворення на верхньому кільці резервуара при опроміненні, горінні або розливанні

1 Preconditions: $\{obj(T, t) \wedge spilled(T, \text{розливо}) \wedge fireRisk(T, \text{небезпечно}) \wedge foamCover(T, \text{непокрито})\}$

Postconditions: Delete List: $fireRisk(T, \text{небезпечно}) \wedge foamCover(T, \text{непокрито})$

Add List: $(T, 3) \quad fireRisk(T, \text{безпечно}) \wedge foamCover(T, \text{сильно покрито});$

2 Preconditions: $\{obj(T, t) \wedge irradiated(T, \text{середньо опромінено}) \wedge foamCover(T, \text{непокрито})\}$

Postconditions: Delete List: $irradiated(T, \text{середньо опромінено}) \wedge$

foamCover(*T*, непокрито)

Add List: *irradiated*(*T*, середньо опромінено) \wedge
foamCover(*T*, сильно покрито);

3 Preconditions: $\{obj(T, t) \wedge irradiated(T, сильно опромінено) \wedge$
foamCover(*T*, непокрито) $\}$

Postconditions: Delete List: *irradiated*(*T*, сильно опромінено) \wedge
foamCover(*T*, непокрито)

Add List: *irradiated*(*T*, середньо опромінено) \wedge
foamCover(*T*, сильно покрито);

4 Preconditions: $\{obj(T, t) \wedge irradiated(T, сильно опромінено) \wedge$
foamCover(*T*, непокрито) $\}$

Postconditions: Delete List: *irradiated*(*T*, сильно опромінено) \wedge
foamCover(*T*, непокрито)

Add List: *irradiated*(*T*, середньо опромінено) \wedge
foamCover(*T*, сильно покрито).

Для управління надзвичайними ситуаціями СППР виробляє системні дії, що відповідатимуть компетенціям кваліфікованого менеджера. Успішність реалізації таких дій досягається наявністю конкретних ресурсів (підрозділів і засобів) і виконанням розрахунків за такими даними:

- оцінка мінімальної тривалості часу дії;
- відносні змінні стану об'єктів предметної області через здійснений вплив;
- застосовані засоби/ресурси і правила їх використання;
- якісна оцінка вартості дії.

3.1.3 Розроблення архітектури інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень та її складових

Функціональні агенти, що входять до складу ІСППР, (див. рис. 3.3),

реалізовані за допомогою інструменту візуального моделювання Rational Rose з використанням нотації UML [199].

Завдання, автономно виконувані MainAdvisor, InfoProvider, ActionPlanner:

- 1) представляти поточний аварійний стан предметної області;
- 2) постійно оновлювати дані про надзвичайну ситуацію при надходженні нової інформації від агента InfoProvider;
- 3) представляти цілі користувача, повідомлені агентом InfoProvider;
- 4) пропонувати дії або план дій від MainAdvisor для ОПР;
- 5) прогнозувати стан середовища за запитом MainAdvisor або після виконання певної дії.

Агент PrecedencyManager є ключовим і визначає глобальну та локальні цілі функціонування системи [195].

Агент InfoProvider як спільний інтерфейс для користувача СППР та інших агентів, виконує дві основні групи функцій:

1) передача двом іншим агентам поточної інформації про фактичний стан області надзвичайної ситуації та ресурсів, яка зберігається в реляційній БД за запитом від цих агентів. Вся інформація про НС зіставляється з абстрактною областю застосування СППР;

2) оновлення й управління БД за запитом, що дозволяє InfoProvider міркувати на основі цих даних для подання цієї інформації на більш високому рівні абстракції.

У реляційних БД зберігається інформація, цілі й оперативні знання користувача:

Objects – список об'єктів предметної області, розділений на фіксовані класи;

ObjectState – значення атрибутів (станів) об'єкта у будь-який момент часу;

Resources – списки об'єктів ресурсів;

Resource State – значення атрибутів (станів) ресурсу у будь-який момент часу;

List of Goals – перелік правдоподібних цілей локального втручання;

Set of Actions – набір дій (оперативних знань), що відповідають обраним ролям менеджера з надзвичайних ситуацій (E-M'er).

Таблиці БД не є жорстко обмеженими і можуть бути розширені.

База даних виступає важливим компонентом при виконанні ролей кожним агентом у процесі їхньої взаємодії.

По-перше, вона є інтерфейсом для зв'язку з іншими модулями, забезпечуючи єдиний механізм функціонування системи.

По-друге, БД містить абстрактну концептуальну інформацію про НС: можливі факти, дії та цілі, знання про порядок і норми використання ресурсів для кожного класу НС, дані про аналогічні події та динаміку розвитку надзвичайної ситуації (історичні дані).

По-третє, збереження у БД фактичної інформації про надзвичайну ситуацію, екземпляри об'єктів і ресурсів, які задіяні у переведенні НС до поточного нормального стану.

Для ефективного функціонування СППР велике значення мають застосування часових інтервалів, немонотонних міркувань і міркувань за замовчуванням [200-202].

Агент ActionPlanner призначений для планування управління НС або пом'якшення кризових ситуацій за інтерактивною процедурою прийняття рішень Алгоритм взаємодії між ОПР і СППР При виникненні пожежі на танкері в нафтовому терміналі порту наведено на рис. 3.6:

1) ОПР визначає конкретні цілі (підтримання температури сусідніх резервуарів нижче критичних значень або зменшення кількості легкозаймистих рідин поблизу епіцентру пожежі) для утримання під контролем/спостереженням критичної зони порту (сусідні резервуари і судна, територія порту тощо) і недопущення переростання НС в катастрофу.

2) СППР пропонує особі, яка приймає рішення, відповідні управлінські впливи на НС з урахуванням цілей втручання й оцінкою втрат і переваг (відведення танкеру від доку і його вигорання у безпечному місці або гасіння пожежі в доці зі збереженням ризику поширення вогню на інші об'єкти порту).

3) Система відповідає на запит ОПР після виконання кожного управлінського впливу і надає прогноз стану нафтового терміналу порту.

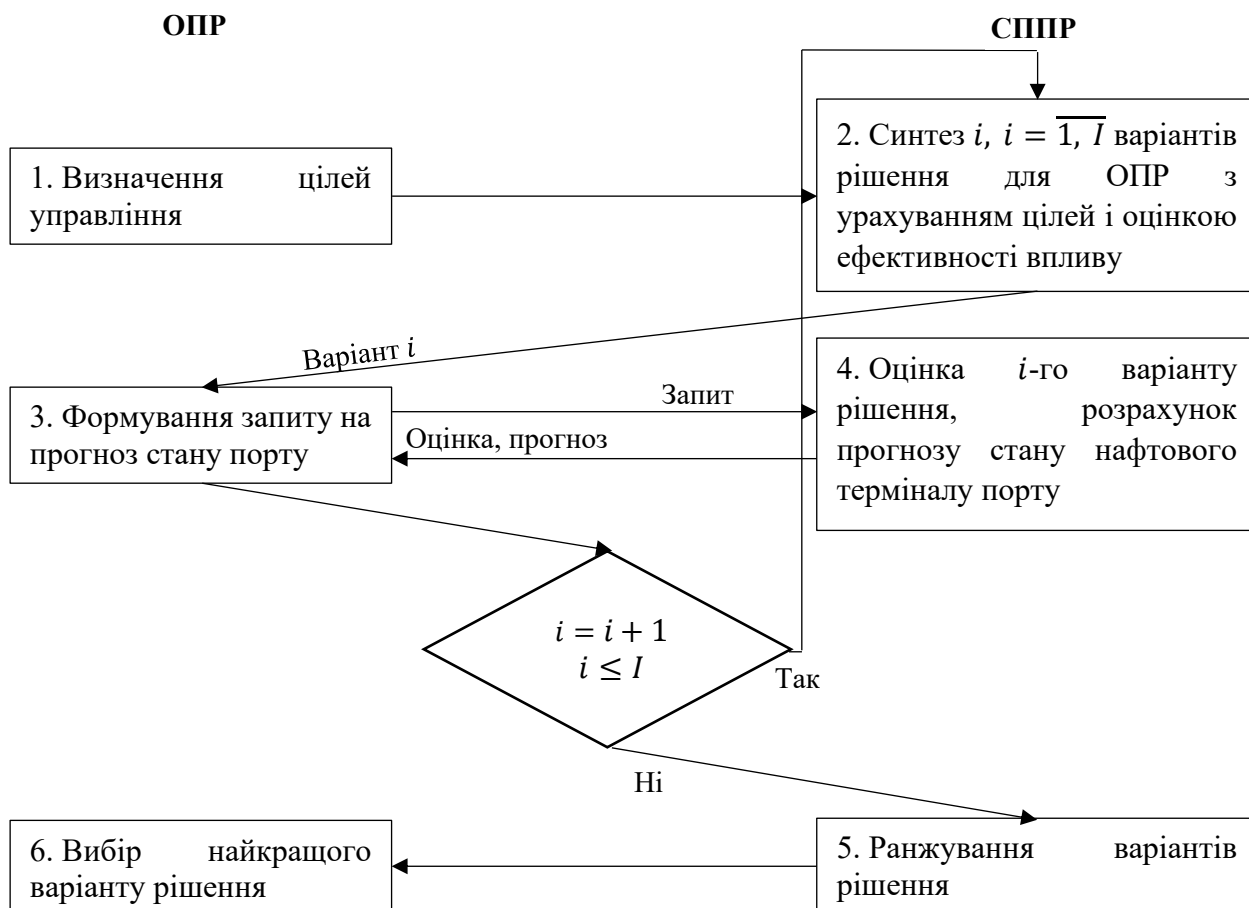


Рисунок 3.6 – Організація взаємодії між особою, яка приймає рішення, і системою підтримки прийняття рішень при виникненні пожежі у нафтовому терміналі порту

(Джерело – розроблено автором)

4) Залежно від можливих наслідків ОПР обирає, яку дію виконати.

Оцінювання вартості дії у межах ІРК-архітектури вважається як активація бази правила переваги на першому метарівні структури персоноїду.

Компетенції агента ActionPlanner полягають у такому:

1) організація обміну інформацією між всіма учасниками процесу вироблення рішень, у т. ч. між агентами;

2) представлення поточного стану нафтового порту й постійне його оновлення при надходженні від агента InfoProvider повідомлень про нові події;

3) висвітлення цілей користувача, повідомлених агентом InfoProvider;

4) планування дії або послідовності дій для MainAdvisor;

5) прогнозування MainAdvisor стану навколишнього середовища після виконання будь-якої заданої дії.

Агент ActionPlanner відповідає загальним *вимогам розширюваності системи* і застосовується у різних прикладних предметних областях. Щодо НС у нафтовому терміналі порту, то додатково виконуватимуться такі вимоги:

1) можливість використання різних підходів (детермінованих, недетермінованих, штучного інтелекту та ін.) для реалізація *компетенцій агента* (мета-знань та мета-правил планувальника) з визначенням ієрархії класів СППР (рисунок 3.7). Клас ActionPlanner (клас C++) реалізовано як комплексний модуль планувальника, який реалізує описані вище компетенції.

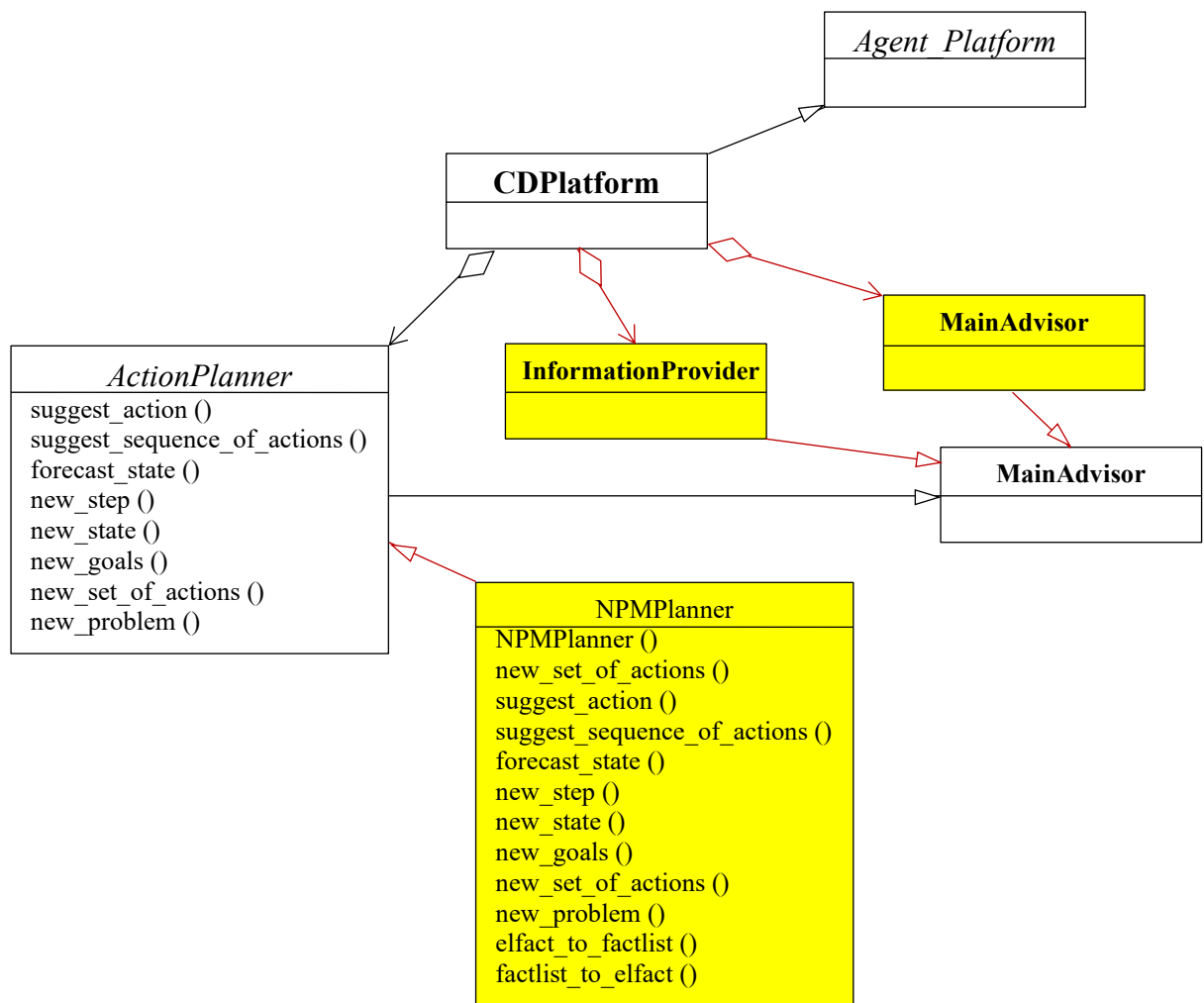


Рисунок 3.7 – Діаграма класів СППР зі спеціалізацією класу NPMPlanner, нотація UML [199]

(Джерело – розроблено автором)

Можливі різні способи реалізації класу *ActionPlanner*. Відомий підхід, де процес планування базується на методах марковських процесів прийняття рішень [203]. Пропонується систему планування СППР реалізувати на методах мережевого планування й управління (Network Planning and Management, *NPM Planner*). Відкритість системи передбачає, що для інших предметних областей можуть бути застосовані інші методи планування;

2) можливість *покращення*, розширення або заміни *моделі предметної області* дозволяє розглядати *ActionPlanner* як функціональний модуль, незалежний від предметної області та типу надзвичайної ситуації. Це досягається окремим зберіганням загальної інформації про надзвичайні ситуації та оперативних знань (доступних дій) у бібліотеці дій.

3.1.4 Удосконалення CBR-методу реагування системи підтримки прийняття рішень на виникнення надзвичайної ситуації у нафтовому терміналі порту

Нафтовий термінал порту є складним динамічним середовищем з великою кількістю різноманітних об'єктів, які, в основному, синхронно функціонують задля досягнення загальної мети. Поведінка кожного об'єкта та їх сукупності залежить від багатьох параметрів, які часто не піддаються безпосередньому спостереженню. Крім того, на них постійно впливають гідрометеорологічні явища та людський фактор. І якщо динаміку руху об'єктів у порту, переміщення величезних об'ємів повітря і водних мас з певним ступенем ймовірності можна розрахувати на основі моделей руху, то поведінка людини, насамперед ОПР, часто є непередбачуваною.

Тому планування дій на випадок НС у нафтовому терміналі порту стикається з величезними труднощами, викликаними, насамперед, представленням динаміки портового середовища детермінованими моделями. У цьому випадку наслідки будь-якої конкретної дії не відомі апріорі, а можуть бути лише прогнозними або ймовірнісними.

Для досягнення конкретних цільових станів планування управління НС застосовується процесно-орієнтований підхід [196, 204, 205], коли цілі локалізуються на більш високому рівні абстракції (мета-рівні). Так, верхня ціль, може складатися у постійному утриманні всієї споруди під контролем.

Ефективність планування управлінням НС залежить від минулого досвіду у прийнятті рішень у подібних випадках та його адаптації до поточного стану. Для цього застосовують методи розв'язання проблем міркуванням за аналогією або на основі прецедентів – CBR [198, 206].

Підґрунтям CBR є пошук найбільш схожого попереднього випадку, його повторне використання, перегляд і збереження (оновлення) даних з урахуванням нового отриманого досвіду та узагальнення/спеціалізація (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Принцип функціонування CBR-методу
(Джерело – розроблено автором)

Застосовуючи CBR-метод, СППР на основі близьких минулих ситуацій може розв'язувати нові завдання. Рішення аналогічного випадку намагаються повторно використати до розв'язання поточної проблеми. Після доопрацювання

і збереження оновлені дані з урахуванням нового отриманого досвіду заносяться до БЗ. Якщо жоден знайдений аналог є недостатньо придатним для повторного використання, передбачається узагальнення (додавання спільності між кількома випадками) або спеціалізація (видалення деталей доти, доки новий випадок не стане схожим на відомий) одного чи кількох випадків.

Основою CBR-підходу є прецедент (case) – структуроване подання накопиченого досвіду у вигляді даних і знань про проблемну ситуацію та її розв'язання шляхом виконання певних дій за допомогою спеціалізованих програмних систем.

Накопичена база прецедентів, специфічна для даної доменної області, дозволить автоматизовано розв'язувати проблеми на основі CBR-підходу.

Функції компонентів NPMPlanner (рис. 3.9) для реалізації CBR-методу:

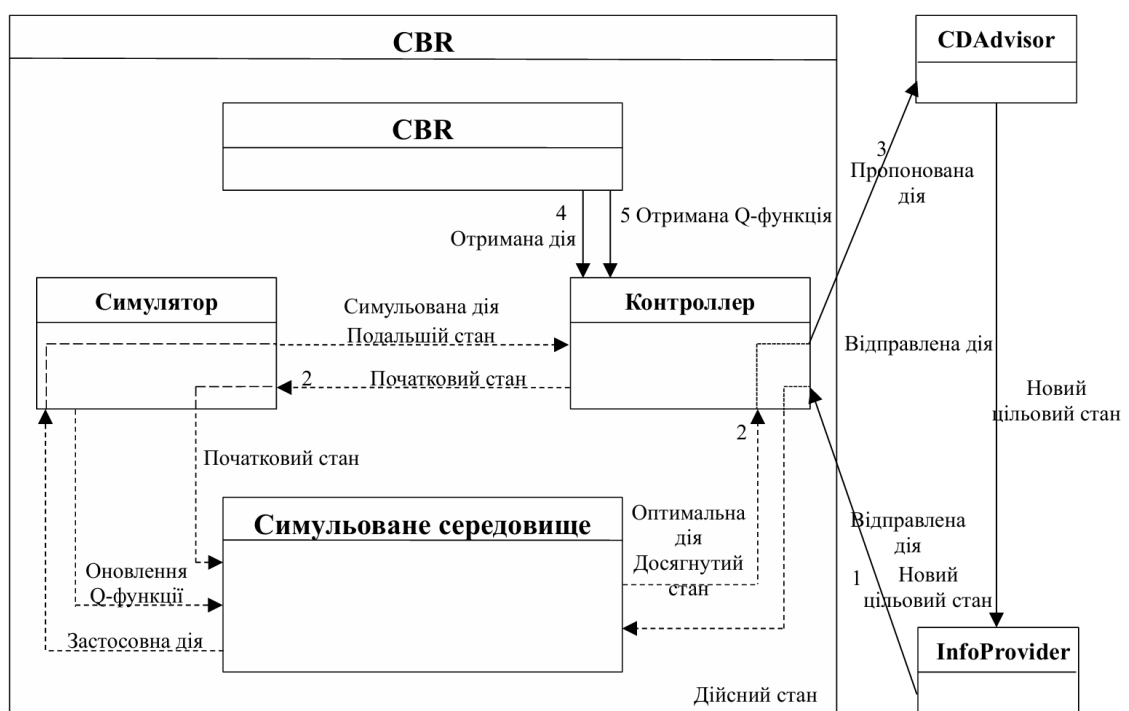


Рисунок 3.9 – Архітектура СППР зі спеціалізацією агента ActionPlanner (CDAdvisor =MainAdvisor Agent), нотація UML

(Джерело – розроблено автором на основі матеріалів [199])

– контролер керує процесом вивчення нового досвіду з реального і симульованого середовищ;

– симулятор виконує послідовність кроків симуляції відповідно до заданої стратегії;

– в імітаційному середовищі моделюється перехід між станами при виконанні заданої дії, виграш (R) та величина функції «стан-дія» (функція Q);

– компонент CBR керує базами прецедентів дій і прецедентів Q-функцій.

Використання фреймворку NPM, на відміну від фреймворку MDP, дозволило вирішити проблеми моделювання складних дій з різною тривалістю та виконуваних паралельно [200].

Кожне управлінське втручання в області, де виникла НС, виконується підпорядкованими агентами і вимагає обміну повідомленнями (завдання в домені, завдання для експертів і завдання для виконавців).

MainAdvisor є інтерфейсом між джерелами інформації (InfoProvider) та планувальником втручань (ActionPlanner) і людиною.

Користувач взаємодіє з СППР при:

- 1) налаштуванні карти домену;
- 2) налаштуванні НС з редагуванням типу надзвичайної ситуації, початкових даних, можливих цілей втручання та ролі керівника;
- 3) демонстраційному інтерактивному сеансі управління НС.

Демонстраційний прототип ілюструє сценарій простої НС, яка, з точки зору теорії ігор, є грою з природою. Менеджер з надзвичайних ситуацій із заздалегідь визначеною роллю (оператор чи гравець) може змінити/оновити домен і правила гри за допомогою інтерфейсного модуля MainAdvisor.

Агент PrecedencyManager, відповідно до початкового стану оточуючого середовища і тенденцій розвитку НС, організує взаємодію складових і реалізує шляхи досягнення локальних і глобальної цілей функціонування СППР.

При розгляді типової надзвичайної ситуації вводиться карта, яка є територію НС з інфраструктурою; поточний стан НС і можливі операції (маніпуляції, втручання або дії) на карті.

Під час типової надзвичайної ситуації оператор ідентифікує її поточний стан (способом зворотного поширення). Далі способом поширення вперед

гравець визначає наслідки, тобто розробляє план втручання (дії) для досягнення мети (поточного максимально бажаного стану) в базі правил.

Якщо оператор не має підтримки, то він сам обирає джерела даних, інформацію, дію або розробляє та виконує втручання. При підтримці оператор може обирати дії лише із запропонованих системою.

Загальний алгоритм функціонування СППР:

1. Менеджер з НС вносить нові факти про зміни в області інтересу.
2. СППР надає дані про поточний стан домену надзвичайної ситуації.
3. Менеджер з НС обирає ціль втручання зі списку можливих цілей.
4. СППР представляє план втручання у вигляді послідовності дій.
5. При появі нових фактів від менеджера з НС користувач вирішує, до якого пункту (3 або 4) він переходить.

Інтерфейс користувача СППР складається з головного вікна, що виконує роль стартової панелі, та низки панелей, призначених для введення/виведення певного типу даних (інформації, цілей та знань).

Головне вікно розділене на чотири різні області (рис. 3.10), де основну частину займає відображення постійно оновлюваної карти.

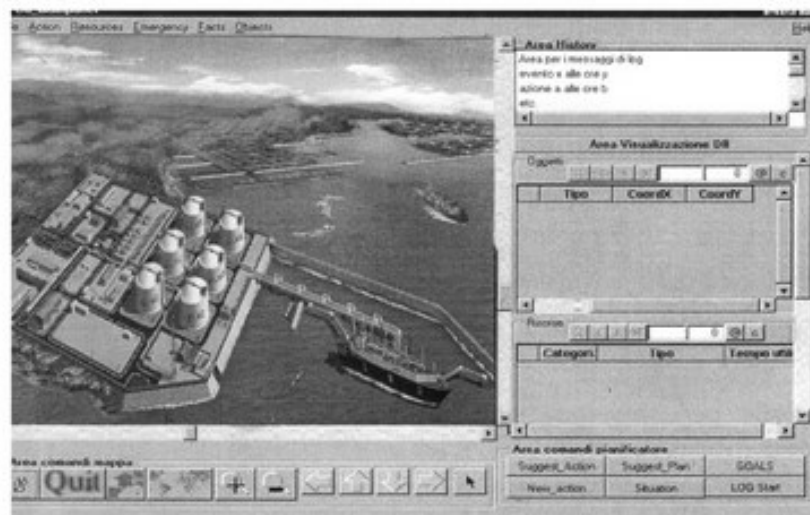


Рисунок 3.10 – Приклад інтерфейсних вікон
(Джерело – розроблено автором)

Нижче карти розміщені кнопки управління картографічними командами і завантаження графічного файлу з картою НС. У верхній правій частині екрану відображаються таблиці, що надходять безпосередньо з БД. Під нею згруповані кнопки для отримання найважливішої інформації про стан об'єктів, цілі, запропоновані дії або плани тощо. На кожен з цих команд система відповідає, групуючи найбільш детальну інформацію відповідно до типу команди.

Пропонована СППР урахує загальні принципи побудови архітектури ІРК і концепцію персоноїда як специфічного абстрактного інтелектуального агента. Основна увага у СППР зосереджена на представленні дескриптивних знань предметної області у вигляді нечітких множин абстрактно-об'єктного світу, а також на її моделюванні за допомогою об'єктно-орієнтованих мов [199].

Операційні знання предметної області концептуалізовані як STRIP-подібні оператори, збагачені нечіткими множинами з відповідною ФП. Система планування реалізована на основі методів мережевого планування та управління. Отримані результати дали змогу структурно розділити правила і знання по різних рівнях міркувань СППР. Концептуальна гіпотеза ІРК практично перевірена шляхом моделювання НС у нафтовому терміналі порту.

Напрямки подальших досліджень планується спланувати на реалізацію агента управління правилами для автоматичного вибору мети втручання; розробку процедури розділення інформації, знань і правил на структурних метарівнях системи для автоматичної модифікації використовуваних методів міркувань, бази правил та оперативних знань.

Крім того, розроблені моделі описових знань необхідно протестувати для інших конкретних доменів надзвичайних ситуацій в інтелектуальних СППР в умовах невизначеності та неповноти наявної інформації. У випадку модифікованої персоноїдної моделі відповідні методи можуть бути додані, модифіковані та перевірені без модифікації архітектури ІРК ядра ІСППР.

Таким чином, удосконалено інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту, в якому, на відміну від відомих, база знань являє собою ієрархічну структуру, де

дескриптивні знання про предметну область представлені у вигляді нечітких множин, операційні знання концептуалізовані як STRIP-подібні оператори, збагачені нечіткими множинами, а планування реалізоване на основі методів мережевого планування та управління, що дозволяє структурно розділити знання і правила за різними рівнями міркувань системи підтримки прийняття рішень, скоротити час реакції системи і підвищити обґрунтованість прийнятих рішень.

3.2 Розроблення методу підтримки прийняття рішень для навмисної посадки аварійного судна на міліну у районі порту

Для оцінки наслідків посадки судна на міліну запропоновано структуру бортової СППР та відповідний метод, реалізований з допомогою цієї системи. Якщо судно знаходиться у деградованому стані у важких умовах плавання, то для управління ним вводяться початкові дані методи підтримки прийняття рішення. Такими даними є типові сценарії посадки судна міліну і базові типи суден й їхні характеристики, що надходять від чисельних датчиків корпусу. Типи суден та обрані сценарії дають змогу оцінити ушкодження і сили контакту між судном і морським дном, навантаження на судно від нерухомої води, від хвиль і припливів, місцевих контактних сил від морського дна. За допомогою СППР створюється загальне сховище даних і загальний людино-машинний інтерфейс (ЛМІ). Розроблені структура бортової СППР та метод управління судном при вимушеній посадці на міліну дають змогу ОПР обирати ефективні дії при розглянутих критичних сценаріях.

3.2.1 Аналіз можливих причин посадки судна на міліну

Кожні 10 днів у світі у середньому відбувається одна посадка судна на міліну. Серед навігаційних аварій дана подія є основною за кількістю випадків і за збитками від них.

Найчастіше посадки на мілину відбуваються на підходах до портів, у протоках, каналах, районах рейдового розвантаження.

Основними причинами посадки судна на мілину є людський фактор, стихійні події та ін. (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Графічне подання основних причин посадки судна на мілину
(Джерело – розроблено автором)

Людський фактор найчастіше стає головною причиною посадки судна на мілину (рис. 3.12).

Найтиповіші випадки посадки на мілину за стихійними обставинами:

- судно позбавлене можливості керуватися під дією шторму;
- дія раптового пориву на судно, що стоїть на якорі;
- дрейф судна разом із льодом у бік мілини;
- навмисна посадка на мілину в штормових умовах.

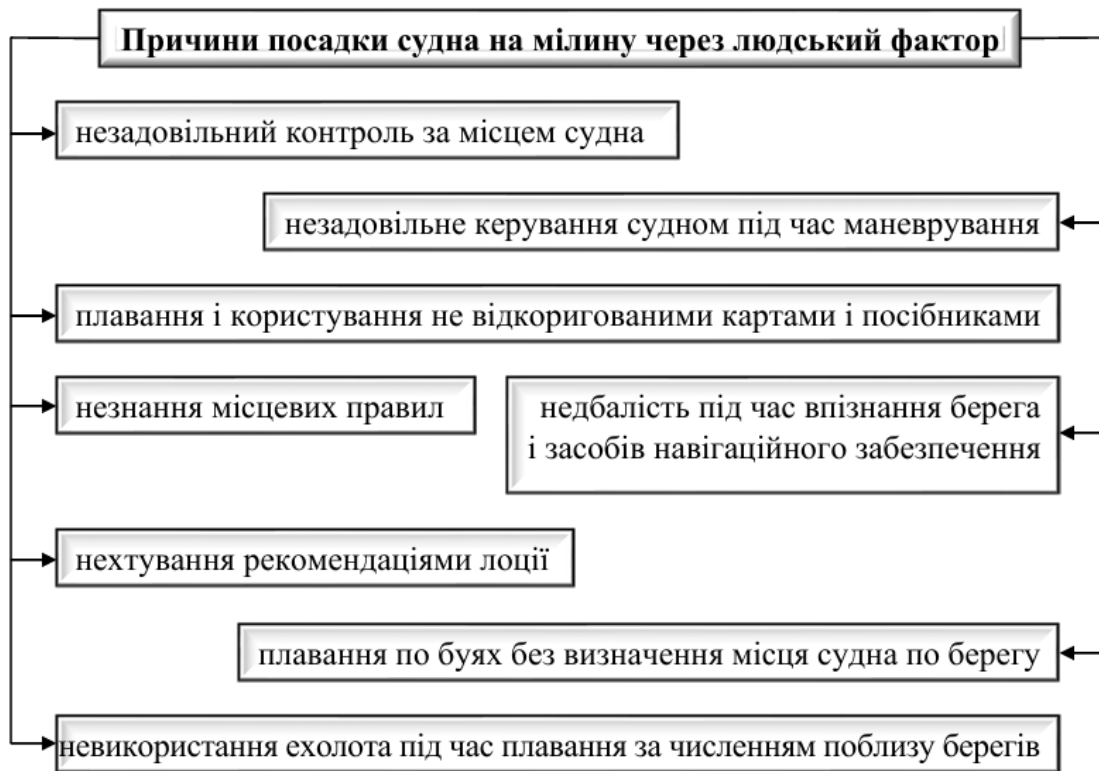


Рисунок 3.12 – Основні причин посадки судна на міліну через людський фактор

(Джерело – розроблено автором)

У разі загрози НС з судном у порту або на підході до нього, що може призвести до його затоплення на глибині, необхідно провести навмисну посадку на міліну. Для цього екіпаж повинен вибрати місце викиду на міліну з урахуванням отримання мінімальних ушкоджень і умов, що полегшують зняття з мілини в майбутньому (пологий ухил, м'який ґрунт, захищена акваторія та ін.); зменшити швидкість судна до мінімальної, але достатньої для керованості судна; посадити судно носом (для збереження гвинторульової групи).

Обов'язки судноводія при посадці на міліну наведені на рис. 3.13.

Після виконання цих першочергових дій екіпаж у подальшому повинен виконати дії, наведені на рис. 3.17.

На судно, яке сіло на міліну, діють такі різні за своєю природою сили:

1. Сила реакції ґрунту (тиск судна на ґрунт) – призводить до втрати водотоннажності за різницею осадок до і після посадки на міліну.

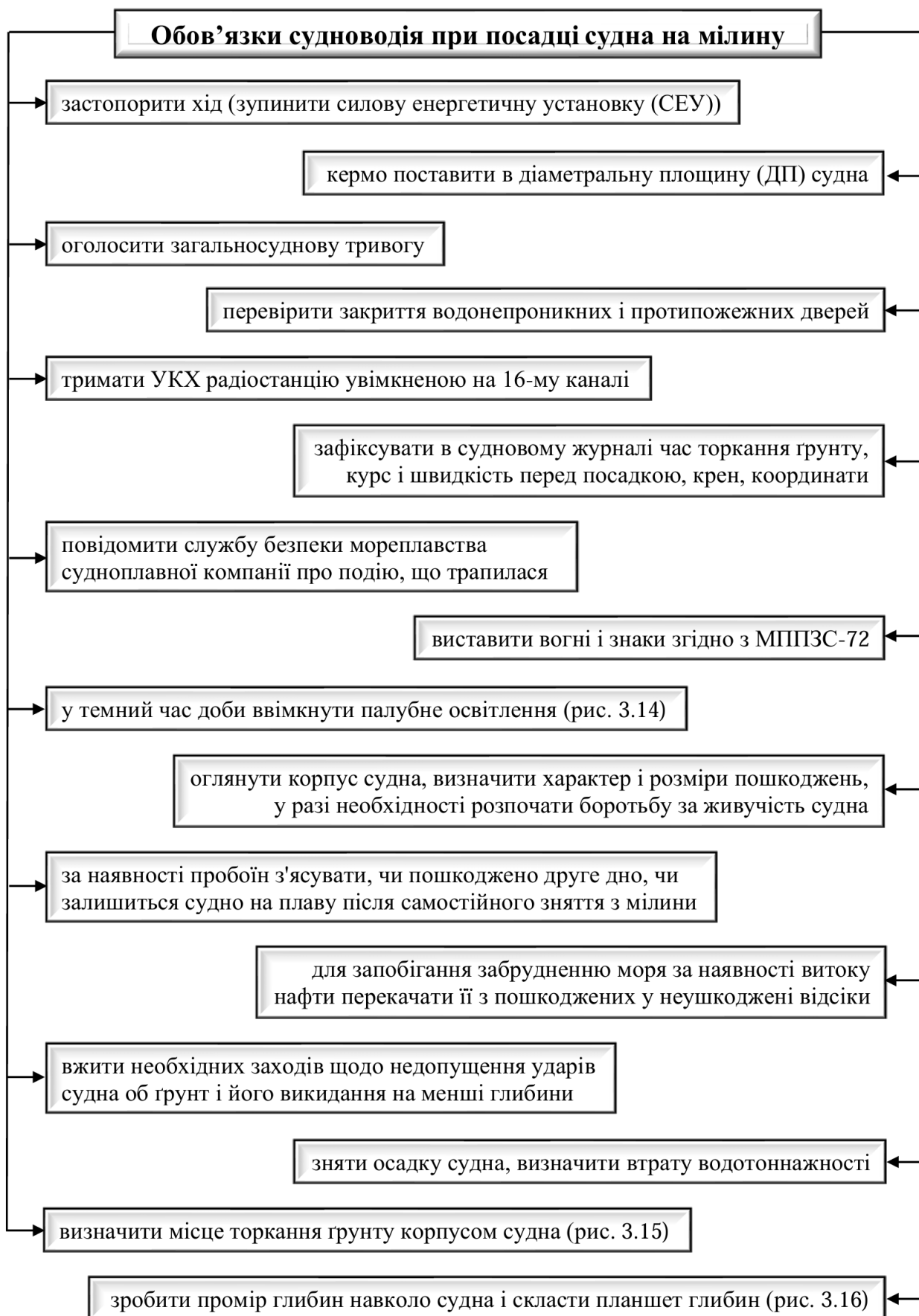


Рисунок 3.13 – Обов'язки судноводія при посадці судна на міліну
(Джерело – розроблено автором)

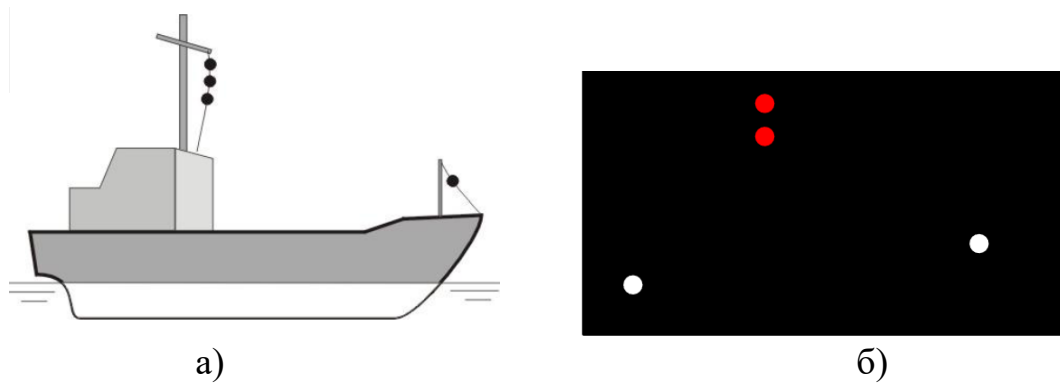


Рисунок 3.14 – Вогні і знаки згідно з МППЗС-72 (а)
ввімкнене палубне освітлення у темний час доби (б)
(Джерело – розроблено автором)

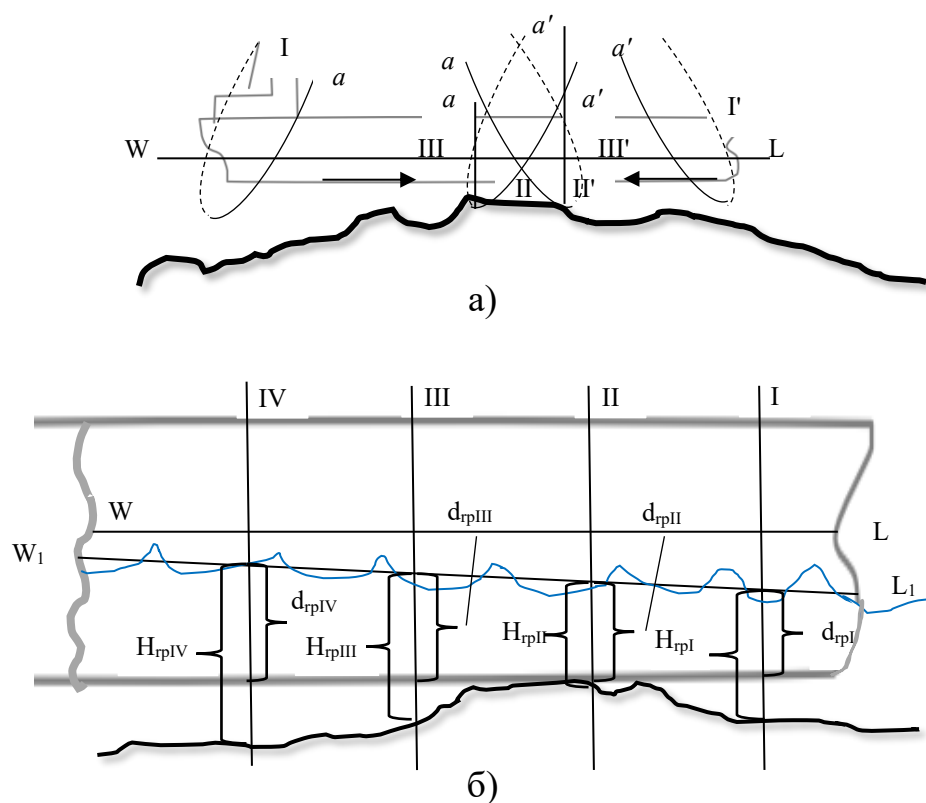


Рисунок 3.15 – Визначення місця торкання ґрунту корпусом судна:
а) з допомогою підкільних кінців;
б) з допомогою ручного лоту
(Джерело – розроблено автором)

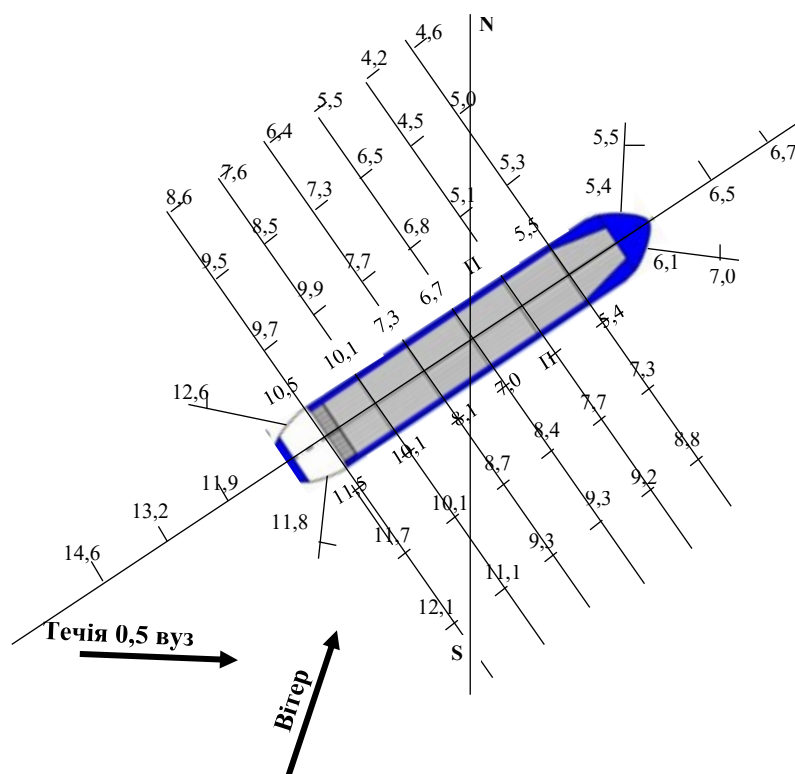


Рисунок 3.16 – Приклад визначення глибин навколо судна і складання планшету глибин (Джерело – розроблено автором)

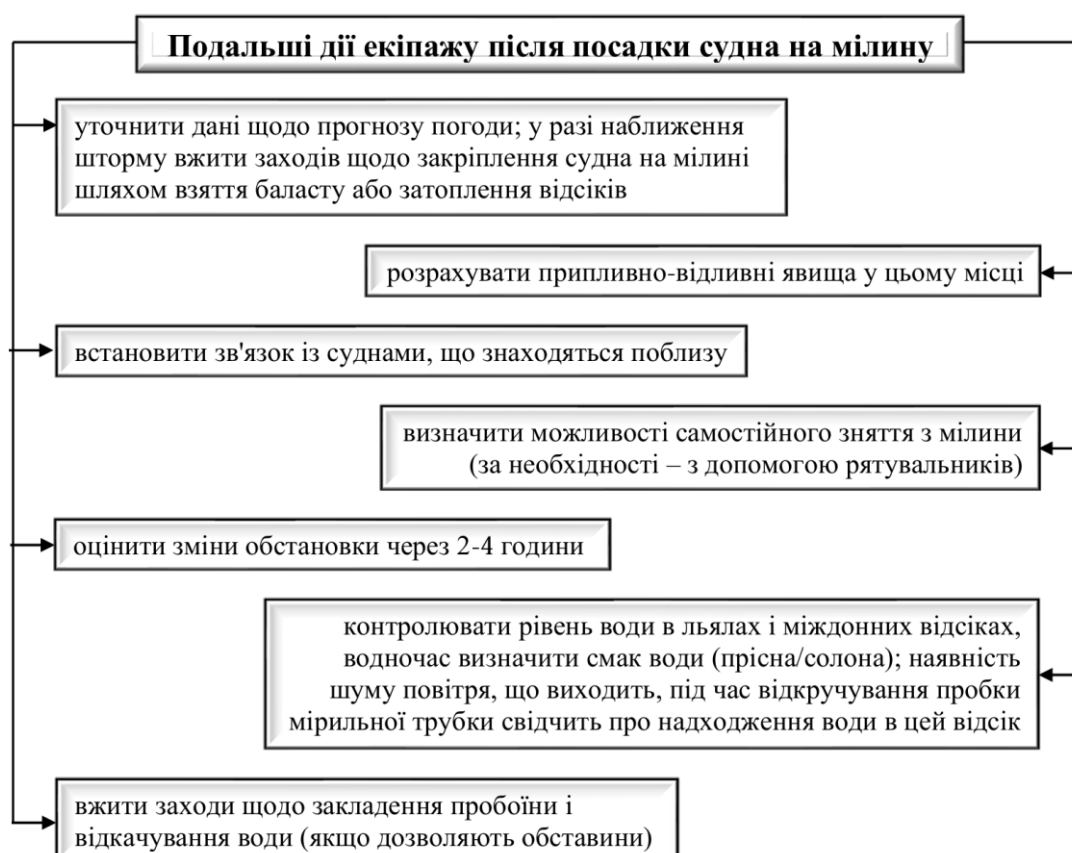


Рисунок 3.17 – Подальші дії екіпажу при посадці судна на міліну (Джерело – розроблено автором)

2. Сила присмоктування ґрунту (має значення тільки як сила опору стягуванню) – оцінюється коефіцієнтом, що залежить від маси судна і від роду ґрунту ($0,05 \div 0,10$ – для крупного піску з галькою; $0,25$ – для в'язкої глини).

3. Сила ударів хвиль: позитивна – знімає судно з мілини; негативна – розбиває корпус судна об ґрунт.

4. Сила вітрового тиску враховується тільки під час зняття судна з мілини стягуванням.

5. Сила ударів об ґрунт унаслідок хвилювання – результуючий вплив двох сил – вертикальної сили зважувального тиску і горизонтальної сили бокового тиску, які також можуть мати позитивний і негативний результат (рис. 3.18).

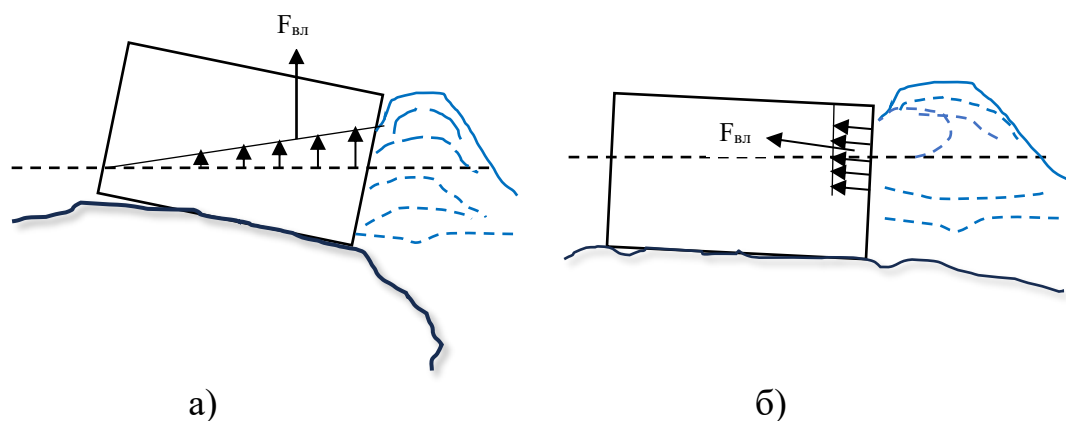


Рисунок 3.18 – Сили, що діють на судно, яке сидить на мілині
(Джерело – розроблено автором)

Тоді найважливішим завданням вважається підтримання в працездатному стані критично важливих судових систем і запобігання можливого виходу їх з ладу. У разі несправності критичних систем не менш важливими є СППР. Вони являють собою раціональні інструменти, що надають розумні вказівки екіпажу судна і береговим командам підтримки.

У результаті посадки судна на мілину або його зіткнення з перешкодами на дні можуть виникнути дуже небезпечні події, наприклад загибель людей, серйозні екологічні наслідки, неприємнішим з яких є розлив нафти.

Під час шторму у листопаді 2002 року нафтовий танкер «Престиж»

унаслідок отриманих пошкоджень розколовся на дві частини та затонув на глибині близько 3 700 м біля берегів Галісії, завдавши серйозної екологічної шкоди природі вилитими 20 мільйонами галонів нафти.

У жовтні 2023 пором Marco Polo (TT-Line) сів на мілину на півдні Швеції, спричинивши розлив дизельного палива на кілька кілометрів. За даними берегової охорони, судно відхилилося від звичного маршруту між портами Треллеборг і Карлсхамн через густий туман.

Прибережне вантажне судно VGS Glory сіло на мілину на риф поблизу Ель-Кусейра, Єгипет, 22 листопада 2023 року, під час переходу з Ходейда (Ємен) до порту Тауфік (Єгипет). Для стримування розливу нафти встановлено бонові загородження, але сильний вітер ускладнює операцію. Пошкодження деяких бар'єрів призвело до подальшого поширення забруднення, що загрожує кораловим рифам у районі популярних курортів.

Таким чином, ризик можливих жертв, величезні матеріальні втрати і грандіозні розливи нафтопродуктів під час аварій суден негативно відбиваються на сталому розвитку економіки, знижують безпеку на морі, мають драматичні, а іноді трагічні, наслідки для морських екосистем, несуть екологічну загрозу.

Для зниження ризику морських перевезень у майбутньому особливу увагу необхідно зосередити на заходах, спрямованих на зниження ризику розливу нафти з танкерів, що сіли на мілину.

Для суттєвого зменшення, у кращому разі – запобігання, катастрофічним наслідкам, що можливі у разі зіткнення нафтового танкера з іншим судном або іншою статичною перешкодою, пропонується застосовувати двосторонні корпуси. Однак, зниження можливої загрози катастрофічних зіткнень океанських суден, що характеризуються збільшеними розмірами і швидкостями, може досягатися і збільшенням відповідальності суден, що стикаються.

У цьому зв'язку важливо знати стан різноманітних систем виявлення і моніторингу сучасних суден. А тут є певні проблеми. По-перше, для виявлення і контролю надається великий, часто надвеликий, обсяг контрольованої

інформації. По-друге, недостатньо розвинутий контроль міцності корпусу суден. По-третє, у разі відмови деяких елементів судна сучасні системи моніторингу виробляють значну кількість сигналів тривоги, частина з яких є помилковими. По-четверте, у разі одночасної відмови декількох критичних систем рекомендації з управління судном можуть бути помилковими або зовсім не можуть бути надані капітану судна або екіпажу.

Таким чином, великий обсяг контрольованої інформації, порівняно «жорсткі» алгоритми і зацикленість моніторингових систем на строго визначених елементах судна не дозволяють точно визначити фактично джерело несправності, ступінь ризику для судна і, відповідно, адекватно оцінювати ситуацію загалом.

Можливим шляхом виходу із такої ситуації є застосування СППР для реагування на виникнення небезпечної ситуації на судні.

Але це питання на ранніх стадіях при посадці судна на мілину поки залишилися поза сферою активних досліджень.

3.2.2 Розробка методу підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину у районі порту для оцінки наслідків такої події

Для ефективного функціонування систем підтримки прийняття рішень бажано здійснювати постійне автоматизоване передавання даних про технічний стан бортових систем судна на берег до берегових командних центрів (БКЦ) і центрів управління рухом суден (ЦУРС).

Технічні характеристики підсистеми передавання інформації між судном і берегом мають забезпечувати задані вимоги швидкості і надійності передавання даних про стан судна і бортових систем з одночасним відсіюванням несуттєвої інформації для роботи СППР.

Введення до складу бортових систем виявлення і моніторингу модулів

управління технічним станом дозволяє розширити перелік систем, що контролюються, та оцінювати можливості їх допоміжних функцій.

Правильне подання й використання інформації ОПР на борту і на березі на кожному рівні в обраних критичних сценаріях, є найважливішим аспектом забезпечення запобігання катастрофічним наслідкам.

Наявні ієрархічні моделі, на яких побудовані СППР, застосовані до суден, що сіли на мілину, характеризуються такими недоліками:

- а) неможливість інтуїтивного уявлення впливових факторів на альтернативи;
- б) недостатня гнучкість моделі через ігнорування або складнощі врахування впливових чинників;
- в) нездатність врахування різних невизначеностей у моделі.

В умовах нормальної експлуатації судна доступ до інформації про стан бортових систем надається тільки береговому офісу або агенту. У критичній ситуації ця інформація надходить також до зовнішніх ОПР, наприклад пошуково-рятувальної команди і берегових служб спеціалізованої підтримки.

Розширення функціональності такої системи позитивно відбивається на проведенні ретельнішого моніторингу стану судна з БКЦ і ЦУРС, якіснішій інтеграції ресурсів судна і берега й ефективній допомозі судну з боку берегових кризових команд у разі необхідності. Запропонований інструментарій підтримки прийняття рішень на березі має забезпечити поліпшену маршрутизацію суден у критичних районах на основі отриманих даних про стан корпусу, механізмів, маневреність та метеорологічну обстановку тощо.

Найгіршою подією для судна є неконтрольоване руйнування, затоплення або його посадка на мілину. Затонуле судно роками може бути джерелом витікання нафти і постійною загрозою забруднення навколишнього середовища.

Альтернативою неконтрольованого руйнування у критичній ситуації є контрольована посадка судна на мілину в захищених водах. Це дозволить, як мінімум, значно зменшити негативні наслідки події, а як максимум, безпечно злити нафту.

Однак посадка судна на мілину сама по собі є ризикованим заходом із

важко прогнозованими наслідками. І враховуючи дуже обмежені можливості ОПР для оцінки наслідків такого рішення пропонується СППР для зменшення ризиків посадки судна на мілину.

Початкові дані для СППР надходять від суднових датчиків інформації системи моніторингу корпусу судна, формуючі спрощені чисельні моделі міцності балок корпусу. За обраними сценаріями посадки розглядуваних типів суден на мілину розраховують ушкодження, сили контакту між судном і морським дном, навантаження від нерухомої води, динамічне навантаження від хвиль і припливів, місцеві контактні сили від морського дна.

Таким чином, у СППР створюється загальне сховище даних і загальний ЛМІ. А функціональні взаємозв'язки між окремими модулями системи показано на рис. 3.19.

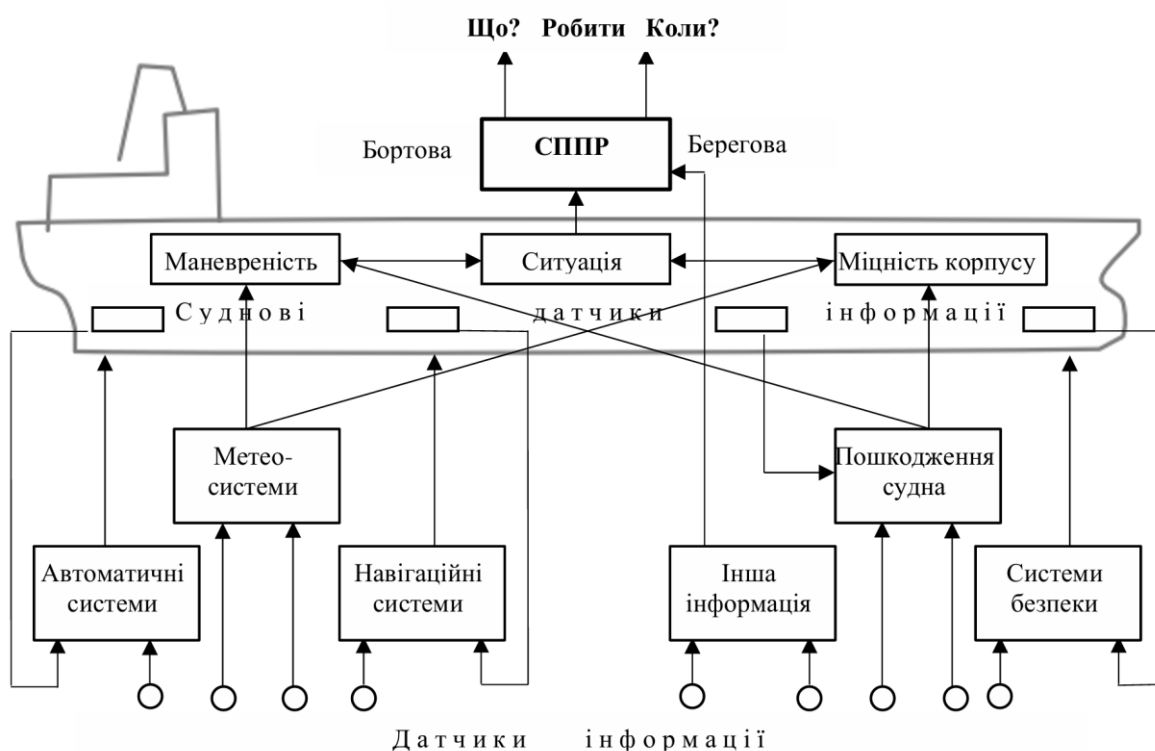


Рисунок 3.19 – Інформаційні потоки, що визначають функціональні взаємозв'язки системи підтримки прийняття рішень
(Джерело – розроблено автором)

Загальна архітектура СППР зі шляхи передачі інформації між основними користувачами наведена на рис. 3.20. На цьому ж рисунку наведені:

- саме судно, в якому СППР інтегрована з підсистемами навігації (НавС), безпеки (СБ) та автоматизації (АС);
- група управління аварійними ситуаціями берегового оператора;
- органи пошуку і рятування (ОПшР);
- ЦУРС.

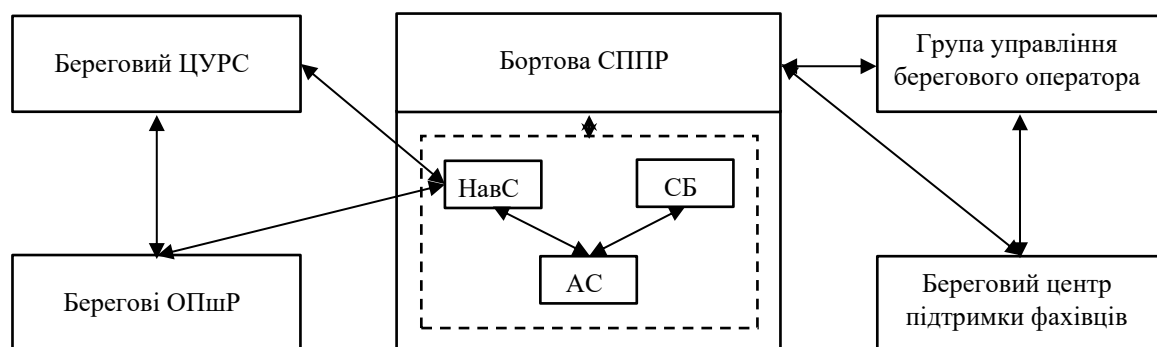


Рисунок 3.20 – Загальна архітектура системи підтримки прийняття рішень
(Джерело – розроблено автором)

Крім зазначених категорій, користувачами СППР може бути береговий центр підтримки фахівців для проведення складніших аналізів (стійкості, міцності та (або) аварійних ситуацій тощо).

Функціонування СППР для здійснення навмисної посадки на міліну пошкодженого судна відбувається так. Від різноманітних датчиків постійно надходить поточна інформація, яка обробляється на судні у реальному масштабі часу. У разі виникнення аварійної ситуації проводиться моделювання можливої навмисної посадки судна на міліну, що є доповненням до обчислювального комплексу судна. Цифрові моделі та статичні дані щодо судна зберігаються у фіксованому сховищі даних на борту судна і на березі.

У необхідному темпі оперативна інформація про рівень палива в цистернах, крен/диферент і стійкість до пошкоджень тощо надходить від відповідних датчиків до бортового комп'ютера. Останній у фоновому режимі

постійно проводить швидкі попередні аналізи ситуацій, що виникли. Паралельно поточні дані із заданою періодичністю передаються на берег для їх детального аналізу. Отримані результати й оцінки передаються на борт для оновлення інформації та оцінки результатів моделювання, виконаних бортовим комп'ютером, і вироблення рішення, адекватного ситуації, що склалася.

Функціонування СППР зручно подавати через сценарний підхід, який визначає взаємодію між найбільш важливими посадовими особами, до яких належать капітан судна, капітан порту, начальник пошуково-рятувальної команди і начальник берегового центру підтримки фахівців. Даний підхід передбачає послідовність подій, реакцію на ці події, необхідну інформацію тощо для різних гіпотетичних подій на танкері або круїзному судні. Розглянемо, наприклад, 3 сценарії.

Сценарій 1.

1. У протоці Босфор у сильному тумані внаслідок тарану лівим бортом великим круїзним судном меншого судна стався збій у маневруванні. Необхідно визначити, чи збережеться стійкість круїзного судна, і прийняти рішення щодо необхідності збору та евакуації пасажирів і екіпажу та щодо безпечного доставлення судна в порт.

Первісна оцінка сценарію передбачає три альтернативні результати:

- 1) судно може дійти до безпечної гавані;
- 2) судно перебуває на плаву і чекає рятувальників для евакуації пасажирів та екіпажу;
- 3) покидання судна пасажирями та екіпажем.

Основні етапи розвитку сценарію:

- а) оцінка ситуації та вжиття негайних дій для її утримання та/або зміцнення;
- б) стабілізація судна в разі потрапляння води всередину;
- в) оцінка достатності остійності;
- г) перевірка технічного стану судна для оцінки його можливості дістатися до порту;
- д) оцінка пошкоджень і поточного стану пропульсивної та маневреної

систем та їхнього впливу на маневреність судна;

е) постійний контроль за ситуацією та оцінка швидкого прийняття альтернативних дій у разі різкої зміни обстановки;

ж) зв'язок зі службою порятунку та організація безпечної евакуації пасажирів, що дає змогу розглядати евакуацію як прийнятну ситуацію;

з) початок руху до порту;

і) посилення затоплення, що призводить до загострення ситуації;

к) планування посадки судна на міліну поблизу порту;

л) планування відтягування судна на мілководдя буксирами і посадка його там на міліну;

м) евакуація.

Сценарій 2.

2. Круїзне судно втрачає хід на виході з порту Одеси і на відносно невеликій швидкості сідає на піщану міліну. Приплив зворотний, але через годину він зміниться. Виникають проблеми під час запуску допоміжних двигунів. Необхідно визначити можливість безпечного транспортування судна в порт.

Основні етапи розвитку сценарію:

а) оцінка ситуації показує відсутність у поточний момент безпосередньої небезпеки судну, неможливість збереження його стійкості під час відпливу і необхідність оцінити ситуацію на березі;

б) труднощі із запуском допоміжних двигунів, накопичення води у відстійниках, що вимагає усунення проблеми;

в) оцінка ситуації показує безпеку відтягування судна протягом трьох годин до початку відливу;

г) моделювання різних сценаріїв при втраті потужності двигуна при звільненні судна у вузьких водах;

д) перевірка технічного стану судна для виявлення можливих несподіванок;

е) відрив судна і його транспортування в порт для перевірки систем і корпусу.

Сценарій 3.

3. Танкер перебуває в плаванні в північній частині Чорного моря поруч

із портом і стикається з майже зануреним у воду плаваючим об'єктом. Виявлено пошкодження корпусу і затоплення деяких відсіків, пошкодження і заклинювання керма. Необхідно оцінити можливість належним чином керувати судном і безпечного досягнення порту.

Основні етапи розвитку сценарію:

- а) наближення сильної негоди, і неможливість досягнення безпечного порту без загрози для структурної цілісності;
- б) оцінка можливості переміщення судна у відкрите море або в безпечну гавань із нанесеним на карту місцем посадки на міліну;
- в) вибір безпечної гавані та планування можливої посадки на міліну за неможливості обмеження подальшого проникнення води.

Складність посадки судна на міліну визначається неможливістю апріорної оцінки сили посадки, яка залежить від опору проникненню перешкоди в днище судна. У свою чергу, вм'ятину залежить від крену, тангажу і крену судна під час проходження над перешкодою. Основною проблемою що під час посадки судна на міліну, вважається глибоке дроблення і розрив днищевої обшивки, ребер жорсткості і балок на значній частині довжини судна, що вимагає застосування нелінійних методів скінченних елементів (НМСЕ). Але часові обмеження, накладені на розв'язання цієї задачі, та розмірність рівнянь не дозволяють отримати чисельне рішення за прийнятний час.

Тому у теперішній час основні зусилля зосереджені на чисельному аналізі суден, що сідають на міліну [207, 208]. Наприклад, програма DAMAGE реалізує спрощені методи прогнозування розсіювання пластичної енергії в конструктивних елементах судна у вигляді руйнування, розриву, складання панелей жорсткості тощо [209]. У роботі запропонована теорія посадки судна на кінчну скелю [210]. Описані у [211] еталонні випробування дозволили перевірити розроблені спрощені методи або вдосконалений НМСЕ.

Моделювання посадки, у т. ч. навмисної, аварійних суден посадки на міліну за допомогою СППР виконуватиметься протягом декількох секунд. Для досягнення таких показників розділено рух жорсткого тіла і опір

проникненню донної конструкції. Для цього заздалегідь вводяться відомі співвідношення проникнення для типових конструкцій днища судна, викладені у [212]. На рисунку 3.21 наведена структура методу підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину для оцінки наслідків у разі навмисного затоплення судна [41].

Метод працює так [41]. Після введення типових параметрів судна та базових сценаріїв посадки судна на мілину на першому етапі рух судна представляється у вигляді опису його як руху жорсткого тіла й навантаження. Зазвичай рух жорсткого тіла представляється шістьма ступенями свободи у вертикальній і горизонтальній площинах. Слабкість між даними характеристиками дозволяє проігнорувати зв'язок між ними під час аналізу посадки судна на мілину. Комп'ютер визначає вертикальний рух, виходячи з гідростатичних міркувань, включно з силою контакту з ґрунтом.

Аналіз вертикального руху й остійності судна здійснюється за такими вихідними даними:

- гідродинамічні характеристики судна;
- розподіл легкої ваги судна;
- стан вантажу, включно зі станом бункерування і потенційно затоплених відсіків;
- початкова осадка і диферент, розраховані на основі попередньої інформації;
- вплив навантаження на балку корпусу (напруга) розраховані на основі інформації від системи моніторингу або альтернативно.

Перехідними динамічними силами при навмисній посадці судна на мілину нехтуємо через повільність процесу.

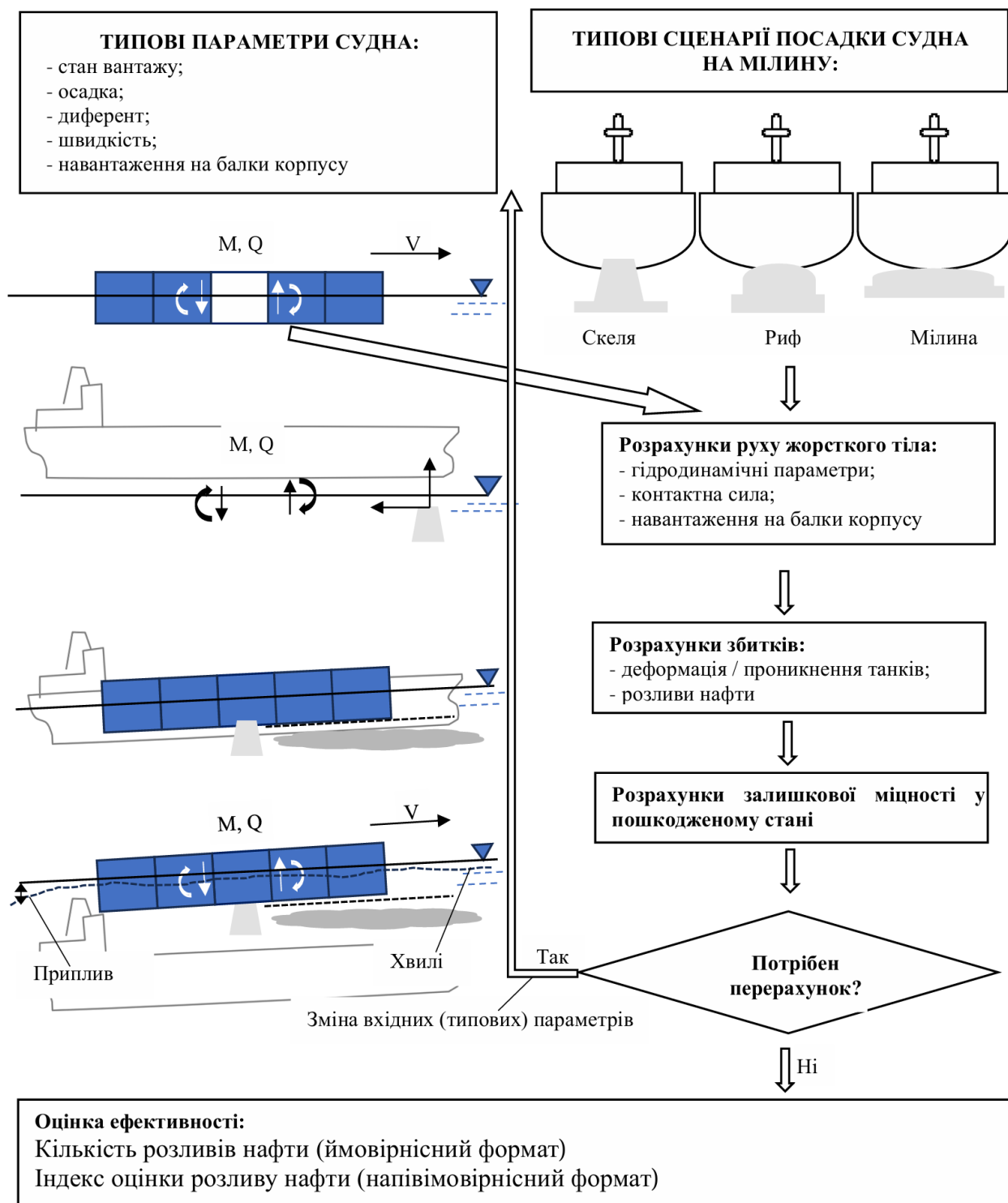


Рисунок 3.21 – Метод розрахунку безпеки здійснення навмисної посадки аварійних суден на мілину у районі порту за допомогою системи підтримки прийняття рішень
(Джерело – розроблено автором)

Ефект посадки на мілину представляється концентрованою силою, що відповідає миттєвому вдавненню морського дна в днище судна під час контакту в одній точці або серії комутаційних навантажень, якщо посадка на мілину відбувається на великій площі. У визначений момент часу розрахункова сила посадки на мілину вводиться в комп'ютер для обчислення навантаження. Оновлені значення середньої осадки, диференту і кута крену в наступний момент часу надають необхідну інформацію для розрахунку наступного рівня вдавнення морського дна в днище, а отже, нової сили посадки на мілину (рис. 3.22).

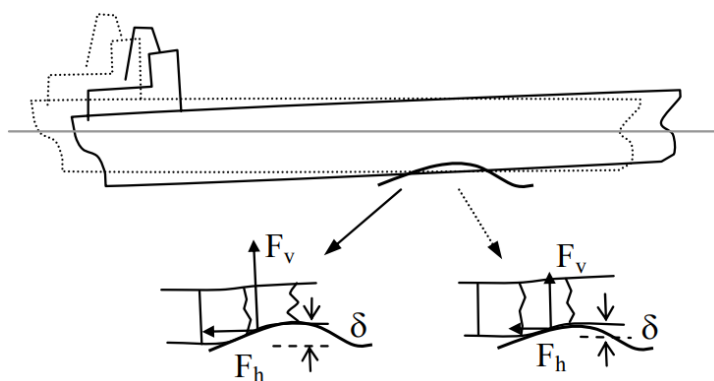


Рисунок 3.22 – Модель процесу посадки судна на мілину

(Джерело – розроблено автором на основі [211])

Комп'ютер, розрахувавши навантаження й остійність, враховує будь-яке зниження міцності через пошкодження днища шляхом оцінки впливу навантаження на балку корпусу. Тобто оцінюється глобальний згинальний момент F_v і зсувна сила F_h , включно з впливом сили посадки на мілину з урахуванням наявного опору балок корпусу на зсув і вигин. У правилах класифікації суден наведені вимоги до опору балок корпусу в нешкодженному і пошкодженному стані [213, 214], хоча зазвичай граничні характеристики дещо вищі за викладені у вимогах.

Основний вплив (приблизно 65%) на загальне розрахункове навантаження на балку корпусу судна здійснюють хвилі. Навмисне зняття з

мілини характеризується відносно невеликими хвильовими навантаження порівняно з розрахунковими. За цієї причини при посадці на мілину допускається таке навантаження на нерухому воду, що значно перевищує розрахункові значення.

Графічне відображення граничного опору балки корпусу судна на вигин разом із поточним використанням у вигляді навантажень на нерухому воду і хвилювання досліджено у [211] і наведено на рис. 3.23. Пошкодження панелей днища викликає передбачуване зниження вантажопідйомності і представляється у вигляді спаду на кривій вантажопідйомності. Прогнозоване погіршення погоди призводить до прогнозованого збільшення хвильових навантажень, а прогресуючий розвиток пошкоджень викликає зменшення місткості. Природно, що на навантаження на нерухому воду також впливають зміни сили контакту, затоплення або витікання води з резервуарів тощо.

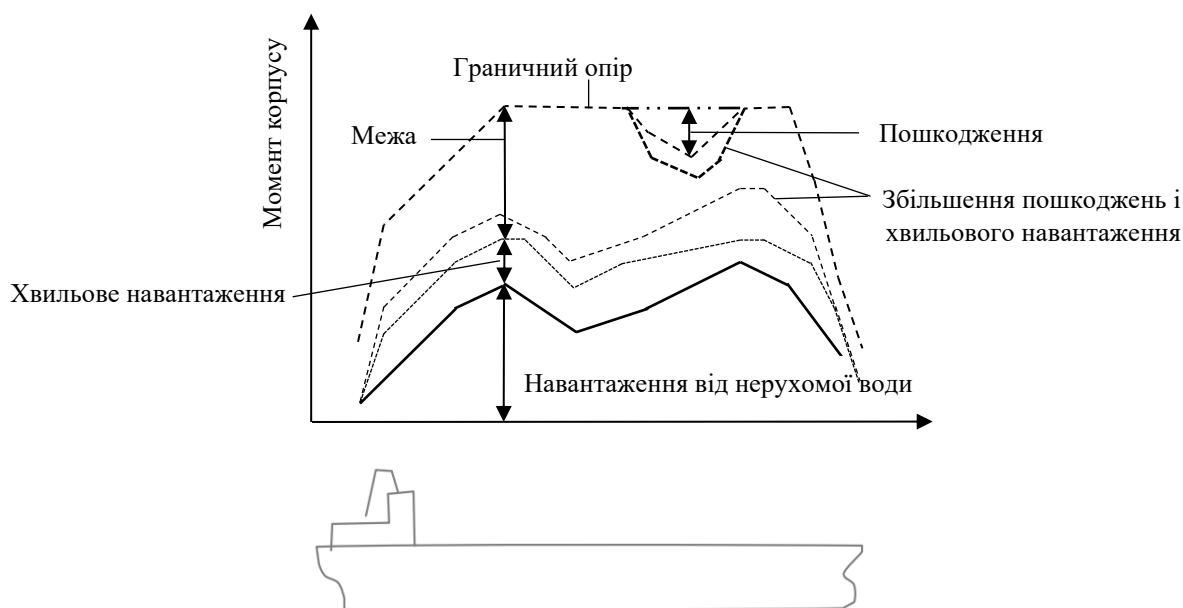


Рисунок 3.23 – Розподіл згинальних моментів балок корпусу

(Джерело – розроблено автором на основі [211])

Розрахунок зусилля на ґрунті. Для розрахунку опору проникненню в конструкцію днища використовуються феноменологічні чисельні формули. Конструкція днища судна по всій вантажній площі характеризується сталістю,

що дозволяє при моделюванні опору проникненню використовувати тільки частину судна, наприклад довжину танка. Тоді постійна вм'ятина на днищі розглядається як вдавнення перешкоди на обрану відстань у дно з подальшим рухом уздовж судна. Розглянута достатньо велика кількість різних рівнів вдавлювання днища дозволяє узагальнити дані про вертикальну і горизонтальну складові контактної сили у стійкому стані. Отримані значення опору для різних рівнів вдавлювання дозволяють із застосуванням методу інтерполяції визначити фактичний опір, розрахований під час руху жорсткого тіла. Перед таранною перегородкою, тобто для носової частини судна, необхідно проводити окремі розрахунки.

Кожна розмірна категорія типу судна представляється порівняно невеликою кількістю характерних груп, що гарантується однаковими конструктивними схемами побудови, визначеними правилами класифікації суден. Запропонований метод дозволяє визначити опір проникненню для кожної групи суден для різних типів і характеристик морського дна.

Оцінка близькості теоретичних викладок та експериментальних даних наведена у роботі [214]. Експеримент із моделлю подвійного дна, що зазнала бічного вдавнення перешкодою конічної форми, показав хорошу збіжність з чисельним моделюванням. А розбіжності пояснюються передчасним розривом зварного шва та/або геометричними неточностями.

Крім розрахунку пошкоджень під час посадки на мілину, даний метод також дозволяє проаналізувати потенційне руйнування корпусу судна, що перебуває на мілині, через вплив припливів і хвиль, а також можливе витікання вантажу та/або затоплення танків. Результати таких розрахунків можуть бути використані для оцінки сили, необхідної для відриву судна від ґрунту. Також наведені розрахунки дозволяють здійснити прогноз потенційного розвитку пошкоджень, тобто навантаження на балки корпусу та оцінка міцності, якщо судно залишиться на мілині, а саме інформацію про:

- ймовірні пошкодження днища судна внаслідок посадки на мілину;
- розрив вантажних танків;

- обсяг розливу вантажу;
- напругу в балках корпусу, яка потребує порівняння з граничним опором балок.

Графіки залежності контактної сили від зсуву, викликаного вдавненням, для танкера під час посадки судна на риф, представленого вузьким і гострим конусом (графік а) і тупим конусом (графік б), наведені на рис. 3.24 [211], дозволяють будувати спрощені криві вдавлювання для СППР під час моделювання руху балки жорсткого корпусу.

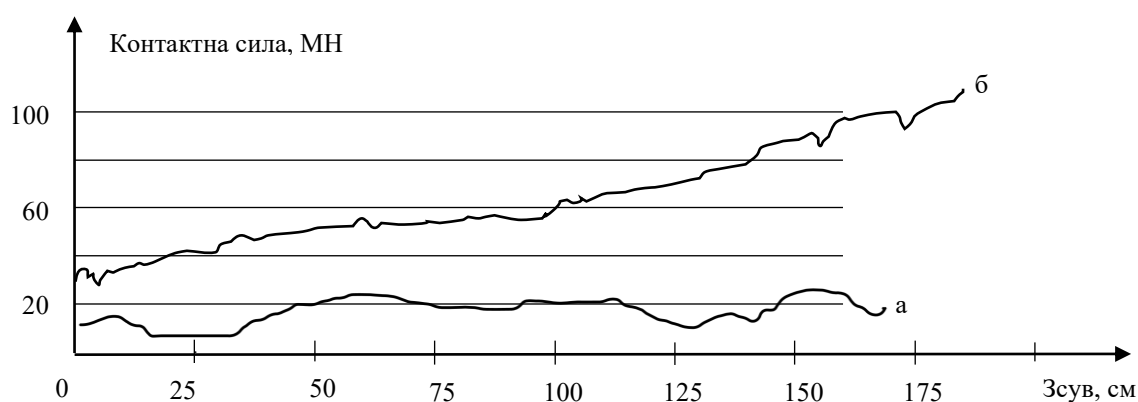


Рисунок 3.24 – Залежність сили від вдавлювання для вузького і тупого морського дна
(Джерело – за даними [211])

Проведене моделювання руху танкера з різними швидкостями та різними висотами піднесення перешкод над осадкою танкера. Так, за результатами моделювання доведено, що при швидкості 4 м/с у момент посадки на мілину в разі піднесення перешкоди на 4 м над середньою осадкою судна при вузькому конусі ушкоджується більша частина балки корпусу, а при тупій перешкоді – лише перший танк.

Руйнування. Моделювання пошкоджень днища судна дозволяє визначити критичні деталі і зародження та поширення тріщин з подальшим прогнозуванням руйнування внутрішнього днища для двокорпусних танкерів. Найчастіше використовуваним параметром руйнування в моделі скінчених

елементів (СЕ) є еквівалентна пластична деформація ε_{cr} . У разі перевищення значення критичної деформації елемент у моделі СЕ видаляється або зв'язки між елементами розриваються і моделюються руйнування.

Однак постійність параметра ε_{cr} обмежує моделювання пошкоджень. Крім того, практикою доведено, що ефективна деформація змінюється за різних типів напружень (для чистого розтягування, зсуву і їхніх комбінацій). Тобто результати моделювання для великого розкиду напружених станів є дещо грубими. Для подолання цих проблем можуть використовуватися інші моделі руйнування, наприклад моделі зростання пустот [214, 215]. Дана модель базується на введенні тривісних станів напружень σ_m/σ_{eq} , яке визначається через середнє напруження σ_m і еквівалентне напруження σ_{eq} . На жаль, у даних моделях в основному розглядають розтягування як основний тип напружень у тривісному режимі. Для охоплення всього діапазону тривісних напружень необхідно поєднувати різні моделі: модель руйнування, що використовує формулу Кроккрофта-Латама для нижнього діапазону тривісності $-1/3 < \sigma_m/\sigma_{eq} < 0$, і модель МакКлінтока для верхнього режиму $\sigma_m/\sigma_{eq} > 1/3$ [216]. Зона з переважанням зсуву $0 < \sigma_m/\sigma_{eq} < 1/3$ визначається експериментами і чисельним моделюванням.

Гарні результати прогнозування поведінки поширення тріщини та глобального деформаційного відгуку при поєднанні скінченно-елементних кодів і моделей руйнування досягаються лише за умови адаптації методу руйнування до розміру та форми сітки моделі. Це пояснюється сильною залежністю моделі СЕ від розміру сітки, коли різні розміри комірок при моделюванні однакового завдання є причиною різних прогнозів напружень і деформацій. Отже, застосування у моделях руйнування виключно значень деформації або пошкодження елемента є основною причиною різних допусків на руйнування і, отже, до різної поведінки конструкції.

Для зменшення впливу розміру комірок впроваджено усереднення параметрів руйнування за певним об'ємом [217], що вимагає знання критичних значень тріщин в усередненому об'ємі. Заздалегідь визначені залежності

величини пошкодження від розміру елемента дозволяють визначити параметри руйнування. Метод є ефективним в задачах із відносно великими розмірами комірок, наприклад, при моделюванні посадки суден на мілину [218].

Вплив топології дна. Першорядну важливість при оцінці можливих руйнувань у місці посадки судна на мілину грають умови морського дна. А ці умови можуть варіюватися від м'якого дна (глина, пісок) до різких, жорстких перешкод, наприклад гострих вершин. У критичних ситуаціях важливе значення має дослідження характеристик морського дна в потенційних місцях посадки на мілину й оцінка їхньої функціональності. При наявності часу та можливостей необхідно прийняти певні заходи щодо підготовки морського дна для вирівнювання поверхні та видалення несприятливих перешкод. Таким чином, при моделюванні пошкоджень днища судна обов'язково враховуватимуть фактичні умови морського дна.

Крім вказаних вище факторів, що впливають на балку корпусу в місці посадки на мілину, необхідно також враховувати вплив умов навколишнього середовища. Приливні коливання, мілководдя, вітер і хвилі можуть значно змінювати диферент та/або осадку судна, що сіло на мілину, і, тим самим, призвести до надмірних зусиль на балці корпусу, навіть у захищених водах.

Рух у горизонтальній площині переважно являє собою поздовжнє уповільнення судна до повної зупинки. У разі сильного зміщення точка посадки на мілину від центру може статися деяке зачеплення. У разі недостатньо доброго пришвартування судна, що сіло на мілину, можливе розгойдування і/або зачеплення через вітер і хвилі.

СППР здатна впоратися з більш складними сценаріями, коли, наприклад за недостатністю функціоналу системи аварійного реагування танкер може бути викинутий на берег у дуже несприятливому місці (нерівне морське дно, високий ступінь впливу довкілля тощо) або в місці з дуже обмеженою інформацією, і з цим випадком.

Таким чином, одержав подальший розвиток метод підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у

важких умовах плавання при посадці на міліну у районі порту, який на відміну від відомих, відрізняється застосуванням типових сценаріїв посадки судна на міліну, виконуваних розрахунків руху жорсткого тіла, збитків і залишкової міцності судна у пошкодженому стані, що дозволяє у режимі реального часу запропонувати для особи, яка приймає рішення, альтернативні дії зі збереження цілісності судна, а також варіант з оцінкою пошкоджень днища і навантажень на балки корпусу судна під час посадки на міліну і передбачити наслідки від такої дії.

Проведені дослідження показали ефективність запропонованого підходу для оцінки управління судном для обмеження навантажень, щоб пошкодження корпусу не поширилися до критичного рівня для всього судна, та, у крайньому випадку, для оцінки наслідків посадки судна на міліну (структурні пошкодження, розрив, можливе затоплення або розлив нафти), включаючи подальший розвиток пошкоджень і розливу через коливання припливу та/або посилення хвиль і вітру.

3.3 Метод управління операційними ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у портах в умовах небезпечних ситуацій на судні

Розроблено підхід щодо оцінки операційних ризиків при його реалізації у СППР при виконанні ВРР у порту в умовах небезпечних ситуацій на судні. Розглянуто тільки ті операційні ризики, що зустрічаються під час ВРР в портах, що сприяє ефективному управлінню ними. Розглянуто лише п'ять типів машин, механізмів й обладнання, що найчастіше працюють під час ВРР у портах, – термінальні тягачі, крани Gottwald, порталні крани, механічні укладачі, виловні навантажувачі. Метод нечіткого аналізу ієрархії дозволив врахувати і ранжувати у порядку важливості виявлені ризики, які виникають при роботі розглянутих машин і порівняти потенційні ризики для всіх розглянутих видів обладнання. Встановлено найважливіші ризики, з яким

стикається кожен вид досліджуваного обладнання. Запропоновано запобіжні заходи, які відповідають кращим практикам для зменшення шкідливих наслідків для кожного виду ризику. Доведено, що ризик виникнення пожежі або вибуху при заправці розглянутих видів машин є найбільш критичним ризиком. Запропоновано формально-логічний апарат, який застосовується у СППР для реагування на небезпечні стани на судні у порту.

3.3.1 Загальний характер управління операційним ризиком

Управління операційними ризиками (УОР) набуває особливого значення в морській галузі. Сьогодення характеризується розвитком «розумних» портів, всебічним втіленням різноманітних СППР в умовах неоднозначності, неточності та суперечливості інформації, що надходить, швидкої динаміки зміни обстановки, необхідності приймати нестандартні рішення. При виникненні таких ситуацій у порту часто виникає потреба швидкого та безпечного проведення ВРР із залучення всього наявного комплексу обладнання. При виникненні надзвичайних ситуацій у порту необхідно провести аналіз ризиків використовуваної у портах вантажно-розвантажувальної техніки. Для оцінки безпеки використано метод нечіткого аналізу ієрархій (МНАІ) для виявлення потенційних ризиків використовуваних у портах машин і зменшення ризиків і можливих наслідків від їхнього настання. Отримані результати можуть бути використані як початкові дані для функціонування СППР. Така система не тільки пропонуватиме ОПР конкретні напрямки дій для ліквідації небезпечної ситуації, а й оцінювати потенційні ризики застосування вантажно-розвантажувальної техніки в конкретних умовах небезпечної ситуації в порту.

Тобто, виконання вантажно-розвантажувальних робіт у портах вимагає управління операційними ризиками на раціональній основі.

Виконання вантажно-розвантажувальних робіт у портах завжди несе

деяку ймовірність (ризик) виникнення небажаних подій, а управління операційними ризиками набуває все більш важливого значення [219–226].

Основними причинами операційного ризику виникнення є невдалі (неадекватні) внутрішні процеси, що протікають в організації, або зовнішні події, що мають безпосередній або опосередкований вплив на неї (рис. 3.25).

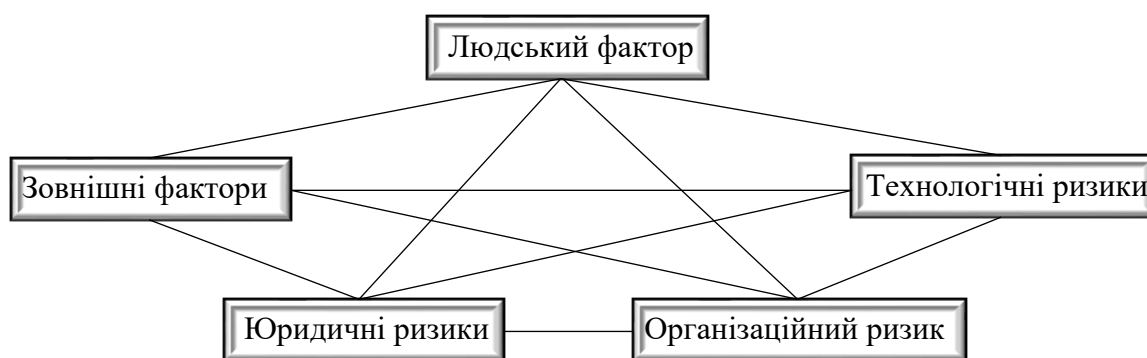


Рисунок 3.25 – Основні складові операційного ризику та взаємозв'язки між ними

(Джерело – розроблено автором)

Управління операційним ризиком являє собою безперервний циклічний процес щодо оцінки ризику, прийняття рішень щодо нього та впровадження засобів контролю для прийняття, пом'якшення або уникнення ризику [227]. Отже, управління операційними ризиками – це нагляд за ними, включаючи ризик збитків, що виникають через неадекватні або неправильні внутрішні процеси, що відбуваються у системі, людський фактор чи зовнішні події [228].

Операційні ризики в судноплаванні складаються з ризиків, що виникають під час морських перевезень, і ризиків, що виникають під час вантажно-розвантажувальних робіт у портах (рис. 3.26) [229]. До першої групи операційних ризиків відносяться зіткнення, пожежі, терористичні акти, погані погодні умови і несправності вантажних систем. Людський фактор, погані погодні умови, поломки машин й обладнання, несправності в кріпленні та збої в програмному забезпеченні складають групу операційних ризиків, що виникають під час вантажно-розвантажувальних робіт у портах.



Рисунок 3.26 – Загальна класифікація операційних ризиків у судноплавстві
(Джерело – розроблено автором)

Дуже важкою вважається ситуація, коли до надзвичайної події у порту додаються несправності вантажно-розвантажувальної техніки, що виникають під час виконання ВРР.

3.3.2 Дослідження ризиків у машинах й обладнанні за допомогою методу нечіткого аналізу ієрархій

Для виконання ВРР у портах використовують лінійку різноманітних машин й обладнання, що викликає появу відповідного ризику, який проаналізовано за допомогою МНАІ. Ризики перераховані в порядку важливості і запропоновані запобіжні заходи для зменшення кожного ризику і його наслідків. Крім того, МНАІ використовується для порівняння потенційних ризиків, з якими можуть зіткнутися всі розглянуті машин й обладнання [43].

У вантажно-розвантажувальних роботах у портах використовуються термінальні тягачі, екскаватори, навантажувачі, механічні укладачі (контейнеровози з повними та порожніми контейнерами), мобільні навантажувальні крани на гумових колесах (RTG), мобільні навантажувальні крани на залізничному ході (RMG), крани типу «судно-берег» (SSG), мобільні портові крани Gottwald, порталні крани тощо [230].

З усієї номенклатури обладнання виділимо множину {Термінальні тягачі; Крани Gottwald; Портальні крани; Механічні укладачі; Вилочні навантажувачі}. Ризики, пов'язані з кожним видом машин, позначимо як $Ri, (i = \overline{1, 5})$, де i – вид машин з введеної множини. Кожен Ri представляє собою один підфакторний набір з виразом r_{ij} – де j номер ризику для i –го виду (групи) машин (обладнання) [43].

Тоді ризики, що виникають в портовому обладнанні і машинах, утворюють множину $R = \{R1, R2, R3, R4, R5\}$, де $R1$ – ризики, пов'язані з термінальними тягачами; $R2$ – з кранами Gottwald; $R3$ – з порталними кранами; $R4$ – з механічними укладачами; $R5$ – з вилочними навантажувачами.

Ризики, характерні для термінальних тягачів (R1)

Термінальний тягач – це сидельний тягач, який переміщує напівпричепи у межах вантажного двору, складського приміщення або інтермодального об'єкта. Дії та ризики, з якими стикається термінальний тягач, показані у таблиці 3.2, а нечіткі перетворення МНАІ для ризиків, що виникають на термінальному тягачі, – у таблицях 3.3–3.5.

Таблиця 3.2 – Діяльність/ризик, характерні для термінального тягача
(Джерело – розроблено автором)

	Діяльність	Ризики	Ймовірність	Гяжкість	Загалом
r_{11}	Заправка	Ризик виникнення пожежі/вибуху внаслідок наближення до зони заправки з предметами, які можуть спричинити пожежу та вибух, а також виконання заправки без дотримання інструкції по заправці	0,2	50	10
r_{12}	Транспортування контейнерів на майданчики для штабелювання	Ризик контакту з кислотою або ураження електричним струмом внаслідок невикористання засобів захисту або недотримання інструкцій під час роботи з акумуляторами, ризик вибуху акумуляторі	0,2	40	8
r_{13}	Процес перевірки електриками акумуляторної системи	Ризик контакту з кислотою або ураження електричним струмом внаслідок невикористання засобів захисту або недотримання інструкцій під час роботи з акумуляторами, ризик вибуху акумуляторі	0,2	30	6
r_{14}	Роботи з технічного обслуговування тягача, що виконуються технічним відділом	Ризик травмування персоналу в результаті видалення деталей, таких як штифти і підшипники, під час операцій видалення штифтів на точках з'єднання машини	0,4	20	8
r_{15}	Транспортування контейнерів на майданчики для штабелювання	Ризик перекидання термінального тягача та/або контейнера внаслідок швидкого маневрування	0,5	10	5

Таблиця 3.3 – Матриця попарного порівняння
(Джерело – розроблено автором)

	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}
r_{11}	1	2	3	4	6
r_{12}	$\frac{1}{2}$	1	2	4	5
r_{13}	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	3	4
r_{14}	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	1	2
r_{15}	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1

Таблиця 3.4 – Нечітка матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}
r_{11}	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)
r_{12}	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)
r_{13}	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)
r_{14}	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
r_{15}	($\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{7}$)	($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)

Таблиця 3.5 – Нечіткі кроки МНАІ для термінального тягача

(Джерело – розроблено автором)

	Нечітке середнє геометричне значення (\check{r})	Нечітка вага (\bar{w})	Вага (w)	Нормалізована вага (\bar{w})	Ранг
r_{11}	(1,97; 2,70; 3,35)	(0,307; 0,465; 0,640)	0,419	0,414	1
r_{12}	(1,64; 1,82; 1,97)	(0,256; 0,313; 0,378)	0,281	0,277	2
r_{13}	(1,25; 1,15; 1,11)	(0,173; 0,176; 0,189)	0,179	0,177	3
r_{14}	(0,56; 0,53; 0,50)	(0,087; 0,091; 0,094)	0,081	0,080	4
r_{15}	(0,44; 0,33; 0,28)	(0,069; 0,058; 0,053)	0,0531	0,052	5

Отже, у термінальних тягачах виникають такі основні ризики:

r_{11} – ризик виникнення пожежі/вибуху внаслідок наближення до зони заправки з предметами, які можуть спричинити пожежу та вибух, а також виконання заправки без дотримання інструкції з заправки;

r_{12} – ризик зіткнення термінальних тягачів і транспортних засобів через нерегульований транспортний потік, ризик розчавлення працівників терміналу тягачем;

r_{13} – ризик перекидання термінального тягача та/або контейнера в результаті швидкого маневрування;

r_{14} – ризик контакту з кислотою або ураження електричним струмом внаслідок невикористання захисних засобів або недотримання інструкцій під

час контролю акумуляторів, ризик вибуху акумуляторів;

r_{15} – ризик травмування персоналу такими деталями, як штифти та підшипники, що виймаються під час операцій з видалення штифтів у місцях з'єднання машини.

Для зменшення ризиків та наслідки ризиків, що виникають у термінальних тягачах, рекомендовані такі запобіжні заходи:

p_{11} : Використовувати пояснювальні знаки різними мовами в зоні заправки, закрити цю зону і забезпечити доступ до неї тільки уповноваженому персоналу за картками, мати пожежну команду і транспортний засіб досить близько до цієї зони;

p_{12} : Використання чітких попереджувальних дорожніх знаків різними мовами, безпечний інтервал між перемиканнями світлофора, використання бар'єрів у місцях, де транспортний потік дуже складний;

p_{13} : Завантаження програмного забезпечення для обмеження швидкості на двигуни термінальних тягачів, призначення польового персоналу для перевірки правильності кріплення контейнера, завантаженого на тягач, перед виїздом;

p_{14} : Проведення регулярних тренінгів для персоналу, відповідального за заміну акумуляторів та електротехнічні роботи, повне забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту, наявність добре обладнаного медпункту та присутність медичного персоналу в майстерні технічного обслуговування;

p_{15} : Забезпечити весь персонал необхідними засобами індивідуального захисту та призначити польовий персонал для нагляду за їх використанням, мати добре обладнаний медпункт та медичний персонал в майстерні технічного обслуговування.

Ризики, з якими стикаються крани Gottwald (R2)

Крани Gottwald – це мобільні портові крани, які переміщують контейнери, генеральні та проектні вантажі в багатоцільовому терміналі, здебільшого мають дизель-електричний двигун. Діяльність та ризики, з якими стикаються крани Gottwald, наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Діяльність/ризика, характерні для кранів Gottwald

(Джерело – розроблено автором)

	Діяльність	Ризики	Ймовірність	Тяжкість	Загалом
r_{21}	Завантаження та розвантаження	Ризик розриву та вибуху кабелю внаслідок потрапляння транспортних засобів та працівників у зону руху крана, здавлювання високовольтного кабелю транспортними засобами	3	5	15
r_{22}	Обслуговування, усунення несправностей і контроль процесу	Ризик вибуху гідравлічного шлангу внаслідок роботи портової машини без усунення високого гідравлічного тиску в гідравлічній напірній магістралі та/або портової машини без дотримання запобіжних заходів	3	4	12
r_{23}	Завантаження та розвантаження	Ризик обриву канатів лебідки через відсутність технічного обслуговування канатів і шківів, ризик падіння вантажу в результаті обриву канатних шківів	2	5	10
r_{24}	Заправка дизель-генераторів, які забезпечують електроенергією кран	Ризик пожежі та вибуху через розбризкування палива, мастила	2	4	8
r_{25}	Завантаження та розвантаження	Ризик пошкодження вантажопідйомних засобів, таких як канати та гаки, а також падіння вантажу внаслідок використання крана понад допустиму вантажопідйомність через недотримання оператором зазначених інструкцій з експлуатації крана	1	5	5

Основними ризиками, що виникають у кранах Gottwald, є:

r_{21} – ризик розриву та вибуху кабелю внаслідок потрапляння транспортних засобів та працівників у зону руху крана, здавлювання високовольтного кабелю транспортними засобами;

r_{22} – ризик вибуху гідравлічного шланга внаслідок роботи портової машини без усунення високого гідравлічного тиску в гідравлічній напірній магістралі та/або портової машини без дотримання запобіжних заходів;

r_{23} – ризик обриву канатів лебідки через відсутність технічного

обслуговування канатів і шківів, ризик падіння вантажу в результаті обриву канатних шківів;

r_{24} – ризик пожежі та вибуху через розбризкування палива, мастила;

r_{25} – ризик пошкодження вантажопідйомних засобів, таких як канати та гаки, а також падіння вантажу внаслідок використання крана понад допустиму вантажопідйомність через недотримання оператором зазначених інструкцій з експлуатації крана.

Нечіткі кроки МНАІ для ризиків, що виникають при роботі крана Gottwald, показані в таблицях 3.7-3.9.

Таблиця 3.7 – Матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}	r_{25}
r_{21}	1	1	2	3	3
r_{22}	1	1	3	3	2
r_{23}	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1	2	1
r_{24}	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2
r_{25}	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1

Таблиця 3.8 – Нечітка матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}	r_{25}
r_{21}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)
r_{22}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(1, 2, 3)
r_{23}	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)
r_{24}	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
r_{25}	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)

Таблиця 3.9 – Нечіткі кроки МНАІ для кранів Gottwald

(Джерело – розроблено автором)

	Нечітке середнє геометричне значення (\check{r})	Нечітка вага (\bar{w})	Вага (w)	Нормалізована вага (\bar{w})	Ранг
r_{21}	(1,32; 1,78; 2,17)	(0,214; 0,321; 0,437)	0,324	0,319	1
r_{22}	(1,32; 1,78; 2,17)	(0,214; 0,321; 0,437)	0,324	0,319	1
r_{23}	(0,76; 0,85; 0,89)	(0,123; 0,153; 0,180)	0,152	0,150	2
r_{24}	(0,87; 0,61; 0,49)	(0,141; 0,110; 0,983)	0,116	0,177	3
r_{25}	(0,70; 0,53; 0,44)	(0,114; 0,095; 0,089)	0,099	0,098	4

Для зменшення ризиків та наслідки ризиків, що виникають для кранів Gottwald, рекомендовані такі запобіжні заходи:

p_{21} : Проходження високовольтного кабелю на висоті, що запобігає його перетисканню/розриву, використання мобільних загороджень для запобігання в'їзду транспортних засобів в робочу зону крана Gottwald, або призначення навченого персоналу на місці проведення робіт;

p_{22} : Використовувати датчик тиску та програмне забезпечення для запобігання початку роботи без зняття гідравлічного тиску, регулярно інформуючи про це персонал;

p_{23} : Планування регулярного технічного обслуговування кранових тросів і блоків та використання програмного забезпечення для нагадування з метою запобігання забуванню;

p_{24} : Забезпечити, щоб заправку здійснював лише уповноважений та навчений персонал, а також наявність достатньої кількості засобів реагування на надзвичайні ситуації для запобігання поширенню вогню у разі пожежі;

p_{25} : Встановлення датчиків на тросах лебідки та використання програмного забезпечення, яке б дозволяло автоматично зупиняти кран/сповіщати уповноважених осіб у разі перевищення безпечної межі підйому вантажу.

Ризики, що виникають на порталних кранах (R3)

Портальний кран є потужною машиною, яка використовується для підйому дуже великих об'єктів (морські контейнери різного розміру та ваги).

Кожен порталний кран має пару вертикальних сталевих опор з довгою горизонтальною колією, з'єднаною з верхньою частиною кожної опори. Діяльність та ризики, з якими стикаються порталні крани, наведені у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Діяльність/ризики, характерні для порталних кранів

(Джерело – розроблено автором)

	Діяльність	Ризики	Ймовірність	Тяжкість	Загалом
r_{31}	Обробка та укладання вантажу	Ризик обриву тросів лебідки через відсутність технічного обслуговування тросів і блоків, ризик падіння вантажу внаслідок обриву канатних блоків	2	5	10
r_{32}	Портальна естакада	Ризик сходження крана з рейок через деформацію коліс або рейок крана та/або швидкий рух крана під час навантаження	1	5	5
r_{33}	Обробка та укладання вантажу	Ризик пошкодження вантажопідйомного обладнання, такого як канати та гаки, а також падіння вантажу внаслідок використання оператором крана з перевищенням вантажопідйомності через недотримання зазначених інструкцій з експлуатації крана	2	4	8
r_{34}	Роботи з технічного обслуговування, ремонту та контролю	Ризик падіння персоналу з висоти внаслідок початку роботи без вживання заходів безпеки під час виконання робіт з контролю та технічного обслуговування, що проводяться на верхівці крана	4	2	8
r_{35}	Портальна естакада	Ризик зіткнення в результаті завантаження / паркування транспортного засобу на підкрановій доріжці	1	4	4

Перелік описів основних ризиків, що виникають у порталних кранах:

r_{31} – ризик обриву тросів лебідки через відсутність технічного обслуговування тросів і блоків, ризик падіння вантажу внаслідок обриву канатних блоків;

r_{32} – ризик сходження крана з рейок через деформацію коліс або рейок

крана та/або швидкий рух крана під час навантаження;

r_{33} – ризик пошкодження вантажопідйомного обладнання, такого як канати та гаки, а також падіння вантажу внаслідок використання оператором крана з перевищенням вантажопідйомності через недотримання зазначених інструкцій з експлуатації крана;

r_{34} – ризик падіння персоналу з висоти внаслідок початку роботи без вживання заходів безпеки під час виконання робіт з контролю та технічного обслуговування, що проводяться на верхівці крана;

r_{35} – ризик зіткнення в результаті завантаження / паркування транспортного засобу на підкрановій доріжці.

Нечіткі кроки МНАІ для ризиків, що виникають при роботі порталних кранів, наведені в таблицях 3.11-3.13.

Таблиця 3.11 – Матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_{31}	r_{23}	r_{33}	r_{34}	r_{35}
r_{31}	1	1	2	3	4
r_{32}	1	1	2	3	4
r_{33}	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	2
r_{34}	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	1	3
r_{35}	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1

Таблиця 3.12 – Нечітка матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_{31}	r_{23}	r_{33}	r_{34}	r_{35}
r_{31}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)
r_{32}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)
r_{33}	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
r_{34}	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)
r_{35}	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)

Таблиця 3.13 – Нечіткі кроки МНАІ для порталних кранів

(Джерело – розроблено автором)

	Нечітке середнє геометричне значення (\check{r})	Нечітка вага (\bar{w})	Вага (w)	Нормалізована вага (\bar{w})	Ранг
r_{31}	(1,43; 1,89; 2,27)	(0,222; 0,321; 0,422)	0,322	0,318	1
r_{32}	(1,43; 1,89; 2,27)	(0,222; 0,321; 0,422)	0,322	0,318	1
r_{33}	(1,00; 0,87; 0,80)	(0,155; 0,148; 0,149)	0,151	0,149	2
r_{34}	(0,87; 0,80; 0,86)	(0,135; 0,136; 0,141)	0,138	0,136	3
r_{35}	(0,64; 0,44; 0,34)	(0,100; 0,074; 0,063)	0,079	0,078	4

Для зменшення ризиків та наслідки ризиків, що виникають для порталних кранів, рекомендовані такі запобіжні заходи:

p_{31} : Планування регулярного технічного обслуговування кранових тросів і блоків та використання програми-нагадування для запобігання забуванню;

p_{32} : Перевірка та обслуговування коліс і рейок крана через регулярні проміжки часу, використання програмного забезпечення з нагадуванням для запобігання зриву цього обслуговування, та яке встановлює обмеження швидкості кранів відповідно до ваги вантажу, який вони перевозять;

p_{33} : Встановлення датчиків на тросах лебідки та використання програмного забезпечення, яке б дозволяло автоматично зупиняти кран/сповіщати уповноважених осіб у разі перевищення безпечної межі підйому вантажу;

p_{34} : Періодично проводити навчання персоналу, який працює на висотних кранах, для роботи на висоті, а також призначати персонал на місці для контролю за роботою персоналу на висоті для обслуговування крана;

p_{35} : Використання чітких попереджувальних знаків різними мовами біля підкранової колії, забезпечення належного освітлення, щоб рейки крана було видно вночі.

Ризики, що виникають з механічними укладачами (R4)

Механічний укладач – це транспортний засіб, що використовується для обробки інтермодальних вантажних контейнерів на невеликих терміналах або в портах середнього розміру. Механічні укладачі здатні дуже швидко

транспортувати контейнери на короткі відстані і складати їх у різні ряди в залежності від доступу до них. Дії та ризики, з якими стикається механічний укладач, показані в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Діяльність/ризики, характерні для механічних укладачів
(Джерело – розроблено автором)

	Діяльність	Ризики	Ймовірність	Тяжкість	Загалом
r_{41}	Заправка паливом	Ризик пожежі/вибуху в результаті наближення до зони заправки з предметами, які можуть спричинити пожежу та вибух, а також виконання заправки без дотримання інструкції	1	5	5
r_{42}	Штабелювання вантажу	Ризик нещасного випадку в результаті швидкого маневрування операторів механічних укладачів на території порту та/або перевищення встановленого обмеження швидкості	2	3	6
r_{43}	Штабелювання вантажу	Ризик падіння контейнера і пошкодження машин і устаткування в результаті неправильної роботи ламп, що вказують на положення поворотних замків спредера	3	3	9
r_{44}	Штабелювання вантажу	Ризик зіткнення з транспортними засобами, такими як легкові та вантажні автомобілі, а також з працівниками, які заїжджають у робочу зону механічного укладача	1	4	4
r_{45}	Контроль та обслуговування акумуляторної системи	Ризик контакту з кислотою або ураження електричним струмом внаслідок невикористання захисних засобів або недотримання інструкцій під час роботи з акумуляторами, ризик вибуху акумуляторів	4	2	8

Отже надаємо перелік описів основних ризиків, що виникають у механічних укладачах:

r_{41} – ризик пожежі/вибуху в результаті наближення до зони заправки з предметами, які можуть спричинити пожежу та вибух, а також виконання заправки без дотримання інструкції з заправки;

r_{42} – ризик нещасного випадку в результаті швидкого маневрування

операторів механічних укладачів на території порту та/або перевищення встановленого обмеження швидкості;

r_{43} – ризик падіння контейнера і пошкодження машин і устаткування в результаті неправильної роботи ламп, що вказують на положення поворотних замків спредера;

r_{44} – ризик зіткнення з транспортними засобами, такими як легкові та вантажні автомобілі, а також з працівниками, які заїжджають у робочу зону механічного укладача;

r_{45} – ризик контакту з кислотою або ураження електричним струмом внаслідок невикористання захисних засобів або недотримання інструкцій під час роботи з акумуляторами, ризик вибуху акумуляторів.

Нечіткі кроки МНАІ для ризиків, що виникають при роботі механічного укладача, наведені в таблиці 3.15-3.17.

Таблиця 3.15 – Матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_{41}	r_{42}	r_{43}	r_{44}	r_{45}
r_{41}	1	1	2	3	5
r_{42}	1	1	2	2	3
r_{43}	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	3
r_{44}	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	1	4
r_{45}	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	1

Таблиця 3.16 – Нечітка матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_{41}	r_{42}	r_{43}	r_{44}	r_{45}
r_{41}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)
r_{42}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)
r_{43}	(1, 1, 1)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)
r_{44}	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(3, 4, 5)
r_{45}	($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	(1, 1, 1)

Таблиця 3.17 – Нечіткі кроки МНАІ для механічних укладачів

(Джерело – розроблено автором)

	Нечітке середнє геометричне значення (\check{r})	Нечітка вага (\bar{w})	Вага (w)	Нормалізована вага (\bar{w})	Ранг
r_{41}	(1,52; 1,97; 2,35)	(0,237; 0,338; 0,439)	0,338	0,335	1
r_{42}	(1,15; 1,64; 2,05)	(0,180; 0,282; 0,382)	0,281	0,278	2
r_{43}	(1,15; 0,94; 0,85)	(0,180; 0,162; 0,159)	0,167	0,165	3
r_{44}	(1,08; 0,920; 0,84)	(0,170; 0,158; 0,157)	0,162	0,160	4
r_{45}	(0,46 0,35; 0,29)	(0,072; 0,061; 0,054)	0,062	0,062	5

Для зменшення ризиків та наслідки ризиків, що виникають для механічних укладачів, рекомендовані такі запобіжні заходи:

p_{41} : Використовувати пояснювальні таблички різними мовами в зоні заправки, закрити цю зону і забезпечити доступ до неї тільки уповноваженого персоналу за картками, мати пожежну команду і транспортний засіб досить близько до цієї зони;

p_{42} : Завантаження програмного забезпечення для обмеження швидкості на двигуни механічних укладачів;

p_{43} : Регулярно перевіряти та обслуговувати лампи поворотних замків, забезпечуючи належне освітлення робочої зони під час роботи вночі;

p_{44} : Використання чітких попереджувальних знаків різними мовами, використання бар'єрів навколо зони роботи механічних укладачів;

p_{45} : Проведення регулярних тренінгів для персоналу, відповідального за заміну акумуляторів та електротехнічні роботи, повне забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту, наявність добре обладнаного медпункту та присутність медичного персоналу в майстерні технічного обслуговування.

Ризики, пов'язані з вилковими навантажувачами (R5)

Вилковий навантажувач – це промисловий навантажувач, який використовується для підйому та переміщення матеріалів на невеликі відстані. Дії та ризики, пов'язані з вилковим навантажувачем, наведені в таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 – Діяльність/ризик, характерні для вилкових навантажувачів
(Джерело – розроблено автором)

	Діяльність	Ризики	Ймовірність	Тяжкість	Загалом
r_{51}	Заправка паливом	Ризик пожежі/вибуху в результаті наближення до зони заправки з предметами, які можуть спричинити пожежу та вибух, а також виконання заправки без дотримання інструкції	1	5	5
r_{52}	Обробка та штабелювання вантажу	Ризик зіткнення навантажувачів і транспортних засобів внаслідок неконтрольованого в'їзду працівників і транспортних засобів у зону роботи навантажувачів, ризик защемлення працівників	2	4	8
r_{53}	Обробка та штабелювання вантажу	Ризик падіння вантажу, що перевозиться або підвішується, або перекидання навантажувача внаслідок неправильного завантаження вантажу	4	3	12
r_{54}	Заміна шин	Ризик защемлення працівника під час зняття шини внаслідок пошкодження компонентів, які фіксують шини, або якщо шини закріплені неправильно	3	1	3
r_{55}	Роботи з технічного обслуговування, ремонту та контролю	Ризик контакту з кислотою або ураження електричним струмом внаслідок невикористання захисних засобів або недотримання інструкцій під час роботи з акумуляторами, ризик вибуху акумуляторів	4	1	4

Перелік описів основних ризиків, що виникають у вилкових навантажувачах:

r_{51} – ризик пожежі/вибуху в результаті наближення до зони заправки з предметами, які можуть спричинити пожежу та вибух, а також виконання заправки без дотримання інструкції з заправки;

r_{52} – ризик зіткнення з транспортними засобами, такими як легкові та вантажні автомобілі, а також з працівниками, які заїжджають у робочу зону механічного укладача;

r_{53} – ризик падіння контейнера і пошкодження машин і устаткування в результаті неправильної роботи ламп, що вказують на положення поворотних замків спредера;

r_{54} – ризик нещасного випадку в результаті швидкого маневрування операторів механічних укладачів на території порту та/або перевищення встановленого обмеження швидкості;

r_{55} – ризик контакту з кислотою або ураження електричним струмом внаслідок невикористання захисних засобів або недотримання інструкцій під час роботи з акумуляторами, ризик вибуху акумуляторів.

Нечіткі кроки МНАІ для ризиків, що виникають при роботі вилковим навантажувач, наведені в таблиці 3.19-3.21.

Таблиця 3.19 – Матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_{51}	r_{52}	r_{53}	r_{54}	r_{55}
r_{51}	1	2	3	5	5
r_{52}	$\frac{1}{2}$	1	2	4	4
r_{53}	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	3	2
r_{54}	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	1	5
r_{55}	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	1

Таблиця 3.20 – Нечітка матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_{51}	r_{52}	r_{53}	r_{54}	r_{55}
r_{51}	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)
r_{52}	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)
r_{53}	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)
r_{54}	($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
r_{55}	($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)

Таблиця 3.21 – Нечіткі кроки МНАІ для вилкових навантажувачів

(Джерело – розроблено автором)

	Нечітке середнє геометричне значення (\check{r})	Нечітка вага (\bar{w})	Вага (w)	Нормалізована вага (\bar{w})	Ранг
r_{51}	(2,00; 2,72; 3,37)	(0,299; 0,445; 0,597)	0,447	0,443	1
r_{52}	(1,15; 1,74; 1,90)	(0,232; 0,285; 0,3382)	0,285	0,282	2
r_{53}	(0,87; 0,70; 0,61)	(0,130; 0,114; 0,108)	0,117	0,116	3
r_{54}	(0,61; 0,48; 0,41)	(0,091; 0,078; 0,072)	0,080	0,080	4
r_{55}	(0,61; 0,48; 0,41)	(0,091; 0,078; 0,072)	0,080	0,080	4

Для зменшення ризиків та наслідки ризиків, що виникають для вилкових навантажувачів, рекомендовані такі запобіжні заходи:

p_{51} : Використовувати пояснювальні таблички різними мовами в зоні заправки, закрити цю зону і забезпечити доступ до неї тільки уповноваженому персоналу за картками, мати пожежну команду і транспортний засіб досить близько до цієї зони;

p_{52} : Використання чітких попереджувальних знаків різними мовами, наявність достатньої кількості персоналу для спостереження на ділянці;

p_{53} : Встановлення програмного забезпечення для обмеження швидкості на двигун навантажувача, призначення персоналу на місцях для перевірки правильності завантаження навантажувача, проведення регулярних тренінгів для операторів навантажувачів;

p_{54} : Проведення регулярних тренінгів для персоналу, відповідального за виконання робіт з обслуговування шин, повне забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту та необхідним технічним обладнанням, наявність добре обладнаного медпункту та медичного персоналу в цеху технічного обслуговування;

p_{55} : Проведення регулярних тренінгів для персоналу, відповідального за технічне обслуговування, повне забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту, наявність добре обладнаного медпункту та медичного персоналу в цеху технічного обслуговування.

Порівняння потенційних ризиків, що виникають у вибраних вантажно-розвантажувальних машинах (з МНАІ)

Для оцінювання потенційних операційних ризиків, які мають місце у розглянутих машинах, використовуваних для ВРР у портах, застосовуються дані, наведені в таблиці 3.22. Пропонуються врахувати такі ризики:

Таблиця 3.22 – Матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7
r_1	1	2	3	2	2	4	5
r_2	$\frac{1}{2}$	1	3	2	3	3	4
r_3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	2	2	3	2
r_4	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1	3	2	1
r_5	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1	1	2
r_6	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	1	3
r_7	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1

r_1 : Ризик зіткнення в результаті того, що людина або транспортний засіб потрапляють в робочу зону машини або залишають вантаж у робочій зоні;

r_2 : Ризик пожежі / вибуху під час заправки портової машини паливом;

r_3 : Ризик падіння вантажу, що перевозиться, внаслідок недотримання оператором інструкцій;

r_4 : Ризик травмування обслуговуючого персоналу внаслідок ураження електричним струмом, відкидання рухомих частин, впливу кислоти під час операцій з технічного обслуговування;

r_5 : Ризик пошкодження вантажопідйомного обладнання в результаті використання оператором машини з перевищенням вантажопідйомності;

r_6 : Ризик втоми деталей машини та пошкодження машини внаслідок тривалої роботи вантажно-розвантажувальної машини без відпочинку ;

r_7 : Ризик нещасного випадку / зіткнення через необережність оператора.

Етапи аналізу та ранжування ризиків з використанням нечіткого МАІ наведені у таблицях 3.23, 3.24.

Таблиця 3.23 – Нечітка матриця попарного порівняння

(Джерело – розроблено автором)

	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7
r_1	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)
r_2	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)
r_3	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)
r_4	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)
r_5	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
r_6	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)
r_7	($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$)	(1, 1, 1)

Таблиця 3.24 – Нечіткі кроки МНАІ потенційних ризиків

(Джерело – розроблено автором)

	Нечітке середнє геометричне значення (\check{r})	Нечітка вага (\bar{w})	Вага (w)	Нормалізована вага (\bar{w})	Ранг
r_1	(1,74; 2,56; 3,31)	(2,112; 2,874; 3,445)	2,813	0,293	1
r_2	(1,43; 1,67; 1,87)	(1,739; 1,873; 1,949)	1,854	0,193	2
r_3	(1,17; 1,49; 1,72)	(1,486; 1,669; 1,795)	1,630	0,170	3
r_4	(1,22; 1,12; 1,04)	(1,426; 1,261; 1,086)	1,276	0,133	4
r_5	(0,85; 0,67; 0,58)	(1,042; 0,756; 0,605)	0,801	0,083	5
r_6	(0,82; 0,66; 0,58)	(1,000; 0,743; 0,599)	0,781	0,081	6
r_7	(0,52; 0,37; 0,29)	(0,635; 0,414; 0,302)	0,451	0,047	7

Таким чином, одержав подальший розвиток метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах небезпечної ситуації на судні, який, на відміну від відомих, відрізняється використанням методу нечіткого аналізу ієрархій для врахування і ранжування факторів ризику у порядку їх важливості, що дозволило розглядати його за апарат формалізації для систем підтримки прийняття рішень і порівнювати потенційні ризики для всіх розглянутих механізмів.

3.4 Метод системи підтримки прийняття рішень щодо виходу суден з порту в аварійних умовах

У переважній більшості випадків надзвичайні ситуації в порту настають раптово. Звичайний темп і ритм виконання операцій різко припиняється. Екіпаж судна і берегові служби переходять до роботи в умовах надзвичайної ситуації, коли в умовах неповноти і суперечливості інформації прийняті рішення повинні бути правильними, обґрунтованими й оперативними.

До стабілізації ситуації і переведення її у розряд нормальних від капітана судна вимагається зріла оцінка обстановки і вжиття на цієї основі адекватних запобіжних заходів. Часто обстановка вимагає швидкого виходу судна з портових вод [231].

Як правило, на проблеми, викликані надзвичайною ситуацією накладаються непрості погодні і гідрометеорологічні умови. Вони постійно змінюються у широкому діапазоні під час заходу (виходу) у (з) порт(у). Тому капітан і судноводій у разі прийняття рішення про покидання порту повинні враховувати не тільки ступінь складності обстановки, що склалася, але й маневрові можливості свого судна, відсутність у багатьох випадках підтримки з боку порту, а також вплив вітру, хвиль, течій, ефект мілководдя тощо [232].

У разі виникнення надзвичайних ситуацій у порту під час стоянки судна капітан не повинен вагатися, а має розглянути всі можливі дії для гарантованого безпечного виходу з порту або зони терміналу [231, 233-237]. Важливо враховувати, що вантажні термінали, призначені для зберігання небезпечних і шкідливих вантажів місця мають більшу глибину і тому переважно будуються поблизу входів до порту [238-240].

Але успішна реалізація прийнятого капітаном рішення можлива лише за умови доброї ситуаційної обізнаності та оцінки реальних маневрових можливостей судна. Тому в умовах стресоемоційного перевантаження капітана і членів екіпажу, неповноти, неточності і суперечливості інформації про реальну обстановку, що складається, суттєву роль відводиться СППР.

Після проведення необхідних розрахунків вона повинна надати однозначні рекомендації щодо необхідних маневрів, враховуючи тип судна, його конкретні характеристики на момент розрахунку, реальні значення погодних і гідрометеорологічних факторів, можливість залучення лоцмана і буксира.

При розрахунку маневреності судна враховуються зовнішні (вітер, хвилі, течія, ефект мілководдя і т. д.) і внутрішні (гребний гвинт і кермо, підрулюючі пристрої) сили, що впливають на судно.

Глибокі знання про маневрені можливості судна та вплив природних і внутрішніх умов на можливості його маневрування забезпечать формування правильного рішення задля забезпечення безпеки судна, яке виходить з порту або термінального району в найкоротший час для уникнення складних аварійних ситуацій (рис. 3.27).

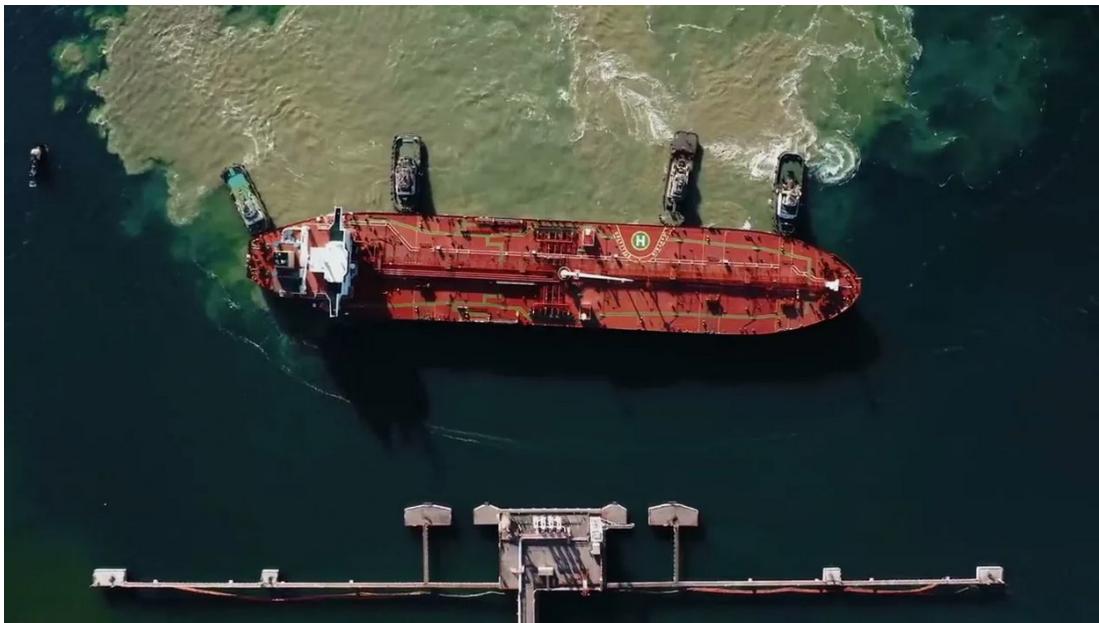


Рисунок 3.27 – Причал нафтового терміналу у порту Південний
(Джерело – <https://s09.stc.uc.kpcdn.net/share/i/12/12037146/wr-960.webp>)

3.4.1 Стисла характеристика надзвичайних ситуацій у портах

Надзвичайні ситуації в портах пов'язані з вибухами або пожежами на

терміналах, особливо на тих, що зберігають нафту, газ або хімічні продукти, коли перебування поруч неможливо через пришвартовані судна, які повинні покинути порт якнайшвидше. Терористичні атаки та інші потенційні небезпеки для суден також дуже часто викликають необхідність якнайшвидшого відходу з порту в найкоротші терміни [233, 241-243].

Лоцмани і портові буксири найчастіше обмежені у можливостях щодо допомоги суднам у НС через необхідність термінового виходу з порту багатьох суден одночасно. До того ж допомога буксирів необхідна для вирішення проблем, пов'язаних з аварійними ситуаціями в порту тощо.

Лоцманська допомога в НС часто може бути надана. Але іноді в портах банально не вистачає лоцманів, і капітан судна є єдиною особою, яка повністю відповідає за безпечний вихід судна з терміналу або порту, беручи до уваги маневреність судна та умови навколишнього середовища.

Хороші обізнаність та знання, у т. ч. можливостей маневрування судна під впливом несприятливих зовнішніх і внутрішніх факторів, можуть бути корисними для капітана в надзвичайних ситуаціях. Течії і вітри часто роблять вплив зовнішніх сил на судно різноспрямованим і їх необхідно використовувати для виконання поставлених завдань. Тому дуже корисним є застосування СППР для видачі рекомендацій капітану щодо виходу судна з портових вод у таких складних умовах.

В якості прикладу було взято нафтовий термінал (причали 1 і 2) в Одеському порту, де судна виходять з порту (рис. 3.28). Причали 1 і 2 перевалюють нафту, паливо і вакуумний газойль; причал 4 – дизельне паливо, мазут, вакуумний газойль і скраплений газ; причал 5 – нафту, бензин, дизельне паливо, мазут, вакуумний газойль та бензин; причал 6 – бензин і дизельне паливо, причал 7 – скраплений газ. Нафтові вантажі переміщуються спеціалізованими трубопроводами, які з'єднують причали з резервуарами.

Гідрометеорологічні відомості у районі порту Одеса. Протягом року переважають північно-західні *вітри*. З березня по вересень часті також південно-східні вітри. Швидкість вітру з квітня по вересень 5 м/с.



Рисунок 3.28 – Схема частини причалів нафтового терміналу в Одеському порту
(Джерело – розроблено автором)

Коливання рівня пов'язані здебільшого зі зганяльно-нагінними явищами. Північно-західні вітри знижують рівень, а східні – підвищують. Найбільша величина згінно-нагінних коливань рівня становить 2,9 м.

Течії в Одеській затоці слабкі; швидкість їх зазвичай 0,1-0,2 вуз, і навіть за сильних вітрів рідко перевищують 0,6 вуз.

Таким чином, комбінація впливу гідрометеорологічних умов у районі порту Одеса, включаючи додаткові зовнішні умови, такі як параметри каналу, може бути успішно використана в аварійних умовах.

СППР досліджує аварійні ситуації з урахуванням усіх можливих внутрішніх і зовнішніх факторів, які потенційно можуть вплинути на судно, в конкретних ситуаціях для забезпечення безпеки виходу його з порту в найкоротші терміни.

3.4.2 Математична модель маневреності суден в аварійних умовах

Для розрахунку маневреності судна при його виході з порту в аварійних

умовах визначимо відповідні сили і моменти, що впливають на судно [47, 242]:

$$X_{in} + X_k + X_\beta + X_p + X_N + X_a + X_{sr} + X_b + X_{sek} + T_x + T_V = 0; \quad (3.1)$$

$$Y_{in} + Y_k + Y_\beta + Y_p + Y_N + Y_a + Y_{sr} + Y_b + Y_{sek} + T_y + T_V = 0; \quad (3.2)$$

$$M_{in} + M_k + M_\beta + M_p + M_N + M_a + M_{sr} + M_b + M_{sek} + M_T + M_V = 0, \quad (3.3)$$

де X_{in} , Y_{in} , M_{in} – інерційні сили і моменти; X_k , Y_k , M_k – сили і моменти, що діють на корпус судна; X_β , Y_β , M_β – сили і моменти, що діють на корпус судна як на крило; X_p , Y_p , M_p – сили і моменти, що діють на штурвал (кермо) судна; X_N , Y_N , M_N – сили і моменти, що створюються судновими рушіями; X_a , Y_a , M_a – аеродинамічні сили і моменти X_{sr} , Y_{sr} , M_{sr} – сила і момент, що створюються течіями; X_b , Y_b , M_b – сила і момент, що створюються хвилями; X_{sek} , Y_{sek} , M_{sek} – сила і момент мілководдя; T_x , T_y , T_T – сила і моменти, що створюються гвинтом судна; X_V , Y_V , M_V – сила і момент, що створюються буксирами.

У багатьох випадках суднове рушійне обладнання генерує силу, необхідну для руху судна в напрямку X (носом або кормою), принаймні в портових умовах, і в залежності від вітру та течії. Основною проблемою аварійного відшвартування судна є рух у напрямку Y (диферент) і рульове керування. Тобто, судно повинно мати достатню потужність для керування в потрібному напрямку Y (диферент) і загального керування судном [236].

Отже, для забезпечення руху судна, що відходить від причалу, формули (2) та (3) перетворюються таким чином [241]:

$$(V + \lambda_{22}) \frac{dv}{dt} \cdot \sin\beta + Y_k + Y_\beta + Y_p + Y_N + Y_a + Y_{sr} + Y_b + Y_{sek} + T_y + T_V = 0; \quad (3.4)$$

$$(I + \lambda_{66}) \frac{d\omega}{dt} \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta + M_k + M_\beta + M_p + M_N + M_a + M_{sr} + M_b + M_{sek} + M_T + M_V = 0, \quad (3.5)$$

де V – маса судна (водотоннажність); λ_{22} – додана маса судна в напрямку Y ; $\frac{dv}{dt}$

– прискорення судна; β – кут дрейфу судна; I – момент інерції корпусу судна; λ_{66} – доданий момент; $\frac{d\omega}{dt}$ – прискорення повороту судна.

Рух судна в напрямку Y під час операції відшвартування зазвичай дуже повільний, оскільки судно зустрічає жорсткий бортовий опір (в напрямку Y). У таких випадках інерційні сили і моменти не можуть бути враховані.

Загальний опір корпусу судна R_y дорівнює:

$$R_y = C_y \frac{\rho}{2} L \cdot T \cdot \gamma \cdot v_y^2, \quad (3.6)$$

де C_y – гідродинамічний коефіцієнт, розрахований на основі методів теорії судна; ρ – густина води (1 000 кг/м³ для прісної води); L – довжина судна між перпендикулярами; T – середня осадка судна; γ – квадратичний коефіцієнт підводної проекції корпусу на квадрат діаметра судна (в більшості випадків дорівнює 0,95–1,0 в залежності від конструкції корпусу судна); v_y – розрахункова швидкість судна у напрямку Y .

Результуюча сила вітру Y_a обчислюється як:

$$Y_a = C_a \frac{\rho_1}{2} S_x \cdot v_a^2 \cdot \sin q_a, \quad (3.7)$$

де C_a – аеродинамічний коефіцієнт (зазвичай рівний 1,0-1,3); ρ_1 – густина повітря (для розрахунків дорівнює 1,25 кг/м³); S_x – площа проекції на діаметральну площину (ДП) площі вітрової поверхні судна; v_a – швидкість вітру; q_a – кут вітру за курсом.

Сила, пов'язана зі струмом Y_{sr} , може бути розрахована за формулою [242]:

$$Y_{sr} = C_y \frac{\rho}{2} L \cdot T \cdot \gamma \cdot v_c^2 \cdot \sin q_c, \quad (3.8)$$

де v_c – швидкість течії, що діє на судно; q_c – курсовий кут течії.

Якщо течія спрямована безпосередньо проти курсу судна під кутом, на рух судна впливає «ефект крила» (Y_β), який дорівнює [243]:

$$Y_\beta = C_\beta \frac{\rho}{2} L \cdot T \cdot \gamma \cdot (v_c - v_x)^2 \cdot \cos q_c, \quad (3.9)$$

де v_x – швидкість судна над водою («–» значить, що судно пливе проти течії); C_β – гідродинамічний коефіцієнт крила; для практичних кутів до 30° можна розрахувати за таким виразом:

$$C_\beta = \sin q_c. \quad (3.10)$$

Сила тяги T_y визначається як різниця між ДП судна та гребним гвинтом (кут між ДП судна і гребним гвинтом q_y в середньому становить до 3°):

$$T_y = K'_1 \cdot \rho \cdot n_p^2 \cdot D_p^4 (1 - t'') \cdot \sin q_y, \quad (3.11)$$

де K'_1 – коефіцієнт сили гребного гвинта (в розрахунках приймається рівним 0,2); n_p – кількість обертів гребного гвинта, об/с; D_p – діаметр судового гвинта; t'' – коефіцієнт тяги гребного гвинта (в більшості випадків приймається рівним 0,2); q_y – кут між ДП судна і гребним гвинтом.

Сила, що діє на штурвал (кермо) судна в напрямку Y , дорівнює:

$$Y_p = C'_y \frac{\rho}{2} S_h \cdot v_h^2, \quad (3.12)$$

де C'_y – гідродинамічний коефіцієнт судового руля (у випадку руху судна може бути прийнятий до 1,0); S_h – площа пластини керма; v_h – швидкість гребного гвинта на судовій рульовій пластині:

$$v_h = 1,6 \cdot D_p \cdot n_p^2. \quad (3.13)$$

Значення сили рушія можна взяти безпосередньо з інструкції з експлуатації рушія.

Нарешті, сила судна в напрямку Y (диферент) може бути виражена так:

$$C_y \frac{\rho}{2} L \cdot T \cdot \gamma \cdot v_y^2 + C_a \frac{\rho_1}{2} S_x \cdot v_a^2 \cdot \sin q_a + C_y \frac{\rho}{2} L \cdot T \cdot \gamma \cdot v_c^2 \cdot \sin q_c + C_\beta \frac{\rho}{2} L \cdot T \cdot \gamma \cdot (v_c - v_x)^2 \cdot \cos q_c = K'_1 \cdot \rho \cdot n_p^2 \cdot D_p^4 (1 - t'') \cdot \sin q_y + Y_N + Y_p. \quad (3.14)$$

Тоді, використовуючи формулу (14), швидкість судна, що рухається в напрямку Y дорівнює:

$$v_y = \sqrt{a + b + c + d + e + f}, \quad (3.15)$$

де

$$a = \frac{C_a \cdot \rho_1 \cdot S_x \cdot v_a^2 \cdot \sin q_a}{C_y \cdot \rho \cdot L \cdot T \cdot \gamma};$$

$$b = v_c^2 \cdot \sin q_c;$$

$$c = \frac{C_\beta (v_c - v_x)^2 \cdot \cos q_c}{C_y};$$

$$d = \frac{2 \cdot K'_1 \cdot n_p^2 \cdot D_p^4 (1 - t'') \sin q_y}{C_y \cdot \rho \cdot L \cdot T \cdot \gamma};$$

$$e = \frac{C_{yh} \cdot S_h \cdot v_p^2}{C_y \cdot L \cdot T \cdot \gamma};$$

$$f = \frac{2 \cdot Y_N}{C_y \cdot \rho \cdot L \cdot T \cdot \gamma}.$$

Формула (3.15) виражає швидкість судна в напрямку Y (диферент) під час швартування (відшвартування) до (від) причалу і може бути використана для розрахунку швидкості судна в аварійних ситуаціях. Але вона не враховує

силу тяги буксира та інерційну силу судна, оскільки на дуже низьких швидкостях інерційні сили є незначними у порівнянні з іншими можливими силами. При врахуванні сили буксирів, що беруть участь у створенні швидкості судна в напрямку Y (диференту), формула (3.15) перетворюється на:

$$v_y = \sqrt{a + b + c + d + e + f + g}, \quad (3.16)$$

де

$$g = \frac{2T_T(\cos\alpha_T + \cos\beta_T)}{C_y \cdot \rho \cdot L \cdot T \cdot \gamma},$$

де T_T – горизонтальна сила тяги буксирів у напрямку, перпендикулярному до ДП судна; α_T (β_T) – вертикальний (горизонтальний) кут нахилу буксирної лінії від судна до буксира.

Отже, якщо для операцій з відшвартування або відходу від причалу потрібна горизонтальна сила тяги, перпендикулярна до напрямку ДП судна, застосовуємо вираз:

$$T_T = \frac{Y_a \cdot x'_a + T_y \cdot x'_p - Y_\beta \cdot x'_0}{x'_T \cdot \sin q_T}, \quad (3.17)$$

де x'_a – відстань від аеродинамічного центру до точки повороту судна, яка у випадку руху судна назад розташована приблизно на рівні $0,3 L$ до корми середнього суднового перерізу; x'_p – відстань від гребного гвинта судна до точки повороту судна; x'_0 – відстань від точки, що додає силу до корпусу судна, до точки повороту судна, що приймає корпус як «крило»; x'_T – відстань від точки кріплення буксирного троса до точки повороту судна; q_T – кут курсу при буксируванні.

У випадку, коли горизонтальна сила тяги буксира в напрямку,

перпендикулярному до ДП судна, є достатньою, судно може бути керованим.

Горизонтальна сила F' , що виникає при русі судна зі швидкістю v_y в напрямку Y (диференту), може бути розрахована таким чином:

$$F' = C_y \cdot \frac{\rho}{2} \cdot L \cdot T \cdot \gamma \cdot v_y. \quad (3.18)$$

Для оцінки можливостей керування судном недостатньо знання лише горизонтальної швидкості судна та/або сили в напрямку Y (диференту). Також необхідно провести розрахунок моментів. Якщо моменти, що створюються гребним гвинтом і буксирами (судно, що рухається назад, у більшості випадків не користується кермом), більші за інші моменти, то судно буде керованим, і цей момент записується так:

$$M_\beta + M_p + M_N + M_a + M_{sr} + M_V = 0. \quad (3.19)$$

Моделювання у СППР руху судна на основі теоретичних засад і реальних характеристик судна пояснює рух судна за різних умов і рекомендує оптимальні рішення для аварійних ситуацій [244, 245].

Але необхідно враховувати, що часто моменти, створювані корпусом судна, вітром і течією, є різноспрямованими і не мають максимальних значень. У такому випадку навіть невеликий буксир або лоцманський катер можуть бути дуже корисним для дотримання правильного напрямку судна, що віддаляється від причальної стінки [246].

3.4.3 Вироблення системою підтримки прийняття рішень пропозиції щодо відшвартування судна в аварійних умовах

Як приклад з відшвартування судна в аварійних умовах взято танкер типу PANAMAX від причалу № 2 порту Одеса і вихід з порту. Для проведення

швартовних операцій основними параметрами судна є довжина – 220 м, ширина – 32,3 м, осадка – 10,5 м, глибина в місці маневрування – 12,5 м, вітер перпендикулярний до причальної стінки – 15 м/с, течія вздовж причальної стінки – 0,5 м/с і буксир з силою тяги 300 кН (рис. 3.29).

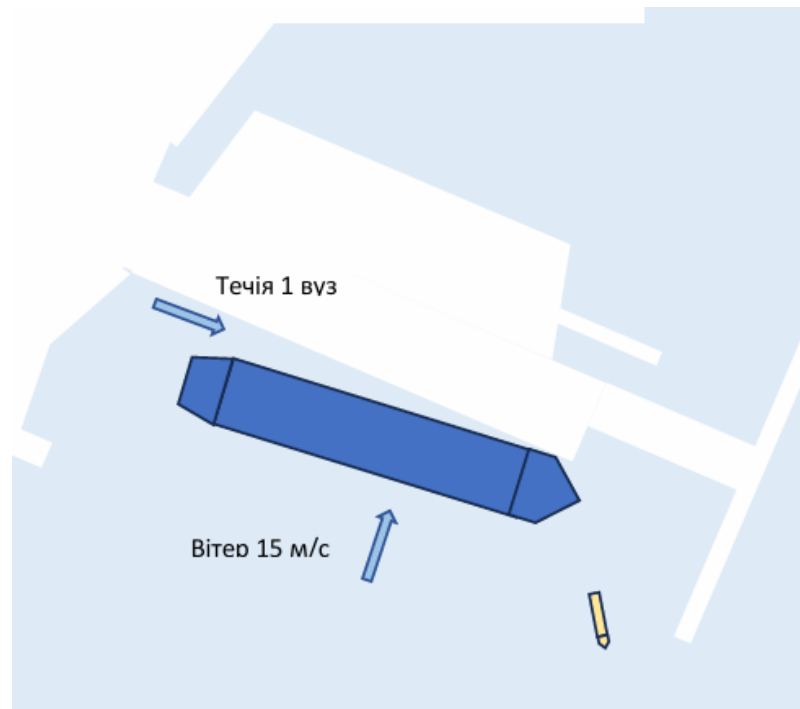


Рисунок 3.29 – Схема маневрування судна та зовнішніх сил (вітер і течія)
(Джерело – розроблено автором)

Для вищезазначених умов були проведені розрахунки з урахуванням різних течій і параметрів вітру в зазначених напрямках. Зняття судна з якоря та маневрування при виході з порту в позаштатній ситуації було протестовано за допомогою візуального тренажера SimFlex Navigator (2010 р.). Параметри плавання аналогічних суден перевірялися в тому ж місці за аналогічних умов з використанням навігаційної системи E-Sea Fix [247]. Результати розрахунків і випробувань наведені на рис. 3.30-3.35. Результати розрахунку горизонтальної сили F' , що діє на танкер PANAMAX, який рухається зі швидкістю v_y в напрямку Y (диферента) зі швидкістю 0,2 м/с, отримані за формулами (3.16), (3.17) і (3.19) і наведені на рис. 3.30.

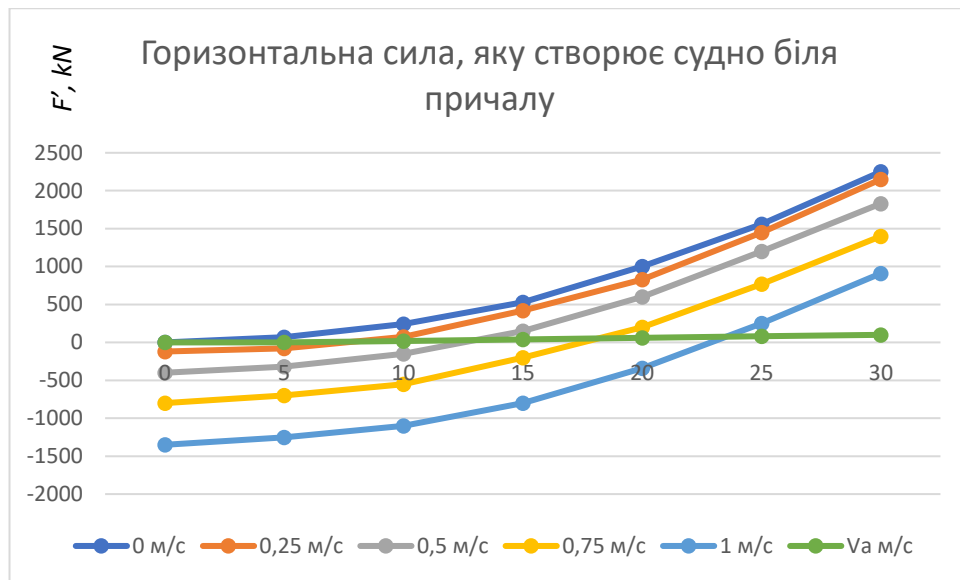


Рисунок 3.30 – Горизонтальна сила F' , яку створює танкер PANAMAX, що рухається зі швидкістю v_y в напрямку Y (диферента) зі швидкістю 0,2 м/с в залежності від швидкості течії та вітру (F' «+» – судно рухається до причальної стінки; F' «-» – судно відходить від причальної стінки)
(Джерело – розроблено автором)

Результати випробувань, отримані на тренажері і представлені на рис. 3.31, а також експериментальні результати, отримані на аналогічних типах реальних суден в тих же умовах навколишнього середовища, показують, що кореляція між усіма отриманими результатами, в тому числі і в однакових ситуаціях і умовах, досить хороша і становить розбіжності менше 15%.

Одержані результати свідчать, що за умови ретельно підготовлених досліджень, пов'язаних з маневруванням суден, знаннями про управління судном, характеристики і можливості маневрування суден, а також умов навколишнього середовища на місці, судна можуть залишати термінал або порт в аварійних умовах без допомоги буксира або лише з мінімальною силою тяги, що використовується для допомоги в управлінні судном.

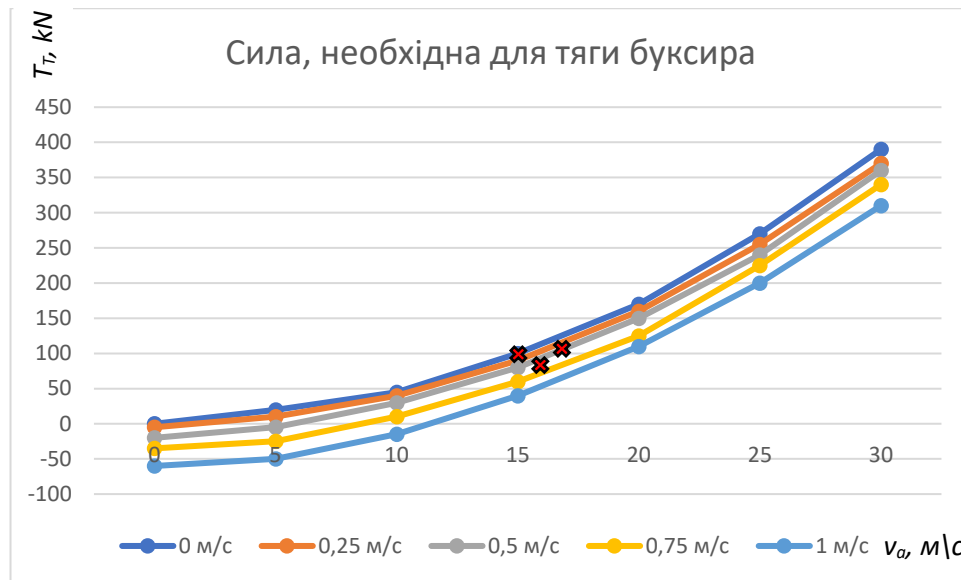


Рисунок 3.31 – Сила, необхідна для тяги буксира в напрямку, перпендикулярному до ДП танкера PANAMAX, що повертає ліворуч («-») і праворуч («+»); ✕ – експериментальні результати, отримані на аналогічних судах за однакових умов навколишнього середовища (вітер – 15 м/с, течія – 1 kn)
(Джерело – розроблено автором)

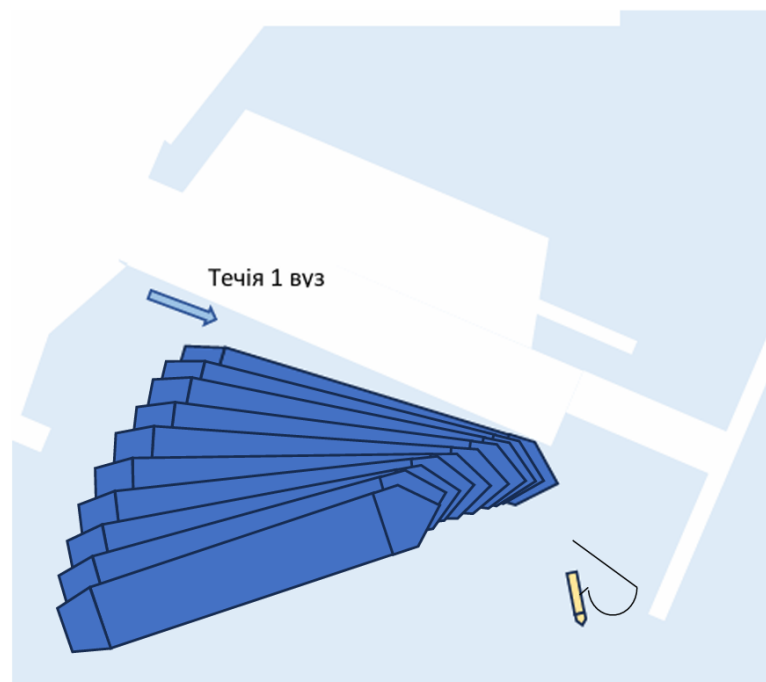


Рисунок 3.32 – Танкер PANAMAX в супроводі одного буксира відходить від причалу
(Джерело – розроблено автором)

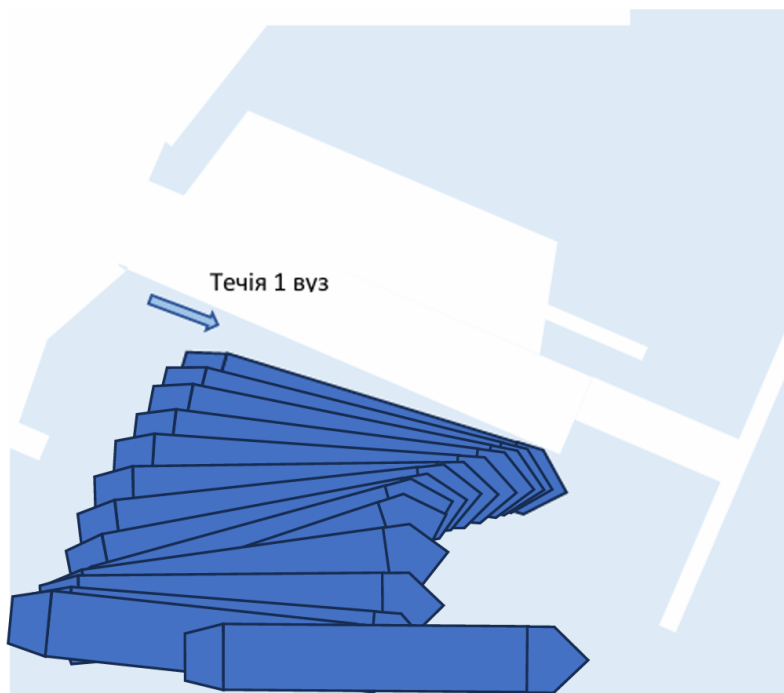


Рисунок 3.33 – Танкер PANAMAX рухається в каналі порту після зняття з якоря без допомоги буксира
(Джерело – розроблено автором)

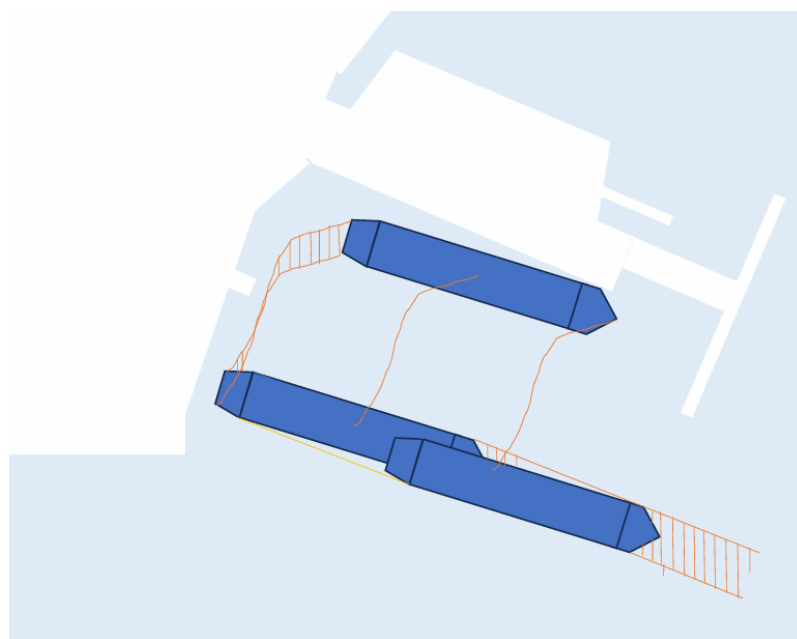


Рисунок 3.34 – Траєкторія виходу танкера PANAMAX з порту
(Джерело – розроблено автором)

Наведений алгоритм складає основу розрахункової задачі у СППР, а також може бути успішно використані капітанами та операторами суден для виконання попередніх розрахунків обмежень можливостей суден в аварійних умовах. СППР є дієвим помічником капітана та екіпажу судна для прийняття обґрунтованих рішень в умовах надзвичайних ситуацій при виході з терміналів та портів [237]. У той же час кожен судноводій повинен підтримувати і збирати інформацію і знання про маневреність судна і пов'язані з нею характеристики, обережно використовувати їх і розглядати кожную конкретну ситуацію з урахуванням особистого досвіду і знань.

Висновки до третього розділу

1. Удосконалено інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту, в якому, на відміну від відомих, база знань являє собою ієрархічну структуру, де дескриптивні знання про предметну область представлені у вигляді нечітких множин, операційні знання концептуалізовані як STRIP-подібні оператори, збагачені нечіткими множинами, а планування реалізоване на основі методів мережевого планування та управління, що дозволяє структурно розділити знання і правила по різних рівнях міркувань системи підтримки прийняття рішень, скоротити час реакції системи і підвищити обґрунтованість прийнятих рішень.

2. Дослідження інформації, знань і правил дозволяє вивести складніші властивості персоноїду. Тобто, необхідно продовжити дослідження щодо побудови цілісної теорії формалізації абстрактного інтелектуального агента, незалежного від засобів реалізації та галузей застосування. Тоді створення багатоцільової архітектури ІСППР, абсолютно незалежної від домену, бачиться шляхом подальшого комплексування конкретних прототипів СППР для порівняно «вузьких» класів завдань з серйозними обмеженнями.

3. Одержав подальший розвиток метод підтримки прийняття рішень для

управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину у районі порту, який на відміну від відомих, відрізняється застосуванням типових сценаріїв посадки судна на мілину, виконуваних розрахунків руху жорсткого тіла, збитків і залишкової міцності судна у пошкодженому стані, що дозволяє у режимі реального часу запропонувати для особи, яка приймає рішення, альтернативні дії зі збереження цілісності судна, а також варіант з оцінкою пошкоджень днища і навантажень на балки корпусу судна під час посадки на мілину і передбачити наслідки від такої дії.

4. Одержав подальший розвиток метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах небезпечної ситуації на судні, який, на відміну від відомих, відрізняється використанням методу нечіткого аналізу ієрархій для врахування і ранжування факторів ризику у порядку їх важливості, що дозволило розглядати його за апарат формалізації для систем підтримки прийняття рішень і порівнювати потенційні ризики для всіх розглянутих механізмів.

5. Виділення з усіх операційних ризиків у судноплаванні ризиків, що зустрічаються під час вантажно-розвантажувальних робіт в портах, сприяє ефективному управлінню ними.

Встановлені найважливіші ризики, з якими стикається досліджене обладнання. Так, найважливішими ризиками для термінальних тягачів є ризик пожежі/вибуху в результаті наближення до зони заправки з предметами, які можуть спричинити пожежу та вибух, а також виконання заправки без дотримання інструкцій з заправки термінального тягача. Для зменшення шкідливих наслідків для кожного ризику пропонуються запобіжні заходи.

Відповідно до порядку важливості розрахованих ризиків доведено, що ризик виникнення пожежі/вибуху при заправці розглянутих машин є найбільш критичним ризиком, що спостерігається.

6. У разі настання надзвичайної ситуації в портах і терміналах кожен капітан судна повинен вжити всіх заходів для забезпечення безпеки судна, що

виходить з терміналу або порту, використовуючи наявні ресурси і можливості.

Необхідно оцінити комбінацію зовнішніх (створювані вітром, течіями тощо), і внутрішніх (створювані кермом, гребним гвинтом, підрулюючими пристроями тощо) сил, що впливають на судно, для безпечного маневрування судна і виходу з терміналу і порту в разі виникнення аварійних ситуацій.

7. Наведений метод може бути використаний у СППР для оцінки потенційних можливостей виходу судна з порту в надзвичайних ситуаціях, а також для дослідження потенційних можливостей суден і портів, забезпечуючи попередні розрахунки можливостей відшвартування судна в умовах конкретного впливу навколишнього середовища без сторонньої допомоги.

Даний метод необхідно використовувати в алгоритмічному та програмному забезпеченні повноцінних симуляторів аварійних ситуацій при підготовці екіпажу судна для виходу з порту або терміналу.

Результати, викладені в цьому розділі, опубліковано в роботах [41-43, 46, 47].

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Запропоновані в другому і третьому розділах роботи методи спрямовані на підвищення оперативності аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій з судном. Однак розроблені положення необхідно конкретизувати на етапі безпосереднього розв'язання небезпечних ситуацій з судном у порту. Також необхідно оцінити ефективність роботи капітана, командування судна і судноводія із запропонованим продуктом. Потребують оцінювання економічні витрати з модернізації автоматизованих робочих місць ОПР і витрати з розроблення та модифікації спеціального програмного забезпечення.

4.1 Розроблення рекомендацій щодо вдосконалення інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень особами, які приймають рішення, на судні з оцінювання обстановки

Сучасні умови плавання припускають, що у певних «проблемних» місцях (канали, вузькості, входи до портів тощо) можна очікувати до декількох десятків плавзасобів різного типу і класу на обмеженій території.

Розміщення такої кількості певним чином взаємодіючих засобів водного транспорту на невеликій площині багаторазово збільшує інформаційну насиченість судових і берегових систем управління. Надвеликі обсяги різноманітної інформації на засобах відображення і в радіомережах суттєво утруднюють проведення аналізу обстановки, у тому числі у портах.

Під час аналізу обстановки в основному здійснюється оцінювання її візуальної складової, що надходить від різноманітних засобів:

цьому лінійні розміри відображуваного судна у більшості випадків не відповідають їхнім реальним розмірам у просторі. Але це дає змогу оцінити обстановку загалом, не вдаючись до використання поліекранів і програмних засобів у вигляді «лупи» [248].

Результатом роботи алгоритму оцінювання обстановки є формування форми подання інформації про інші засоби водного транспорту та перешкоди.

Розроблена інформаційна модель, що містить результати автоматизованого відображення обстановки, дає змогу перейти до аналізу діяльності ОПР у процесі її оцінювання. При цьому необхідно враховувати певні особливості ОПР, властиві йому під час аналізу інформаційної моделі.

На скорочення часу сприйняття ОПР інформації в моделі позитивно вплинуло використання запропонованих форм подання інформації [249].

Для оцінювання часу інформаційного пошуку об'єкту інтересу на основі запропонованих способів відображення інформації використано монітор і програмний модуль, розроблений під операційну систему Windows у середовищі програмування PyQt5. Останній забезпечує реєстрацію часових характеристик діяльності ОПР.

Для проведення експерименту відібрано 11 осіб, які не мають дефектів зору і володіють навичками роботи з дисплеєм.

Експериментально досліджено два типи інформаційних моделей: перший відтворював ситуацію на наявних способах відображення інформації, другий – з використанням запропонованих методів. Перед ОПР ставилося завдання визначити кількісний склад перешкод у навколишньому середовищі, напрямок руху окремих суден, визначити можливість уникнути небезпечного зближення при одночасному відображенні 10 формулярів.

Основні результати досліджень наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати досліджень інформаційної моделі
(Джерело – розроблено автором)

Задачі оцінки обстановки	Час розв'язання задачі при використанні	
	наявної ІМ, с	запропонованої ІМ, с
Визначення кількості перешкод	45,47	31,38
Оцінка курсу всіх суден	81,54	39,87
Визначення можливості уникнути небезпечного зближення	283,46	156,78

Отримані значення використано під час аналізу обстановки.

4.2 Оцінка оперативності прийняття рішень при використанні розроблених методів

Впровадження розроблених методів автоматизації аналізу ОНР обстановки й прийняття відповідних рішень вимагає врахування умов інформаційного забезпечення, що змінилися.

Процес аналізу обстановки ОНР зручно подавати мережевим графіком робіт. Кожній вершині графіка поставлена у відповідність операція, пов'язана з обробленням або пошуком необхідної інформації, а дугам – ймовірності переходу між операціями й інтервали часу, витрачені на перехід від однієї операції до іншої (рис. 4.2).

Семантичні значення вершин наведені у таблиці 4.2.

Автоматизація процедури оцінки обстановки призводить до певних змін у графіку роботи ОНР, але сама процедура принципово не змінюється.

Але буде вточнюватися якість джерел отримання інформації та, за наявності такої можливості, здійснюватися необхідні часові розрахунки для реагування на ситуацію, що склалася.

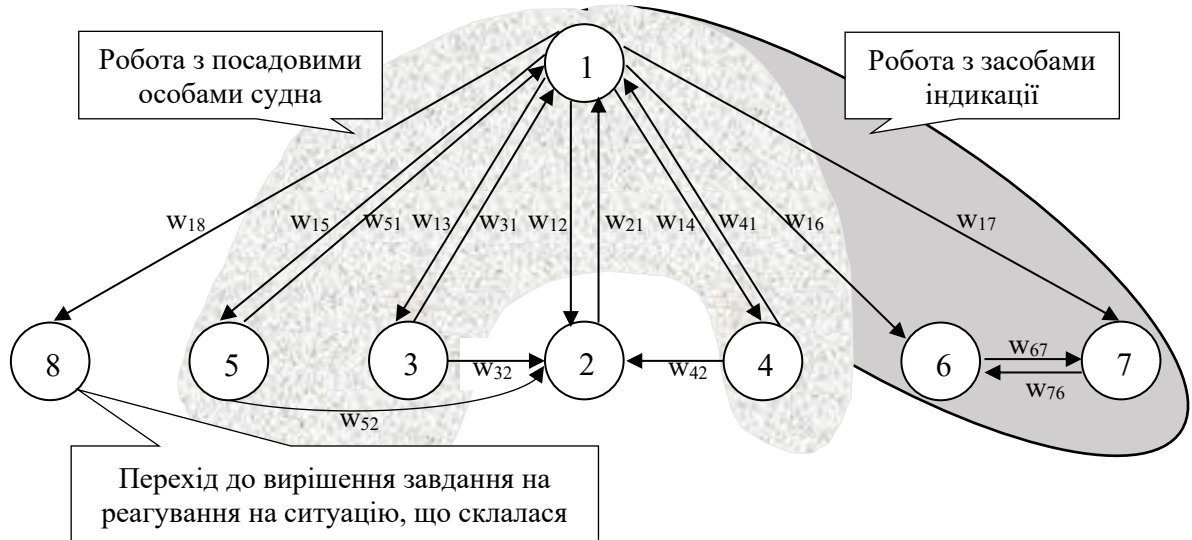


Рисунок 4.2 – Узагальнена модель діяльності капітана судна при аналізі обстановки

(Джерело – розроблено автором)

Таблиця 4.2 – Значення подій у процесі аналізу обстановки

(Джерело – розроблено автором)

Операція	Зміст
1	Початок роботи капітана судна щодо аналізу й оцінювання обстановки
2	Сприйняття візуальної інформації та тієї, що відображається на засобах індикації
3	Пошук додаткової (уточнення) інформації про обстановку у судноводія, а також зміна складу (виду) відображуваної інформації
4	Пошук додаткової (уточнення) інформації про обстановку у старшого помічника, а також зміна складу (виду) відображуваної інформації
5	Пошук додаткової (уточнення) інформації про обстановку у старшого механіка, а також зміна складу (виду) відображуваної інформації
6	Аналіз й оцінка обстановки за інформацією, наведеною на засобах індикації
7	Введення команд управління для зміну складу відображуваної інформації (селекція, зміна масштабу відображення та ін.). Введення команд для уточнення обстановки
8	Перехід капітана до рішення завдання реагування на небезпечну ситуацію

У таблиці 4.3 надано зміст переходів зі стану в стан.

Таблиця 4.3 – Зміст переходів зі стану в стан

(Джерело – розроблено автором)

Перехід	Зміст
	Оцінка капітаном обстановки по інформації на засобах відображення
	Пошук капітаном додаткової інформації про обстановку
	Звернення до судноводія для пошуку або уточнення інформації про обстановку або для зміни складу відображуваної інформації
	Звернення капітана до старшого помічника для отримання інформації про обстановку або для зміни складу відображуваної інформації
	Звернення капітана до старшого механіка для отримання інформації про обстановку або для зміни складу відображуваної інформації
	Аналіз обстановки та висновки з її аналізу
	Аналіз й оцінка ситуації на судні, виявлення ступеня небезпеки
	Введення команд управління для уточнення обстановки
	Перехід капітана до реагування на небезпечну ситуацію

Проведені дослідження розробленої моделі діяльності капітана під час аналізу обстановки із використанням засобів автоматизації дали змогу отримати оцінку оперативності її аналізу (рис. 4.3).

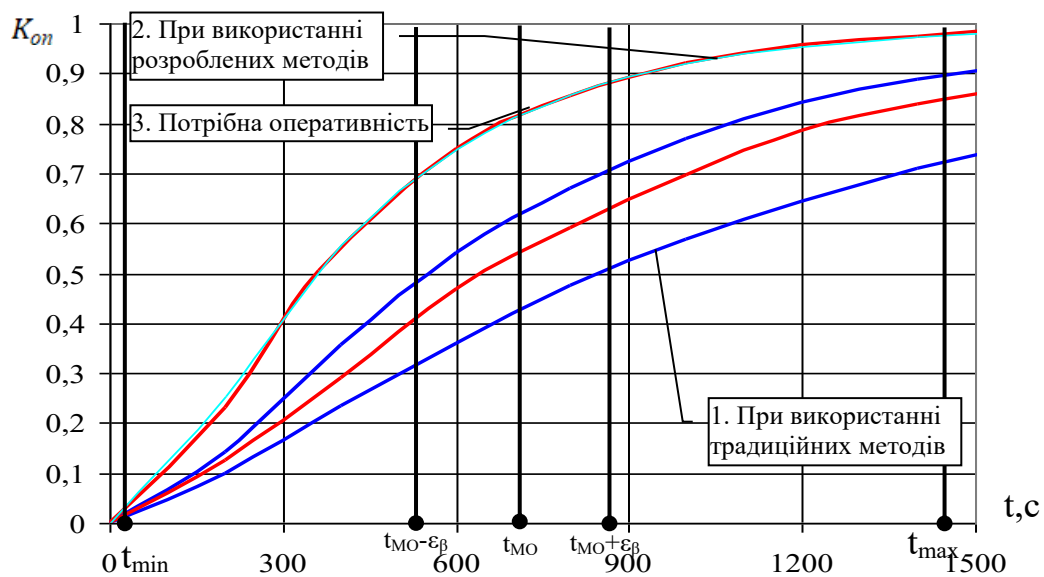


Рисунок 4.3 – Оперативність аналізу обстановки капітаном при використанні розроблених методів

(Джерело – розроблено автором)

Графік 1 на рис. 4.3 відповідає випадку використання наявних підходів щодо аналізу й оцінювання обстановки для різного типу умов; графік 2 –

використанню запропонованих методів оцінювання обстановки і форм подання результатів при автоматизованому вирішенні цих завдань.

Із наведених графіків видно, що оперативність аналізу обстановки капітаном при використанні розроблених методик знаходиться в інтервалах $(0,32; 0,48)$ і $(0,51; 0,71)$ для складних і простих умов відповідно. При цьому для $\tau = t_{MO}$ оперативність становить $K_{оп}=0,43$ $(0,62)$ відповідно. Використання запропонованих підходів збільшує оперативність аналізу обстановки для складних і простих умов (інтервали $(0,41; 0,64)$ і $(0,69; 0,89)$ відповідно; а для $\tau = t_{MO}$ оперативність становить $K_{оп}=0,55$ $(0,83)$.

Отже, використання запропонованих методів автоматизації аналізу обстановки на судні капітаном підвищує оперативність оцінювання на 12-20%.

Розглянемо зміну розподілу витрат часу на виконання різних дій ОПР під час оцінювання обстановки з використанням запропонованих підходів.

1. При оцінці обстановки витрати часу:

- на оброблення відображуваної інформації скоротилися з 50% до 44% від загального часу, витраченого на оцінку обстановки;

- використання розроблених методів для автоматизації аналізу обстановки і підтримки процесу її оцінювання змінило структуру розподілу витрат часу ОПР. Тепер при аналізі інформації про обстановку ОПР витрачає на роботу з монітором приблизно 10% від загального часу на аналіз інформації, а на введення та аналіз правильності введення команд – близько 2%. Це пояснюється, введенням додаткових програмно-апаратних засобів, на яких відображається потрібна інформація для оцінки обстановки. Сучасні інформаційні технології значно знизили витрати часу на введення інформації порівняно з традиційними.

2. Час на роботу зі старшим помічником, старшим механіком, судноводієм, лоцманом та іншими особами при використанні розробленого методу автоматизації скоротився з 37% до 28% від загального часу.

Розподіл часу виконання капітаном кожної з розглянутих операцій під час вирішення завдання оцінювання обстановки подано на рис. 4.4.



Рисунок 4.4 – Розподіл витрат часу капітана під час аналізу обстановки
(Джерело – розроблено автором)

При вивченні діяльності ОПР під час аналізу обстановки встановлено, що загальний час вирішення цього завдання скоротився на 12-20%, на 6% зменшився час оцінювання інформації, представленої на моніторі. Також вдалося скоротити час, що витрачається капітаном на введення інформації для пошуку й уточнення додаткової інформації.

Таким чином, автоматизація частини завдань аналізу й оцінювання обстановки на судні дало змогу скоротити час, що витрачається капітаном на спілкування з іншими посадовими особами судна, що значною мірою вплинуло на скорочення загального часу роботи ОПР.

4.3 Оцінка ступеня обґрунтованості прийняття рішень при використанні розроблених методів

Обґрунтованість прийняття рішень з аналізу й оцінки обстановки відповідно до етапів діяльності ОПР пов'язується з повнотою подання даних, точністю і повнотою відображення інформаційних ознак в моделі з урахуванням їхньої важливості. Використаний показник має вигляд [250]:

$$R = 1 - \sum_{j=1}^4 \beta_j \cdot \sum_{i \in q_j} a_i, \quad (4.1)$$

де β_j – відносне середнє значення похибки, що вноситься у відображення обстановки внаслідок неточного (узагальненого) врахування чинників;

a_i – вага важливості врахування в моделі обстановки i -ої інформаційної ознаки у відносних одиницях;

q_j – множина інформаційних ознак, що враховуються в інформаційній моделі j -им способом узагальнення.

Доведено, що в разі безпосереднього врахування значущого чинника шляхом завдання його значення, що відповідає умові обстановки, $\beta_1 = 0$; в разі заміни сукупності однорідних за фізичним змістом чинників одним – $\beta_2 = 0,445$; в разі функціонального узагальнення різнорідних чинників із метою відображення їх однією показовою величиною – $\beta_3 = 0,6$; в разі непрямого врахування чинників – $\beta_4 = 1$ [250]. Вимоги щодо відображення інформації визначаються прагматичним змістом інформації і точністю її сприйняття ОПР;

Ступінь очікуваної повноти відображення реальної обстановки в інформаційній моделі визначається за формулою:

$$Y = \sum_{k=1}^Q \xi_k \cdot R_k \cdot P_k, \quad (4.2)$$

де $\xi_k, (k = \overline{1, Q})$ – вага важливості у відносних одиницях кожного з Q параметрів обстановки, що представляються моделлю k ;

R_k і P_k – показники достовірності та оперативності подання даних обстановки інформаційною моделлю, що розглядається.

Як узагальнений показник ефективності інформаційної моделі W під час порівняння моделі з наявними та оцінки наближення за ефективністю до

ідеальної моделі використано співвідношення [250]:

$$W = \frac{Y}{Y_c}, \quad (4.3)$$

де Y – показник повноти розглянутої моделі (вираз (4.2)); Y_c – показник повноти порівнюваного з нею аналога.

Результати порівняльного оцінювання адекватності та повноти моделей оцінювання обстановки, що подаються капітану існуючими способами та за використання запропонованого методу, наведено на рис. 4.5.



Рисунок 4.5 – Порівняльна оцінка адекватності та повноти моделей оцінювання обстановки

(Джерело – розроблено автором)

4.4 Оцінка технологічних властивостей розроблених методів

Розроблення алгоритму розпізнавання ситуації (рис. 4.6) проведемо на підставі методів, запропонованих у другому розділі.

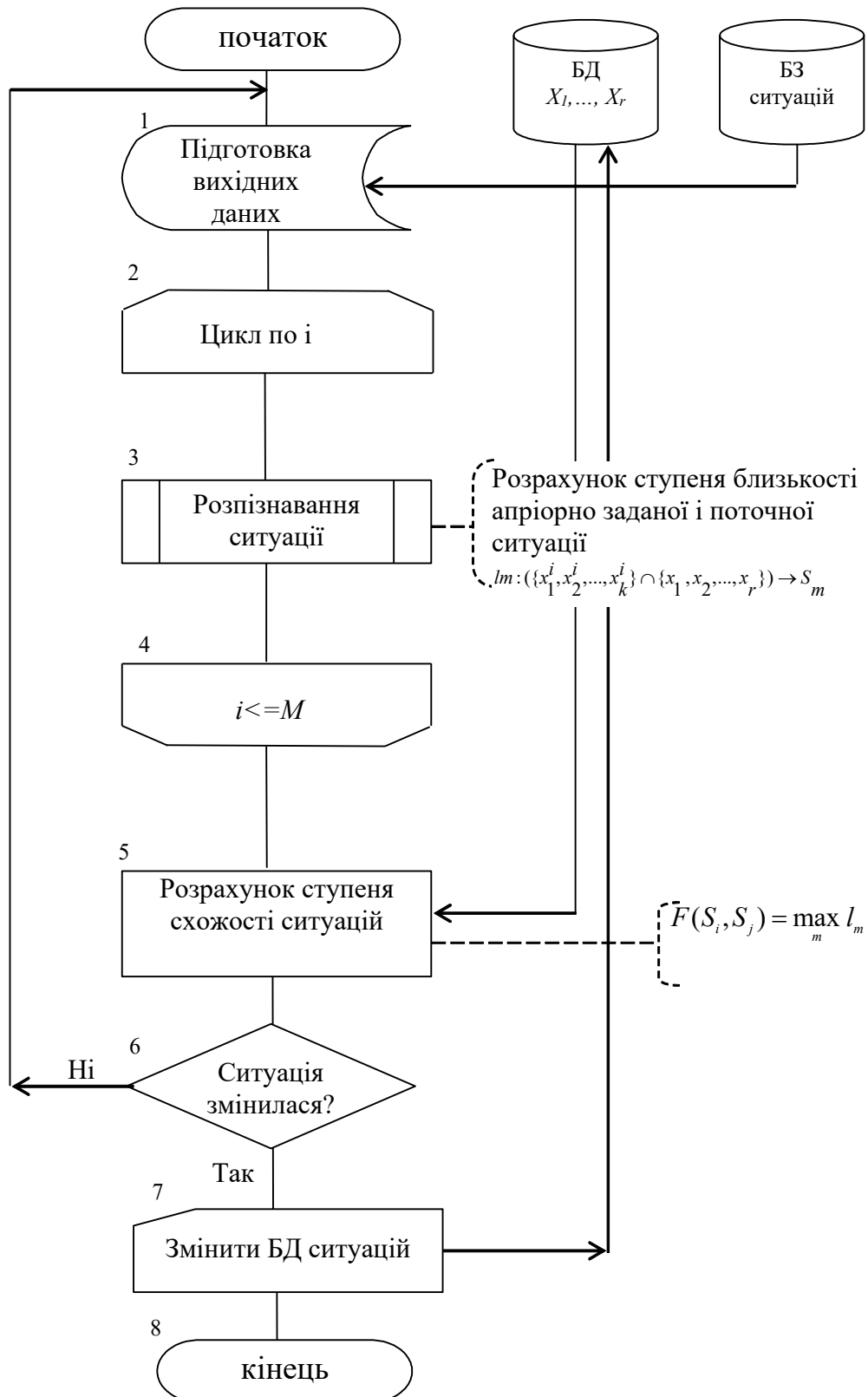


Рисунок 4.6 – Схема процедури розпізнавання ситуації
(Джерело – розроблено автором)

Робота алгоритму у складі СППР ініціюється як на вимогу користувача, так і в разі зміни значень інформаційних ознак у БД або після модифікації БЗ. Далі перевіряється близькість поточної та апіорно заданої ситуацій. При зміні поточної ситуації модифікується БД, в іншому випадку очікується введення команд користувача або модифікації БД. Модифіковані дані про ситуацію стають доступними для інших програмних процесів у системі, а попередні дані зберігаються в історії цієї ж БД.

Найважливішим показником ефективності системи розпізнавання є ймовірність отримання правильних рішень (P_{np}) під час розпізнавання ситуацій, що належать до різних класів [251].

Цей показник залежить, насамперед, від помилок апіорного опису ситуацій (ϕ_1); помилок визначення ознак розпізнаваних ситуацій (ϕ_2); кількості та властивостей використовуваних ознак (ϕ_3) [251].

Таким чином:

$$P_{np} = f(\phi_1, \phi_2, \phi_3). \quad (4.4)$$

Часто, наприклад, за логічної моделі розпізнавання, використовують оцінку надійності розпізнавання, яку відповідно до [250] можна визначити так:

$$\xi_g = \frac{\frac{1}{L_w}}{\sum_{S=1}^n \frac{1}{L_S}}, \quad (4.5)$$

де L_w – міра близькості w -ої ситуації; L_S – S -те значення міри близькості.

У цьому разі величина ξ_g відіграє роль, подібну до ймовірності правильного розпізнавання P_{np}

$$\sum_{g=1}^n \xi_g = 1. \quad (4.6)$$

Відомий ще один показник – час розпізнавання ситуації T_p [50, 51, 66, 70]:

$$T_p = \sum_{r=1}^2 T_{p_r} \quad (4.7)$$

де T_{p1} – час, що витрачається на розрахунок мір близькості L_w ; T_{p2} – час на прийняття рішення про приналежність розпізнаваної ситуації до одного із заданих класів ситуації.

Для оцінки ефективності розпізнавання ситуації застосуємо показник P_{np} (вираз (4.4)) і середню ймовірність відмови від розпізнавання (безвідмовність розпізнавання).

У загальному випадку за кількох альтернативних варіантів ситуацій ($i = 1, 2, \dots, n$) «кращу» ситуацію обирають шляхом оптимізації цільової функції:

$$F^* = \operatorname{opt}_{x \in \Omega_x} F(X, P_{np}, P_{відм}), \quad (4.8)$$

де $X = [x_q]$ – множина рішень;

$$x_q = \begin{cases} 1, & q - \text{ий варіант моделі обраний,} \\ 0, & \text{в іншому випадку;} \end{cases}$$

$$\sum_q x_q = 1;$$

Ω_x – множина можливих варіантів моделей ситуацій;

$$P_{np} = [P_{np_i}]; \quad P_{відм} = [P_{відм_i}].$$

Але аналітичні залежності для P_{np} і $P_{відм}$ отримати, як правило, не вдається. Тому для їхніх оцінок використовують результати імітаційного моделювання. У такий спосіб отримано оцінки P_{np} і $P_{відм}$ для розглянутої вище моделі [250]. Результати порівняльної оцінки щодо розпізнавання ситуації

запропонованої моделі з комбінованою наведені у табл. 4.4. Перевага розробленого підходу розпізнавання порівняно з традиційним методом полягає у збільшенні P_{np} на 6-11% та зменшенні $P_{відм}$ на 7-9%.

Таблиця 4.4 – Порівняльна оцінка методів розпізнавання
(Джерело – розроблено автором)

Метод розпізнавання		
Традиційна модель	0,49 – 0,62	0,38 – 0,27
Запропонований метод	0,55 – 0,71	0,31 – 0,18

На основі методики розпізнавання підкласу ситуації розроблено алгоритм вирішення цього завдання, наведений на рис. 4.7. Роботу алгоритму ініціюють під час автоматизованого розпізнавання небезпечної ситуації з судном або на вимогу капітана.

Процес розпізнавання ситуації протікає у динаміці, навіть тоді, коли ситуацію ще не розпізнано, а є лише неповна, неточна, суперечлива інформація про окремі ознаки події, що наближається та може статися. Даний алгоритм працює від моменту виявлення первинних ознак до чіткого оформлення настання ситуації. Це дає змогу контролювати динаміку зміни обстановки і проводити порівняння результатів неавтоматизованої та автоматизованої оцінки ситуації.

Також розглянемо місце розроблених алгоритмів у складі спеціального програмного забезпечення системи управління судном.

На рис. 4.8 наведено функціональну схему програмного забезпечення [252]. Схема відрізняється введенням структурного блоку, в якому реалізовано алгоритми розпізнавання небезпечних ситуацій.

Результати роботи алгоритмів, що входять до цього блоку, отримані під час оброблення інформації про обстановку, використовуються під час роботи алгоритмів формування інформаційної моделі ситуації, а також для керування її структурою і параметрами.

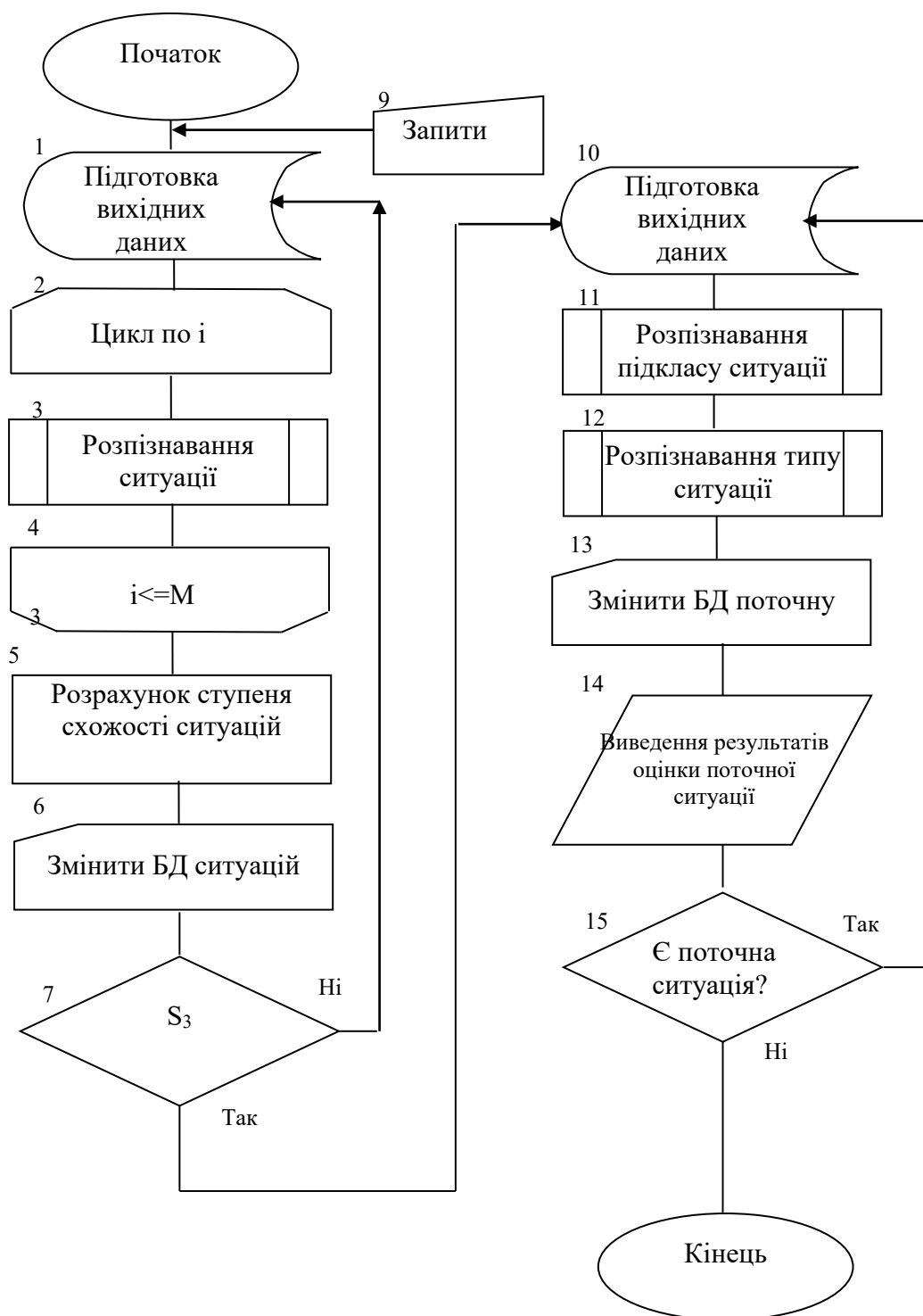


Рисунок 4.7 – Схема автоматизованого оцінювання надзвичайної ситуації
на судні
(Джерело – розроблено автором)

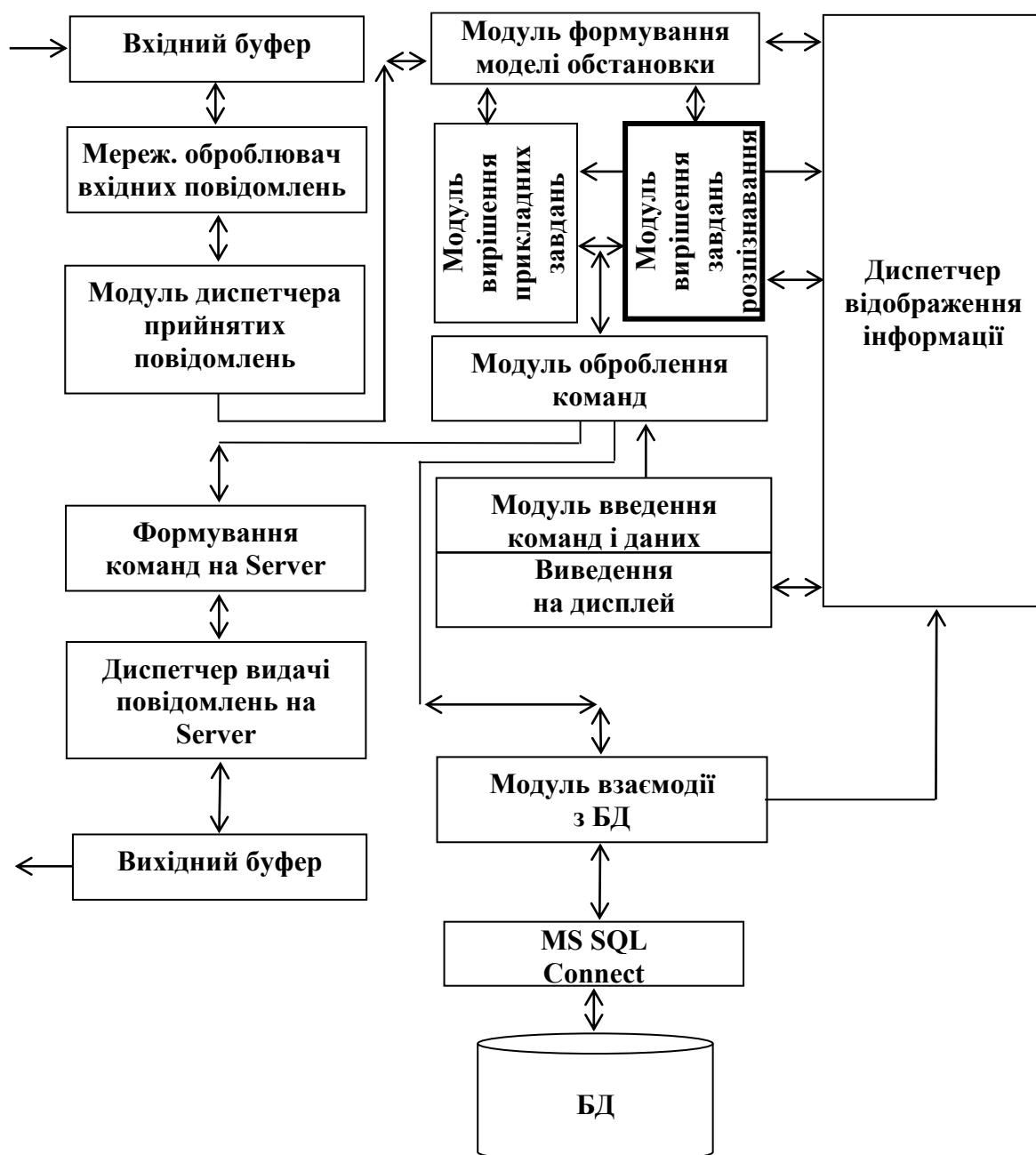


Рисунок 4.8 – Функціональна схема спеціального математичного та програмного забезпечення автоматизованого робочого місця капітана судна
(Джерело – розроблено автором)

Досвід розроблення та програмної реалізації алгоритмів дає змогу оцінити часові та трудові витрати на їхнє впровадження та супровід у складі спеціального програмного забезпечення (СПЗ) СППР.

Постійне вдосконалення засобів моніторингу навколишнього середовища, контролю систем судна, вдосконалення технічної складової системи управління зумовлюють необхідність коригування СПЗ.

Проведемо аналіз часу, необхідного для внесення змін до СПЗ за двох варіантів його побудови: з використанням традиційних інформаційних технологій і з використанням запропонованого підходу.

Під технологічними властивостями розробленого методу підвищення оперативності оцінювання ситуації розумітимемо його здатність адаптуватися до змінюваних умов функціонування з мінімальними витратами часових і матеріальних ресурсів.

Підтримка на постійному рівні показників функціональних властивостей передбачає системну модернізацію СПЗ у процесі його супроводу. Під супроводом розумітимемо як усунення виявлених помилок, так і внесення змін у відповідь на вимоги, що змінилися. При супроводі СПЗ більша частина часу витрачається на внесення змін до програм (до 17%), 78% – на адаптацію до нових умов і вдосконалення програм, 5% – на інше [250, 251].

Проведена порівняльна оцінка технологічних властивостей розроблених методів, реалізованих різними способами, свідчить про таке. Відкритість пропонувананих методів означає, що специфіка даного типу вирішуваних завдань враховується при заповненні БЗ і структури створюваної БД. У процесі супроводу необхідно постійно вносити зміни до БЗ, що викликано накопиченням досвіду оцінювання ситуацій та появою нових засобів виявлення характерних ознак певної ситуації.

Використання вдосконалених та нових методів формалізації процесу розпізнавання ситуацій добре співвідноситься з об'єктно-орієнтованим підходом до проєктування програмного забезпечення. Тоді при супроводі об'єктно-орієнтованого СПЗ у ньому можуть додаватися нові класи,

змінюватися реалізації класу, змінюватися інтерфейси класу. Але ж усі ці зміни потребують великих додаткових витрат, у т. ч. часових. Хоча додавання нових функціональних можливостей або модифікація певних суттєвих властивостей є для об'єктно-орієнтованих систем природною операцією.

Використання розробленого методу формалізації знань про завдання оцінювання небезпечних ситуацій дає змогу отримати виграші для таких показників технологічності:

1) Зменшення потрібного часу модернізації СПЗ.

Тривалість коригування СПЗ, побудованого на традиційних підходах, дорівнює [251]:

$$t_{кор}^{трад} = t_{зн} + t_{викл} + t_{приб} + t_{узг} + t_{ан} + t_{зм} + t_{випр} + t_{експл}, \quad (4.9)$$

де $t_{зн}$ – час зняття системи з експлуатації;

$t_{викл}$ – час виклику представника організації-розробника;

$t_{приб}$ – час прибуття представника організації-розробника;

$t_{узг}$ – час узгодження внесених змін;

$t_{ан}$ – час аналізу та вивчення завдання;

$t_{зм}$ – програмування, налагодження та тестування програмних модулів;

$t_{випр}$ – час приймально-здавальних випробувань;

$t_{експл}$ – час постановки системи на експлуатацію.

Для СППР час внесення коректур до бази знань можна оцінити так [251]:

$$t_{кор}^{СППР} = t_{ануз} + t_{пз} + t_{зан} + t_{зм}, \quad (4.10)$$

де $t_{ануз}$ – час аналізу та узгодження змін, що вносяться до БЗ;

$t_{пз}$ – час постановки задачі когнітологу;

$t_{зан}$ – час з'ясування та аналіз завдання когнітологом;

$t_{зм}$ – внесення змін, тестування і налагодження БЗ.

Коригування СПЗ СППР може здійснювати штатний когнітолог без виклику бригади організації-розробника і зняття системи з експлуатації.

Ілюстрація розподілу часових інтервалів корекції СПЗ для різних варіантів його побудови наведена на рис. 4.9.

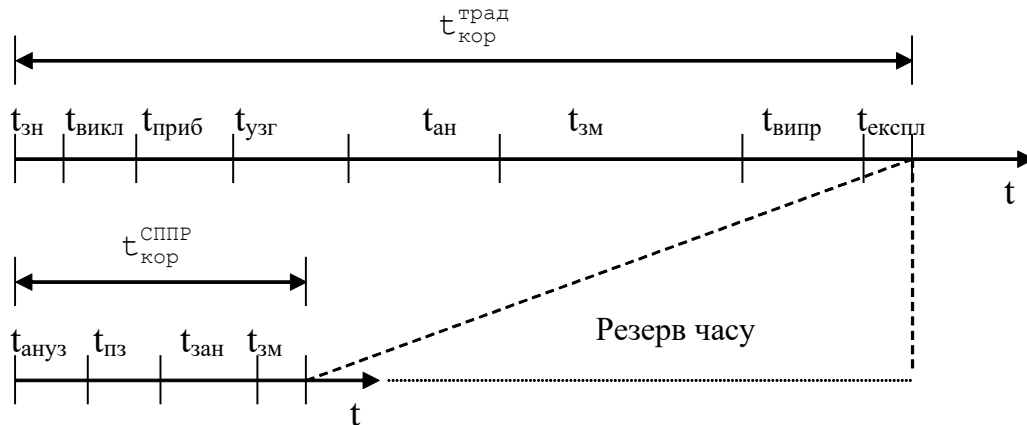


Рисунок 4.9 – Часова діаграма процесу модифікації спеціального програмного забезпечення для різних варіантів його побудови
(Джерело – розроблено автором)

Скорочення часу корегування СПЗ зумовлено зміною змісту і тривалості організаційних етапів поповнення бази знань СППР і складає для $t_{кор}^{trad}$ $94 + 68,8n$ (годин), а для $t_{кор}^{СППР}$ – $12 + 16,4n$ (годин), де n – кількість незалежних циклів модифікації програмного забезпечення [251].

2) Зменшення кількості внесених під час модифікації помилок.

Класи в об'єктно-орієнтованому проектуванні фактично є угодами про зв'язки між абстракціями. Тому під час компіляції (тобто на ранніх стадіях створення СПЗ) можна виявити й усунути до 95% порушень такої угоди про зв'язки. Крім того, побудова системи на основі «стабільних» проміжних описів спрощує процес внесення змін і зменшує кількість внесених помилок [45, 250].

3) Зниження трудовитрат при супроводі СПЗ.

Життєвий цикл пропонованих програм зазвичай складає 3-7 років, з них 70-90% часу припадає на супровід [250, 251]. Як результат, сукупні витрати у

процесі супроводу можуть значно перевищувати витрати на проектування і створення СПЗ, що вимагає зменшення витрат на супровід. З цим завданням непогано впорюється об'єктно-орієнтоване проектування. Загальна сума трудовитрат у разі використання об'єктно-орієнтованого підходу приблизно дорівнює трудовитратам при традиційному проектуванні, але на супровід СПЗ припадає їх незначна частина.

Тому, об'єктно-орієнтований підхід обрано як методологію побудови СПЗ розробленого методу.

За досвідом, на розроблення програм із використанням об'єктно-орієнтованого підходу для оцінювання ситуацій знадобилося близько 250 людино-годин, тобто приблизно 1,5 місяця однією людиною. У разі використання методів функціонального (традиційного) програмування на розроблення подібної програми необхідно було затратити 6-7 місяців роботи одного програміста без гарантії успішного завершення.

4.5 Дослідження економічних витрат щодо модифікації автоматизованого робочого місця капітана судна

Під час розроблення перспективної системи необхідно чітко уявляти прототип АРМ капітана або будь-якої іншої особи, яка приймає рішення. Він задовольнятиме вимогам щодо продуктивності та можливості нарощування і модифікації розроблюваного спеціального програмного забезпечення [45, 251]. Можливостей ЕОМ має бути достатньо для використання сучасних засобів відображення, повноформатної реалізації у складі СПЗ розроблених методів автоматизації процесів інформаційного забезпечення діяльності капітана під час оцінювання обстановки.

Автоматизоване робоче місце капітана судна базуватиметься на типовій сучасній конфігурації ЕОМ (Додаток Б).

Аналіз цін на комплектуючі показує, що вартість АРМ $C_{АРМ}$ зросте до

35%, де левову частину складе ціна додаткового монітора [250]:

$$C_{APM} = C_k + C_{СПЗ} + C_{ЗПЗ} + C_{ПЕОМ} + C_{зз} + C_{np.vid}, \quad (4.11)$$

де $C_k, C_{СПЗ}, C_{ЗПЗ}, C_{ПЕОМ}, C_{зз}, C_{np.vid}$ – вартість конструктивних елементів АРМ ($C_k = C_{ПЕОМ}$), спеціального програмного забезпечення, загального програмного забезпечення ($C_{ЗПЗ} = 0,2C_{ПЕОМ}$), ПЕОМ, засобів зв'язку ($C_{зз} = 0,3C_{ПЕОМ}$), пристрою відображення ($C_{np.vid} = 0,4C_{ПЕОМ}$), відповідно.

За відомих оцінок параметрів алгоритму приблизна оцінка часу програмування розраховується як [253]:

$$T_{np} = \frac{n_1 \cdot N_2 \cdot (n_1 \cdot \log_2 n_1 + n_2 \cdot \log_2 n_2) \cdot \log_2 n}{2n_2 \cdot S}, \quad (4.12)$$

де N – довжина програми, n – словник програми.

Тоді

$$C_{СПЗ} = T_{np} \cdot C_{оп}, \quad (4.13)$$

де $C_{оп}$ – коефіцієнт оплати праці розробників.

Загалом, за проведеними розрахунками встановлено, що модифікація робочого місця капітана судна без врахування діючої інфляції обійдеться приблизно на 3-5% дорожче від базової вартості виробу.

4.6 Рекомендації щодо реалізації розробленого методу

Для реалізації запропонованого методу та досягнення сформульованої мети пропонуються такі рекомендації у формі:

моделі діяльності капітані під час оцінювання обстановки,

представленої спрямованим ймовірнісним графом, що дає змогу оцінити витрати часу й виявити суттєві чинники, що впливають на оперативність прийняття рішення;

моделі подання знань про процес оцінювання ситуації, що дає змогу підвищити кількість врахованих чинників, реалізувати оброблення суперечливих, неповних даних завдяки впровадженню її до складу спеціального математичного та програмного забезпечення;

модернізованого автоматизованого робочого місця капітана судна та рекомендації щодо способу відбору та відображення інформаційних ознак під час аналізу обстановки. Такий підхід дає змогу забезпечити структуроване подання інформації, що відповідає етапам прийняття рішення капітаном. Як результат, забезпечується скорочення часу на аналіз обстановки на 12-23% і збільшується повнота подання інформації на 15-21%;

способів відображення результатів аналізу обстановки з урахуванням особливостей сприйняття й обробки їх капітаном, що дає змогу підвищити оперативність і безпомилковість сприйняття інформації.

Теоретична значущість дисертаційної роботи полягає в подальшому розвитку методів побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішення у частині, що стосується формалізації знань, синтезу інформаційних моделей та процедур аналізу обстановки і прийняття рішень щодо оброблення вантажів у порту при виникненні надзвичайної ситуації на судні.

Практична цінність роботи полягає в тому, що реалізація розроблених методів інформаційної підтримки прийняття рішень щодо оцінки обстановки і синтезу адекватних складеній ситуації рішень дасть змогу підвищити оперативність оцінки порівняно з наявними методами від 12 до 24 %.

Розроблення алгоритмів і спеціального програмного забезпечення для автоматизації розпізнавання ситуацій дасть змогу створити ефективні засоби інформаційної підтримки діяльності капітана судна. Розроблене програмне забезпечення інтегрується в автоматизовані робочі місця, забезпечуючи інтуїтивно зрозуміле відображення інформації та підвищення оперативності

процесів управління.

Економічні дослідження засвідчили незначні витрати на впровадження розроблених рішень (не більше 5% від вартості модифікації АРМ).

Висновки до четвертого розділу

1. Розроблено автоматизовані алгоритми розпізнавання й оцінювання обстановки на судні.

2. Запропоновано структуру спеціального програмного забезпечення АРМ капітана судна, що дає змогу реалізувати розроблені алгоритми для автоматизованої оцінки обстановки та відображення отриманої інформації.

3. Досліджено діяльність капітана судна під час оцінювання обстановки з урахуванням зміненого інформаційного забезпечення процесу підтримки прийняття рішень, яке засвідчило доцільність використання для подання інформації інтуїтивно зрозумілих структурних елементів обстановки, яке не призводить до зміни порядку проведення її оцінювання.

4. Вдосконалення засобів автоматизації під час оцінювання обстановки зменшило витрати часу на роботу з іншими посадовими особами на судні, що дало змогу підвищити оперативність оцінювання обстановки на 12-23% і підтверджує про досягнення мети дисертаційної роботи.

5. Підвищення повноти інформаційної моделі на 15-21%, покращення форми представлення відображуваної інформації на всіх етапах роботи капітана під час прийняття рішень з оцінювання обстановки підвищило його ситуаційну обізнаність.

6. Модифікація АРМ капітана судна підтвердили збільшення його вартості не більше ніж на 5% за рахунок введення додаткового пристрою відображення та модернізації спеціального програмного забезпечення.

Результати, викладені в цьому розділі, опубліковано в роботі [45].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання з розробки методів автоматизованого аналізу обстановки та прийняття рішення для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні. При цьому отримано такі наукові та практичні результати.

1. Результати дослідження сучасного стану систем автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій на судні показали, що необхідно рухатися у напрямку побудови систем підтримки прийняття рішень та принципів побудови і формування баз знань. Недостатнє врахування в моделях якісної інформації є головною причиною зниження ефективності систем через семантичні розриви. Тому для врахування якісної інформації необхідне адекватне якісне оцінювання об'єктів у термінах предметної області із залученням експертів-аналітиків на етапі створення моделі. Пропонований підхід дає змогу враховувати якісні та кількісні знання і дані й виробляти рекомендації для прийняття на їхній основі адекватних управлінських рішень.

2. *Удосконалено* метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації на судні в акваторії порту в умовах детерміністичної невизначеності, в якому, на відміну від відомих, фактори, що описують нечітке середовище під час визначення класів ситуацій, подаються множиною продукційних правил, оброблення яких здійснюється з використанням процедури алгебраїчної апроксимації та нечіткої ідентифікації розробленого апарату формалізації.

3. *Удосконалено* інтелектуальний метод аналізу обстановки і реагування на виникнення пожежі у нафтовому терміналі порту, в якому, на відміну від відомих, база знань являє собою ієрархічну структуру, де дескриптивні знання про предметну область представлені у вигляді нечітких множин, операційні знання концептуалізовані як STRIP-подібні оператори, збагачені нечіткими множинами, а планування реалізоване на основі методів мережевого планування та управління, що дозволяє структурно розділити знання і правила

за різними рівнями міркувань системи підтримки прийняття рішень, скоротити час реакції системи і підвищити обґрунтованість прийнятих рішень.

4. *Одержав подальший розвиток* метод підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах плавання при посадці на мілину у районі порту, який на відміну від відомих, відрізняється застосуванням типових сценаріїв посадки судна на мілину, виконуваних розрахунків руху жорсткого тіла, збитків і залишкової міцності судна у пошкодженному стані, що дозволяє у режимі реального часу запропонувати для особи, яка приймає рішення, альтернативні дії зі збереження цілісності судна, а також варіант з оцінкою пошкоджень днища і навантажень на балки корпусу судна під час посадки на мілину і передбачити наслідки від такої дії.

5. *Одержав подальший розвиток* метод управління ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у порту в умовах небезпечної ситуації на судні, який, на відміну від відомих, відрізняється використанням методу нечіткого аналізу ієрархій для врахування і ранжування факторів ризику у порядку їх важливості, що дозволило розглядати його за апарат формалізації для систем підтримки прийняття рішень і порівнювати потенційні ризики для всіх розглянутих механізмів.

6. Розроблено метод системи підтримки прийняття рішень щодо виходу суден з порту в аварійних умовах при настанні надзвичайної ситуації в портах і терміналах, який враховує комбінацію зовнішніх і внутрішніх сил, що впливають на судно, для його безпечного маневрування і виходу з терміналу і порту в разі виникнення аварійних ситуацій. Використання у СППР наведеного методу дозволяє провести попередні розрахунки щодо можливостей відшвартування судна в умовах конкретного впливу навколишнього середовища без сторонньої допомоги.

7. Розроблено рекомендації щодо технічної реалізації запропонованих методів, що містять запропоновані форми подання інформації про засоби водного транспорту та перешкоди і реєстрацію часових характеристик

діяльності особи, що приймає рішення. Час розв'язання задачі щодо визначення кількісного складу перешкод у навколишньому середовищі, напрямку руху окремих суден, можливості уникнення небезпечного зближення при одночасному відображенні 10 формулярів при використанні запропонованої інформаційної моделі скорочується від 1,5 до 2 разів у порівнянні із застосуванням наявної інформаційної моделі.

8. Оцінено ефективність отриманих результатів. Застосування розроблених методів дозволяє підвищити своєчасність вироблення рішень порівняно з неавтоматизованим способом – в $1,5 \div 2,4$ рази, порівняно з частковою автоматизацією управління, – в $1,15 \div 1,55$ рази. Коректний опис предметної області великою кількістю значущих чинників (збільшення коефіцієнту повноти врахування чинників на $14 \div 32\%$) дозволив підвищити обґрунтованість отриманих рішень.

Загалом, реалізація розроблених методів інформаційної підтримки прийняття рішень щодо оцінки обстановки і синтезу рішень, адекватних складеній ситуації, дасть змогу підвищити оперативність оцінки порівняно з наявними методами від 12 до 24%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вагущенко Л.Л. Інтегровані системи ходового містка [Текст] / Л.Л. Вагущенко. – Одеса: Латстар, 2003. – 169 с. (РМ).
2. Вагущенко Л.Л. Системи автоматичного керування рухом судна [Текст] / Л.Л. Вагущенко [та ін.]. – Одеса: Латстар, 2002. – 310 с. (РМ).
3. Вагущенко Л.Л. Суднові навігаційно-інформаційні системи [Текст] / Л.Л. Вагущенко [та ін.]. – Одеса: Фенікс, 2004. – 302 с. (РМ).
4. Мальцев А.С. Керування рухом судна [Текст] / А.С. Мальцев. – Одеса: Весть, 1995. – 230 с. (РМ).
5. Armstrong M.C. Practical Ship-Handling. / M.C. Armstrong. – Glasgow Brown, Son & Ferguson, Ltd. 4-10 Darnley Street, G41 2SD, 1994.
6. Hooyer H.H. Behavior and handling of ships. / H.H. Hooyer. – Cornell Maritime Press, Centreville, Maryland First edition; second printing, 1994. – 127 p.
7. <http://www.consilium.se/nles/fire-detection-marine/Consilium-ECDIS.pdf>
(дата звернення: 15.03.22).
8. <http://www.kelvinhughes.com/upload/pdfbrochures/ecdis.pdf> (дата звернення: 15.03.22).
9. <http://www.lilleyandgillie.co.uk/landg/pdf/navmaster/PC%2520Maritime%2520ECDIS.pdf> (дата звернення: 15.03.22).
10. <http://www.sam-electronics.de/dateien/navigation/broschueren/3.047.pdf>
(дата звернення: 15.03.22).
11. Гончарук І.П. Оцінка навігаційної безпеки в обмежених умовах та районах інтенсивного судноплавства / І.П. Гончарук, А.І. Головань // Водний транспорт. – 2023. – №1 (37). – С. 136-144. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.15.
12. Sorensen A.J. Design of a dynamic positioning system using model based control [Text] / A.J. Sorensen [et al.]. – Control Eng. Practice. – 1996. – V.4. – No.3. – P. 359-368.
13. Specification for chart content and display aspects of ECDIS [S52]. –

Монако: ІНВ, 1996.

14. Тимошук О.М. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу / О.М. Тимошук, О.В. Мельник // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.

15. Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREG) : Міжнародний правовий акт від 20.09.1972: станом на 15 лют. 2023 р. URL: https://www.afcan.org/dossiers_reglementation/colreg_gb/contents.html (дата звернення: 15.03.2023).

16. Khan R.U., Yin J, Mustafa F.S. (2021). Accident and pollution risk assessment for hazardous cargo in a port environment. PLoS ONE 16(6): e0252732. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252732> (дата звернення: 17.05.2023) (Scopus).

17. Fan S, Yang Z, Blanco-Davis E, Zhang J, Yan X. (2020). Analysis of maritime transport accidents using Bayesian networks. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability. 2020; 234(3):439–54.

18. Зазірний А.А. Методи формалізації процесу управління судном для підвищення ефективності функціонування судових ергатичних систем зі зміною структурою : дис. докт. філософії. : 271. Київ, 2021. – 181 с.

19. Guan, W., Cui, Z., Zhang, X. (2022) Intelligent Smart Marine Autonomous Surface Ship Decision System Based on Improved PPO Algorithm. Sensors 2022,22, 5732. <https://doi.org/10.3390/s22155732>.

20. Xu, X.L.; Lu, Y.; Liu, X.C.; Zhang, W.D. Intelligent collision avoidance algorithms for USVs via deep reinforcement learning under COLREGs. Ocean. Eng. 2020, 217, 107704. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107704> (Scopus).

21. Ротштейн А.П. Інтелектуальні технології ідентифікації: нечітка логіка, генетичні алгоритми, нейронні мережі [Текст] / А.П. Ротштейн. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с. (РМ).

22. Keenan, P. B. 2006. Spatial decision support systems: a coming of age. Control and Cybernetics 35(1):9–27.

23. Gadomski, A.M. et al.(2001). An Approach to the Intelligent Decision Advisor (IDA) for Emergency Managers. Int. J. Risk Assessment and Management, Vol. 2, Nos. ¾ (Scopus).

24. Вагущенко Л.Л. Точність і надійність стабілізації судна на маршруті дискретними корекціями курсу : дис. д-ра техн. наук : 05.22.16. – Одеса: ОМА, 1993. – 225 с. (РМ).

25. Голіков В.А. Підвищення ефективності та оптимізація руху суден при маневруванні : дис. докт. техн. наук. : 05.22.13. Одеса, 2020. – 291 с.

26. Піпченко О.Д. Розвиток теорії та практики управління ризиками при вирішенні комплексних навігаційних задач. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 навігація та управління рухом (271 – річковий та морський транспорт). Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса. 2021.

27. Кульбацький А.А. Підвищення ефективності судноводіння на водних шляхах України з застосуванням сучасних інформаційних технологій : дис. канд. техн. наук. : 05.22.13. Одеса, 2021. – 292 с.

28. Масік І.П. Метод підвищення ефективності навігації засобу водного транспорту у складних умовах : дис. канд. техн. наук : 05.22.13. Кропивницький, 2019. – 166 с.

29. Мельник О.М. Експлуатація неспеціалізованих суден при транспортуванні негабаритних і великовагових вантажів : дис. канд. техн. наук : 05.22.20. Одеса, 2021. – 129 с.

30. Тимошук О.М. Метод аналізу навігаційних ситуацій для запобігання зіткнення суден і підвищення безпеки судноплавства : дис. канд. техн. наук : 05.22.13. Кропивницький, 2019. – 171 с.

31. Цимбал М.М. Розробка методу рейсового планування оптимального завантаження контейнеровозу. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису : дис. ... докт. філософії : 271 Одеса, 2021. 183 с.

32. Dyrz C. Voyage planning and weather / C. Dyrz// – Polish Naval

Academy.– Gdynia, 2020. – 132 p.

33. Zis T. Ship weather routing: A taxonomy and survey / T. Zis, H. Psaraftis, L. Ding // – Ocean Engineering. Vol. 213. 2020. C. 10-7. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107697> (Scopus).

34. Iphar C. A geometry-based fuzzy approach for long-term association of vessels to maritime routes / C. Iphar, A.L. Jusselme. – Ocean Engineering. Vol. 281. 2023. C. 11-47. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114755> (Scopus).

35. Kytariolou A. Ship routing optimisation based on forecasted weather data and considering safety criteria / A. Kytariolou, N. Themelis. – Journal of Navigation. 2022;75(6):1310-1331. [doi:10.1017/S0373463322000613](https://doi.org/10.1017/S0373463322000613).

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

37. НДР «Розробка методів запобігання зіткнення суден для підвищення безпеки судноплавства на основі формалізації навігаційних ситуацій» № ДР (РК) 0119U103754.

38. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінет міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р.

39. Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року : Постанова Кабінету Міністрів України від 07.10.2009 № 1307.

40. Хуссейн Ю.М. Метод автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту / Ю.М. Хуссейн // Судноводіння. – 2023. – Випуск № 35. С. 151-162. doi.org/10.31653/2306-5761.35.2023.151-162.

41. Хуссейн Ю.М. Метод та система підтримки прийняття рішень для здійснення навмисної аварійної посадки суден на мілину у районі порту/ Ю.М. Хуссейн // Водний транспорт. – 2024. – №2 (40). – С. 23-36. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.02.

42. Хуссейн Ю.М. Система підтримки прийняття рішень для реагування

на надзвичайні ситуації в порту / Ю.М. Хуссейн // Вісник Одеського національного морського університету. – 2024. – №3 (74). – С. 103-120. doi.org/10.47049/2226-1893-2024-3-103-120.

43. Хуссейн Ю.М. Система підтримки прийняття рішень для управління операційними ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у портах/ Ю.М. Хуссейн // Водний транспорт. – 2025. – №1 (42). – С. 131-146. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.17.

44. Хуссейн Ю. М. Метод ситуаційного аналізу для визначення небезпеки та прийняття рішення щодо оброблення вантажів у порту / Ю. М. Хуссейн // Створення та модернізація озброєння та військової техніки для потреб Збройних Сил України: науково-технічне супроводження, випробування та сертифікація: матеріали XXII наук.-техніч. конф., [Черкаси], 28 груд. 2022 р. / М-во оборони України, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, 28 грудня 2022 року. / ДНДІ ВС ОВТ. – Видавець Євенок О.О., 2022. – Черкаси, 2022. – С. 214-215. <https://dndivsovt.com/index.php/collection/article/download/464/434/>

45. Хуссейн Ю. М. Можливі шляхи використання Big data для автоматизації процесів прийняття рішень під час розв'язання небезпечних ситуацій на судні в порту/ Ю. М. Хуссейн // Проблеми і перспективи розвитку транспорту: матеріали XI всеукраїнської наук.-практ. конференції студентів та молодих вчених [Одеса], 21 квітня. 2023 р. / М-во освіти і науки України, Одеський національний морський університет – Одеса, 2023. – С. 121-123. https://onmu.org.ua/images/university/news/XI_conf_tr_2023_at.pdf

46. Хуссейн Ю. М. Концептуальна основа системи підтримки прийняття рішень щодо ліквідації аварійних розливів нафти у порту/ Ю. М. Хуссейн // Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України: матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. конференції [Київ], 3-5 квітня 2024 р. / М-во освіти і науки України, Державний університет інфраструктури та технологій – Київ, 2024. – С. 9-10. <https://files.duit.edu.ua>

47. Хуссейн Ю. М. Актуальність автоматизації портових процесів для забезпечення взаємодії з автономними судами/ Ю. М. Хуссейн // Сучасні

інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2024): матеріали XVI Міжнародної наук.-практ. конференції [Одеса], 29-31 травня 2024 р. / М-во освіти і науки України, Херсонська державна морська академія – Одеса, 2024. – С. 70-71. <https://ksma.ks.ua/wp-content>

48. Хуссейн Ю. М. Модель визначення районів безпечного маневрування в обмежених зонах портів і підходів до них/ Ю. М. Хуссейн // Судноводіння, морські перевезення та технології (NST-2024): матеріали наук.-техн. конференції [Одеса], 20-21 листопада 2024 р. / М-во освіти і науки України, Національний університет «Одеська морська академія»— Одеса, 2024. – С. 148-152. <https://nst-conference.com.ua/wp-content/uploads/2025/02/NST-24.pdf>

49. Хуссейн Ю. М. Використання машинного навчання (machine learning) для підвищення ефективності портових операцій / Ю. М. Хуссейн // Проблеми і перспективи розвитку транспорту: матеріали XIII всеукраїнської наук.-практ. конференції студентів та молодих вчених [Одеса], 24 квітня. 2025 р. / М-во освіти і науки України, Одеський національний морський університет— Одеса, 2025. – С. 39-41. <https://onmu.org.ua/>

50. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства в Україні за 2012 рік. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. URL: https://mtu.gov.ua/files/Avar_analiz_2012.Pdf (дата звернення: 01.12.2022).

51. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства в Україні за 2013 рік. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. URL: https://mtu.gov.ua/files/Avar_analiz_2013.Pdf (дата звернення: 01.12.2022).

52. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства в Україні за 2014 рік. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/files/Аналіз за 2014.pdf> (дата звернення: 01.12.2022).

53. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства в Україні за 2015 рік. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/files/Аналіз - 2015.pdf> (дата звернення: 01.12.2022).

54. Аналіз стану безпеки руху, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2016 рік. Укртрансбезпека / Аналіз аварійності. URL:

http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/analiz_2017/analiz_avariynosti_2016.pdf (дата звернення 01.12.2022).

55. Аналіз стану безпеки руху, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2017 рік. Укртрансбезпека / Аналіз аварійності. URL: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/2018/analiz_avariynosti_2017.compressed.pdf (дата звернення 01.12.2022).

56. Аварії та інциденти на морському та річковому транспорті за 2018 рік. Офіційний сайт Укртрансбезпеки. Аналіз аварійності. URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/avariyi-ta-incydeny-na-morskому-ta-richkovomutransporti-za-2018-rik> (дата звернення: 01.12.2022).

57. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 1 півріччя 2019 року з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-4-avariynosti-za-2-kv-2019.docx> (дата звернення: 01.12.2022).

58. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 2019 рік з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-avariynostiza-2019.pdf> (дата звернення: 01.12.2022).

59. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 2020 рік з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/16012021/Zvit_2020.pdf (дата звернення: 01.12.2022).

60. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи

маломірні (малі) судна за 2021 рік з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/08022022/Zvit_2021rik.pdf (дата звернення: 01.12.2024).

61. Стан безпеки судноплавства та аварійності із суднами на морському та внутрішньому водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна, за 2022 рік з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/Zvit_4_2022.pdf (дата звернення: 01.12.2024).

62. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна, за січень – грудень 2023 року з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/11012024/analiz-mk-6-avariynosti-za-4-kv-2023.pdf> (дата звернення: 01.12.2024).

63. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна, за 2024 рік з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/zvit_avariynosti_4_2024.pdf (дата звернення: 09.02.2025).

64. Black Sea oil spill widens, Russian authorities say. Reuters (10 січня 2025) <https://www.reuters.com/world/europe/black-sea-oil-spill-widens-russian-authorities-say-2025-01-10/> (дата звернення: 27.01.2025).

65. Сокол А.О. Людський елемент, як складова ризику виникнення небажаної події на морському судні / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2023. – №2 (38). – С. 49-55. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.05.

66. Captain R., Cahill A. Collisions and their causes. 3rd. edition. – N1: London, 2002. – 173 p.

67. Оцінка обстановки у надзвичайних ситуаціях: Навч. посіб. / В. Є. Гончарук, С. І. Качан, С. М. Орел, В. І. Пуцило; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів, 2004. – 184 с.

68. Надзвичайна ситуація об'єктового рівня // Енциклопедія водного господарства, природокористування, природовідтворення, сталого розвитку / А. В. Яцик, В. Я. Шевчук – К. : Генеза, 2006. – 457 с.

69. ДСТУ 3891:2013. Державний стандарт України 3891:2013. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять. – Київ:, 2014. – 24 с.

70. ДСТУ 4933:2008. Державний стандарт України 4933:2008. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять. – Київ:, 2008 – 20 с.

71. Vanem E. Cost-effectiveness criteria for marine oil spill preventive measures / E. Vanem, O. Endersen, R. Skjong // Reliability Engineering & System Safety. – 2008. – Vol. 93. – P. 1354–1368 (Scopus).

72. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). International Maritime Organization (IMO). URL: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx) (дата звернення: 16.04.2023).

73. Resolution A.741(18) Adopted on 4 November 1993 International Management Code for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (International Safety Management (ISM) Code) (Electronic Version for Distribution on the World Wide Web) URL: [http://sosnin.org/downloads/Resolutions/ism_res741\(18\).pdf](http://sosnin.org/downloads/Resolutions/ism_res741(18).pdf) (дата звернення: 23.01.2023).

74. ISO 31000:2018 – Risk management – Guidelines URL: <https://www.iso.org/standard/65694.html> (дата звернення: 23.01.2023).

75. ISO Guide 73:2009 – Risk management – Vocabulary URL: <https://www.iso.org/standard/44651.html> (дата звернення: 23.01.2023).

76. ДСТУ 31000-2018. Державний стандарт України 31000-2018.

Менеджмент ризику. Принципи та керівництво. – Київ:, 2018 – 19 с.

77. The International Convention on Maritime Search and Rescue (SAR Convention). International Maritime Organization. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Convention_on_Maritime_Search_and_Rescue (дата звернення: 19.05.2023).

78. International Convention Relating to Intervention on the High Seas in Cases of Oil Pollution Casualties 1969 (INTERVENTION 1969). International Maritime Organization. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Convention_Relating_to_Intervention_on_the_High_Seas_in_Cases_of_Oil_Pollution_Casualties (дата звернення: 19.05.2023).

79. International Aviation and Maritime Search and Rescue (IAMSAR) Manual. In 3 vols. Vol. 2, Vol. 3 / International Maritime Organization. - Montreal: ICAO, 2010, 2016, 2019. – 116 p., 278 p., 438 p.

80. Закон України «Про внутрішній водний транспорт» від 03.12.2020 №1054-IX. URL: https://ips.ligazakon.net/document/xi01231a?ed=2020_02_05 (дата звернення: 24.06.2023).

81. Кодекс цивільного захисту України. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 34-35, ст.458. URL: https://disasterlaw.ifrc.org/sites/default/files/media/disaster_law/2022-02/Code%20of%20Civil%20Protection%20of%20Ukraine%20%28Ukrainian%20Version%29.pdf (дата звернення: 24.06.2023).

82. Національний класифікатор ДК 019:2010 "Класифікатор надзвичайних ситуацій" (Чинний від 01.01.2011) (http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ST001982.html) (дата звернення: 23.06.2023).

83. Постанова кабінету міністрів України від 23 грудня 2015 р. № 1186 «Про затвердження Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з перевезення пасажирів, небезпечних вантажів та небезпечних відходів річковим, морським транспортом» URL: <https://yurist->

online.org/publ/postanovi_kmu/postanova_kmu_1186_vid_23_12_15_pro_zatverdzhennja_licenzijnikh_umov_provadjhennja_gospodarskoji_dijalnosti_z_perevezenja_pasazhiriv/8-1-0-1656?ysclid=m95rxuivpl763194721 (дата звернення: 24.06.2023).

84. The Black Sea Grain Initiative. www.usaid.gov. 2022-11-14. <https://www.un.org/en/black-sea-grain-initiative> (дата звернення: 17.09.2023).

85. Nichols, Michelle (2022-11-18). Black Sea grain export deal extended, but Russia wants more on fertiliser exports. Reuters. <https://www.reuters.com/world/un-secretary-general-says-black-sea-grain-deal-extended-2022-11-17/> (дата звернення: 17.09.2023).

86. Joint Coordination Centre opens in Istanbul to facilitate safe export of commercial foodstuffs and fertilizers from Ukrainian ports - Türkiye | ReliefWeb. <https://reliefweb.int/report/turkiye/joint-coordination-centre-opens-istanbul-facilitate-safe-export-commercial-foodstuffs-and-fertilizers-ukrainian-ports> (дата звернення: 17.09.2023).

87. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України 29.05.2006 №516 Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами. https://evpatoriya-mdm.ru/seaman/Sea_right/516_29_05_2006_ua.html (дата звернення: 17.09.2023).

88. Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних подій із суднами, затверджене Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 08.09.2017 року № 500. <https://ips.ligazakon.net/document/MN020649> (дата звернення: 17.09.2023).

89. Resolution A.849(20) adopted on 27 November 1997 Code for the Investigation of Marine Casualties and Incidents. (Кодекс з розслідування морських аварій і інцидентів, прийнятий резолюцією А.849 (20) Асамблеї ІМО). [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.849\(20\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.849(20).pdf) (дата звернення: 21.09.2023).

90. Pietrzykowski, Z., Piotr, W., & Borkowski, P. (2017). Decision Support in Collision Situations at Sea. *The Journal of Navigation*, 447-464. [DOI:10.1017/S0373463316000746](https://doi.org/10.1017/S0373463316000746) (дата звернення: 12.08.2024).

91. Mateusz Gila, Krzysztof Wróbel, Jakub Montewka, Floris Goerlandt (2020). A bibliometric analysis and systematic review of shipboard Decision Support Systems for accident prevention. *Safety Science* Volume 128, August 2020, 104717 <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104717> (Scopus).

92. Negenborn, R.R., Goerlandt, F., Johansen, T.A., Slaets, P., Valdez Banda, O.A., Vanelander, T., Ventikos, N.P. Autonomous ships are on the horizon: here's what we need to know. *Nature* – Volume 615, Issue 7950, 2 March 2023, P. 30-33. [DOI: 10.1038/d41586-023-00557-5](https://doi.org/10.1038/d41586-023-00557-5).

93. Sukas, Omer Faruk; Kinaci, Omer Kemal; Bal, Sakir (2019). Theoretical background and application of MANSIM for ship maneuvering simulations MANSIM Lab. *Ocean Engineering*, 192, 106239.

94. Mingyang Zhang, Ghalib Taimuri, Jinfen Zhang, Di Zhang, Xinping Yan, Pentti Kujala, Spyros Hirdaris (2025). Systems driven intelligent decision support methods for ship collision and grounding prevention: Present status, possible solutions, and challenges. – *Reliability Engineering & System Safety* Volume 253, January 2025, 110489. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110489> (Scopus).

95. Xuri Xin, Kezhong Liu, Sean Loughney, Jin Wang, Huanhuan Li, Nduka Ekere, Zaili Yang (2023). Multi-scale collision risk estimation for maritime traffic in complex port waters. – *Reliability Engineering & System Safety*. – Volume 240, December 2023, 109554 <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109554> (Scopus).

96. C. Dominguez-Péry, L.N.R. Vuddaraju, I. Corbett-Etchevers, R. Tassabehji. Reducing maritime accidents in ships by tackling human error: a bibliometric review and research agenda. *Journal of Shipping and Trade*, 6 (2021), pp. 1-32. <https://doi.org/10.1186/s41072-021-00098-y>.

97. Zhang M. Big data analytics methods for collision and grounding risk analysis in real conditions: Framework, evaluation, and applications. – 2022.

98. Samsul Ariffin Abdul Karim. Intelligent Systems of Computing and

Informatics: An Overview. Chapter 1 in Intelligent Systems of Computing and Informatics. – CRC Press: London, 2024. – P. 1-11. DOI: [10.1201/9781003400387-1](https://doi.org/10.1201/9781003400387-1).

99. Ramanathan Sugumaran & John DeGroote. Spatial Decision Support Systems. – CRC Press: New York, 2011. – 486 P.

100. Stefanuk, V.L. (2000), Dynamic expert systems, Kybernetes, Vol. 29 No. 5/6, pp. 702-709. <https://doi.org/10.1108/03684920010333134>.

101. Fuzzy Logic. Stanford Encyclopedia of Philosophy. Bryant University. 23 July 2006. Retrieved 30 September 2008.

102. Haettenschwiler, P. Neues anwenderfreundliches Konzept der Entscheidungsunterstützung. Gutes Entscheiden in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. / P. Haettenschwiler - Zurich Hochschulverlag AG, 1999. - P. 189-208.

103. Power, D. A Brief History of Decision Support Systems. [Электронный ресурс] / Daniel Power – Режим доступа: <https://dssresources.com/dsshistory>.

104. Power, D.J. What is a DSS? / D.J. Power // The On-Line Executive Journal for Data-Intensive Decision Support. - 1997. - Vol. 1. - No 3.

105. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень / С.О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.

106. Golden B., Hevner A., Power D.J. Decision Insight Systems: A Critical Evaluation. // Computers and Operations Research. 1986. V. 13. № 2/3. P. 287-300.

107. Holsapple, C.W. Decision Support Systems: A Knowledgebased Approach. / C.W. Holsapple, A.B. Whinston - Minneapolis: West Publishing Co., 1996.

108. Power, D. J., Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers, Greenwood/Quorum, 2002.

109. Executive information systems (January 1994). Retrieved June 17, 2006, from <https://web.archive.org/web/20060620081931/http://www.cs.ui.ac.id/staf/sjarif/eis.htm>.

110. Glykas, Michael. Business Process Management: Theory and Applications / Michael Glykas - Springer, 2012. – 459 p.

111. Литвин В.В. Інтелектуальні системи. / В.В. Литвин, В.В. Пасічник, Ю.В. Яцишин – Львів: Новий Світ–2000, 2013. – 406 с.
112. Lukasz Kurgan and Petr Musilek: ["A survey of Knowledge Discovery and Data Mining process models" Archived 2013-05-26 at the Wayback Machine](#). *The Knowledge Engineering Review*. Volume 21 Issue 1, March 2006, pp 1–24, Cambridge University Press, New York, [doi:10.1017/S0269888906000737](#).
113. Parsaye, K. OLAP and Data Mining: Bridging the Gap / K. Parsaye // Database Programming and Design. - 1997. - No 2.
114. Surajit Chaudhuri & Umeshwar Dayal (1997). "An overview of data warehousing and OLAP technology". *SIGMOD Rec.* 26 (1): 65. [doi:10.1145/248603.248616](#). [S2CID 8125630](#).
115. Abdullah, Ahsan (November 2009). "Analysis of mealybug incidence on the cotton crop using ADSS-OLAP (Online Analytical Processing) tool". *Computers and Electronics in Agriculture*. 69 (1): 59–72. [doi:10.1016/j.compag.2009.07.003](#).
116. Ian, H. Witten. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. / Ian H. Witten, Eibe Frank and Mark A. Hall - 3rd Edition. - Morgan Kaufmann, 2011. – 664 p.
117. Drozdenko, Ronald G. *Optimal Database Marketing: Strategy, Development, and Data Mining*. / Ronald G. Drozdenko, Perry D. Drake - SAGE Publications, Inc., 2002. - 425 p.
118. Thomas, Michael. *Data mining and clustering in chemical process databases for monitoring and knowledge discovery* / Thomas, Michael & Zhu, Wenbo & Romagnoli, Jose // *Journal of Process Control*. - Vol. 67. - 2018. - P. 160-175.
119. Tutubalin, P. Status of creation of hardware-software complex of automatic control of the insulin delivery / P. Tutubalin, S. Novikova, A. Semenova, E. Komissarova, N. Arutyunova, S. Sotnikov and A. Alexandrov // *Journal of Physics: 175 Conference Series*. - 2019. - Vol. 1368. - p. 042006 - [doi:10.1088/1742-6596/1368/4/042006](#).
120. Jindal, Minky. *Data Mining in Web Search Engine Optimization and User Assisted Rank Results* / Jindal, Minky and Nisha Kharb // *International Journal*

of Computer Applications. - No 95. - 2014. - P. 1-5.

121. Mughal, Muhammad Jawad. Data Mining: Web Data Mining Techniques, Tools and Algorithms: An Overview / Mughal, Muhammad Jawad // (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications. - 2018. - Vol. 9. - No. 6. - P. 208-215.

122. S P Shinde and V P Deshmukh, 'Implementation of Pattern Recognition Techniques and Overview of Its Applications in Various Areas of Artificial Intelligence' (2011) International Journal of Advances in Engineering & Technology 1(4) 127–137.

123. P Vizureanu, 'Introductory Chapter: Enhanced Expert System — A Long-Life Solution, Enhanced Expert Systems' (Web Page, 2 April 2019) <https://www.intechopen.com/books/enhanced-expert-systems/introductory-chapter-enhanced-expert-system-a-long-life-solution>

124. Sabah, Sarawak to Use AI tools in Judicial Decision-making Process', New Straits Times (online, 17 January 2020). <https://www.nst.com.my/news/nation/2020/01/557497/sabah-sarawak-use-ai-tools-judicial-decision-making-process>

125. Christopher Smith et al, 'The History of Artificial Intelligence' (Research Paper, University of Washington, December 2006) <https://courses.cs.washington.edu/courses/csep590/06au/projects/history-ai.pdf>

126. Daniel Edmund O'Leary. Introduction to artificial intelligence and expert systems. Pros and Cons of Artificial Intelligence — A Threat or a Blessing?' (Web Page) <https://data-flair.training/blogs/artificial-intelligence-advantages-disadvantages/>

127. Carol E Brown and David E O'Leary, 'Introduction to Artificial Intelligence and Expert Systems' (1995) https://www.researchgate.net/publication/312166532_Introduction_to_artificial_intelligence_and_expert_systems

128. L.J. Muhammad, E.J. Garba, N.D.Oye, G.M.Wajiga. Modeling Techniques for Knowledge Representation of Expert System: A Survey. December

2019. Journal of Applied Computer Science & Mathematics 13(2):39-44.
DOI:[10.4316/JACSM.201902006](https://doi.org/10.4316/JACSM.201902006).

129. Vytautas Paulauskas , Valdas Lukauskas , Birute Plačiene & Raimondas Barzdžiukas (2012) Ships leaving a port under emergency conditions, Transport, 27:4, 345-350, DOI: 10.3846/16484142.2012.720278

130. Gideon Dror, Marc Boulle, Isabelle Guyon, Vincent Lemaire, David Vogel The 2009 Knowledge Discovery in Data Competition (KDD Cup 2009) Challenges in Machine Learning, Volume 3.

131. Kecman, Vojislav (2001). Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks, and Fuzzy Logic Models. MIT Press. Cambridge, Massachusetts, London [ISBN 978-0-262-11255-0](https://doi.org/10.1017/9780521851301).

132. Trillas, E., Eciolaza, L. (2015). Fuzzy Arithmetic. In: Fuzzy Logic. Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol 320. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14203-6_6.

133. Beşikçi E. B. et al. An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations // Computers & Operations Research. - 2016. - Vol. 66. - P. 393-401.

134. Delen, D. Artificial neural networks in decision support systems. Handbook on Decision Support Systems 1 / D. Delen, R. Sharda // Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. - P. 557-580.

135. Li, M., Fu, J., Yu, H., Bai, L. Sensitive and emotional intelligence: an empirical study with mental health as a regulating variable. Curr Psychol. (2020). <https://doi.org/10.1007/s12144-020-00669-5>.

136. Zadeh L.A. Fuzzy sets. / L.A. Zadeh // Information and Control. - 1965. Vol. 8. - No 3. - P. 338-353.

137. Dorai, C. Bridging the Semantic Gap with Computational Media Aesthetics. / C. Dorai, S. Venkatesh // IEEE MultiMedia. - 2003. - No 10(2). - P. 15-17.

138. Jorge-Botana, G., Olmos, R. & Luzón, J.M. Bridging the theoretical gap between semantic representation models without the pressure of a ranking: some lessons learnt from LSA. Cogn Process 21, 1–21 (2020).

<https://doi.org/10.1007/s10339-019-00934-x>.

139. Zbigniew Pietrzykowski, Piotr Wolejsza. Decision Support System in Marine Navigation. Chapter in Challenge of Transport Telematics, 2016, Volume 640. ISBN : 978-3-319-49645-0.

140. Popper K. The Logic of Scientific Discovery. L.: Hutchinson & Co., 1959.

141. Popper [K.](#), Lorenz [K.](#) [Die Zukunft ist offen. Das Altenberger Gespräch. München-Zürich: Piper, 1985.](#)

142. Minsky, Marvin A framework for representing knowledge / Marvin Minsky Cambridge, 1974.

143. MacKinnon, S.N., Weber, R., Olindersson, F., Lundh, M. (2020). Artificial Intelligence in Maritime Navigation: A Human Factors Perspective. In: Stanton, N. (eds) Advances in Human Aspects of Transportation. AHFE 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1212. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50943-9_54.

144. Hermes, H. (1973). The Language of Predicate Logic. In: Introduction to Mathematical Logic. Universitext. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-87132-0_2.

145. Pękala, B. (2019). Applications. In: Uncertainty Data in Interval-Valued Fuzzy Set Theory. Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol 367. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93910-0_3.

146. Зазірний А.А. Визначення та контролю місця положення судна з використанням нечіткої логіки / А.А. Зазірний // Водний транспорт. – 2023. – №2 (38). – С. 157-164. [doi.org/ 10.33298/2226-8553.2023.2.38.17](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.17).

147. Goerlandt, F., Kujala, P., 2014. On the reliability and validity of ship–ship collision risk analysis in light of different perspectives on risk. Safety Science 62, 348–365.

148. Karahalios, H., 2014. The contribution of risk management in ship management: The case of ship collision. Safety Science 63, 104–114.

149. Qu, X., Meng, Q., Suyi, L., 2011. Ship collision risk assessment for the Singapore Strait. Accid Anal Prev 43, 2030–2036.

150. Hänninen, M., Kujala, P., 2012. Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model. *Reliability Engineering & System Safety* 102, 27–40 (Scopus).
151. Mou, J.M., Tak, C.v.d., Ligteringen, H., 2010. Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data. *Ocean Engineering* 37, 483–490.
152. Gouveia, J.V., Guedes Soares, C., 2010. Oil Spill Incidents in Portuguese Waters, In: Guedes Soares, C., J, P. (Eds.), *Advanced Ship Design for Pollution Prevention* Taylor & Francis Group, London, pp. 217–223.
153. Sebastião, P., Guedes Soares, C., 2007. Uncertainty in predictions of oil spill trajectories in open sea. *Ocean Engineering* 34, 576–584.
154. Lee, M., Jung, J.Y., 2015. Pollution risk assessment of oil spill accidents in Garorim Bay of Korea. *Mar Pollut Bull* 100, 297–303.
155. Soner, O., Asan, U., Celik, M., 2015. Use of HFACS–FCM in fire prevention modelling on board ships. *Safety Science* 77, 25–41.
156. Jasionowski, A., 2011. Decision support for ship flooding crisis management. *Ocean Engineering* 38, 1568–1581.
157. Varela, J., Rodrigues, J., Guedes Soares, C., 2014. On-board Decision Support System for Ship Flooding Emergency Response. *Procedia Computer Science* 29, 1688–1700.
158. van de Wiel, G., van Dorp, J.R., 2009. An oil outflow model for tanker collisions and groundings. *Annals of Operations Research* 187, 279–304.
159. Zhang, D., Yan, X.P., Yang, Z.L., Wall, A., Wang, J., 2013. Incorporation of formal safety assessment and Bayesian network in navigational risk estimation of the Yangtze River. *Reliability Engineering & System Safety* 118, 93–105.
160. Pedersen, P.T., 2010. Review and application of ship collision and grounding analysis procedures. *Marine Structures* 23, 241–262.
161. Mazaheri, A., Montewka, J., Kujala, P., 2014. Modeling the risk of ship grounding—a literature review from a risk management perspective. *WMU Journal of Maritime Affairs* 13, 269–297.

162. Kitamura, O., 2002. FEM approach to the simulation of collision and grounding damage. *Marine Structures* 15, 403–428.
163. Uğurlu, Ö., Yıldırım, U., Başar, E., 2015. Analysis of grounding accidents caused by human error. *Journal of Marine Science & Technology*
164. Akhtar, M.J., Utne, I.B., 2014. Human fatigue's effect on the risk of maritime groundings – A Bayesian Network modeling approach. *Safety Science* 62, 427–440.
165. Graziano, A., Teixeira, A.P., Guedes Soares, C., 2015. Application of TRACEr taxonomy for the codification of grounding and collision accidents, In: Guedes Soares, C., Santos, T.A. (Eds.), *Maritime Technology and Engineering*. Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 215–226.
166. Wu, B., Yan, X., Wang, Y., Guedes Soares, C., 2016. Selection of maritime safety control options for NUC ships using a hybrid group decision-making approach. *Safety Science* 88, 108–122.
167. Abi-Zeid, I., Frost, J.R., 2005. SARPlan: A decision support system for Canadian Search and Rescue Operations. *European journal of operational research* 162, 630–653.
168. Calabrese, F., Corallo, A., Margherita, A., Zizzari, A.A., 2012. A knowledge-based decision support system for shipboard damage control. *Expert Systems with Applications* 39, 8204–8211.
169. Varela, J.M., Guedes Soares, C., 2007. A virtual environment for decision support in ship damage control. *IEEE Computer Graphics and Applications* 27, 58–69.
170. Mabrouki, C., Bentaleb, F., Mousrij, A., 2014. A decision support methodology for risk management within a port terminal. *Safety Science* 63, 124–132.
171. Akyuz, E., Celik, M., 2014. A hybrid decision-making approach to measure effectiveness of safety management system implementations on-board ships. *Safety Science*, 169–179.
172. Левченко О.В. Метод оцінки та прогнозування навігаційної

ситуації під час руху судна / О.В. Левченко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2022. – №4. – С. 4-9.

173. Yakovenko, V.M., Silva, A.C. (2005). Two-class Structure of Income Distribution in the USA: Exponential Bulk and Power-law Tail. In: Chatterjee, A., Yarlagadda, S., Chakrabarti, B.K. (eds) *Econophysics of Wealth Distributions*. New Economic Windows. Springer, Milano. https://doi.org/10.1007/88-470-0389-X_2.

174. Fujishima, Kiyohito. "Knowledge-Driven Automated Service Composition as a Method for Developing Decision Support Systems." *International Journal for Applied Information Management* 2.1 (2022): 44-49. <https://doi.org/10.47738/ijaim.v2i1.26>.

175. Zou, Y.; Zhang, Y.; Ma, Z. Emergency Situation Safety Evaluation of Marine Ship Collision Accident Based on Extension Cloud Model. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 1370. <https://doi.org/10.3390/jmse9121370>.

176. Uğurlu Ö. et al. Analyzing collision, grounding, and sinking accidents occurring in the Black Sea utilizing HFACS and Bayesian networks //Risk analysis. – 2020. – T. 40. – №. 12. – P. 2610-2638.

177. Gledić I., Mikulić A., Parunov J. Improvement of the Ship Emergency Response Procedure in Case of Collision Accident Considering Crack Propagation during Salvage Period //Journal of Marine Science and Engineering. – 2021. – T. 9. – №. 7. – P. 737.

178. Kaptan, M.; Uğurlu, Ö.; Wang, J. The Effect of Nonconformities Encountered in the Use of Technology on the Occurrence of Collision, Contact and Grounding Accidents. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2021, 215, 107886.

179. Yildirim, U.; Ugurlu, O.; Basar, E.; Yukseyildiz, E. Human Factor Analysis of Container Vessel's Grounding Accidents. *Int. J. Marit. Eng.* 2017, 159, 89–98.

180. Parunov, J.; Prebeg, P.; Rudan, S. Post-Accidental Structural Reliability of Double-Hull Oil Tanker with near Realistic Collision Damage Shapes. *Ships Offshore Struct.* 2020, 15, 1–18.

181. Luis, R.M.; Teixeira, A.P.; Guedes Soares, C. Longitudinal strength reliability of a tanker hull accidentally grounded. *Struct. Saf.* 2008, 31, 224–233.

182. Primorac, B.B.; Parunov, J.; Soares, C.G. Structural Reliability Analysis of Ship Hulls Accounting for Collision or Grounding Damage. *J. Mar. Sci. Appl.* 2020, 19, 717–733.
183. Zhou, Z.; Zhang, Y.; Wang, S. A Coordination System between Decision Making and Controlling for Autonomous Collision Avoidance of Large Intelligent Ships. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 1202.
184. Zhang, L.; Wang, H.; Meng, Q.; Xie, H. Ship Accident Consequences and Contributing Factors Analyses Using Ship Accident Investigation Reports. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part O J. Risk Reliab.* 2019, 233, 35–47.
185. Bologna, S. and Gadomski, A.M. (1996). MINDES program managerial intelligent node of decision-support for emergency supervision. In *Proceedings of the GEMINI (Global Emergency Management International Network Initiative) Meeting*, ENEA Press, Rome.
186. Balducelli, C., Bologna, S. and Gadomski, A.M. (1997). MINDES umbrella program managerial intelligent node for decisional emergency support. *Materials of the EDSS Workshop*, ENEA Press, Rome.
187. Huhns, M.N. and Singh, M.P. (1998) (Eds.). *Readings in Agents* Morgan Kaufman Publishers, San Francisco.
188. Gadomski, A.M. (1994). TOGA: a methodological and conceptual pattern for modelling of abstract intelligent agent. *Abstract Intelligent Agent*, 1993, A. M. Gadomski (Ed.) Published by ENEA, Rome, February, pp. 5–25.
189. Franklin, S. and Graesser, A. (1997). Is it an agent, or just a program?: a taxonomy for autonomous agent. In *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, published as *Intelligent Agents III*, Springer-Verlag, pp. 21–35.
190. Gadomski, A.M., Bologna, S. and Di Costanzo, G. (1995). Intelligent decision support for cooperating emergency managers: the TOGA based conceptualization framework. In *Proceedings of TIEMEC 1995: The International Emergency Management and Engineering Conference*, J.D. Sullivan, J.L. Wybo and L. Buisson (Eds.), TIEMS Press, Nice, pp. 379–385.

191. Balducelli, C., Bologna, S., Di Costanzo, G., Gadomski, A.M. and Vicoli, G. (1995). Computer aided training for cooperating emergency managers: some results of the MUSTER project. In Proceedings of the MEMbrain Conference on International Aspects of Emergency Management and Environmental Technology, H. Drager (Ed.), A/Q Quasar Consultants Press, Norway, Oslo, pp. 433–444.

192. Gadomski, A.M., Balducelli, C., Bologna, S. and Di Costanzo, G. (1998). Integrated parallel bottom-up and top-down approach to the development of agent-based intelligent DSSs for emergency management. In Proceedings of the International Emergency Management Society Conference TIEMS'98: Disaster and Emergency Management, J.R. Harrald and G.L. Shaw (Eds.), TIEMS Press, Washington, pp. 421–434.

193. Gadomski, A.M. and Di Costanzo, G. (1996). Intelligent decision support system for industrial accident management. In Proceedings of 8th European Simulation Symposium, A.G. Bruzzone and J.H. Kerckhoffs (Eds.), SCS International Press, Genoa, pp. 137–141.

194. Gadomski, A.M., Bologna, S., Di Costanzo, G., Perini, A., Schaerf M. Towards intelligent decision support systems for emergency managers: the IDA approach. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2001 Vol.2 No.3/4, pp. 224-242. DOI: 10.1504/IJRAM.2001.001507.

195. Balducelli, C., Di Costanzo, G., Gadomski, A.M. and Iannucci, R. (1997). Requisiti funzionali per un sistema intelligente di supporto alle decisioni nel campo della gestione delle emergenze. The ENEA's Internal Report, Rome.

196. Dean, T. and Wellman, M. (1991). *Planning and Control*, Morgan Kaufman Publishers, San Mateo.

197. Дакі О.А. Модель системи кондиціювання та охолодження повітря на сучасних нафтоналивних суднах і газовозах / О.А. Дакі, Ю.Г. Якусевич, В.В. Ліганенко, В.В. Тришин // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.

198. Aamodt, A. and Plaza, E. (1994). Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations and system approaches. *Artificial Intelligence*

Communications, J., IOS Press, Vol. 7, No. 1, pp. 39–59.

199. Quatrani, T. (1998). Visual Modelling with Rational Rose and UML. Addison-Wesley Longman Inc, Reading, Massachusetts.

200. Allen, J.F. (1983). Maintaining knowledge about temporal intervals. Communications of the ACM, November, Vol. 26, No. 11, pp. 832–843.

201. McCarthy, J. (1980). Circumscription – a form of non-monotonic reasoning. Artificial Intelligence, Vol. 13, pp. 27–39.

202. Reiter, R. (1980). A logic for default reasoning. Artificial Intelligence, Vol. 13, pp. 81–132.

203. Puterman, M. (1994). Markov Decision Processes, John Wiley and Sons.

204. Boutilier, C., Dean, T. and Hanks, S. (1995). Planning under uncertainty: structural assumptions and computational leverage. In Proceedings of the 2nd European Planning Workshop.

205. Kaebling, L.P. (1993). Learning to achieve goals. In Proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI Press, Chambéry, F., pp. 1094–1098.

206. Ricci, F., Avesani, P. and Perini, A. (1999). Cases on fire: applying CBR to emergency management. The New Review of Applied Expert Systems, T. Graham (Ed.), Vol. 5, pp. 175-190.

207. Mansour, A. and Ertekin, R.C. (eds.), 2003, Proc. 15th Int. Ships and Offshore Structures Congress, ISSC, San Diego, USA, 2003.

208. Wang, G., Spencer, J. and Chen, Y., 2001, Assessment of Ship's performance in accidents, 2nd Int. Conf. on Collision and Grounding of Ships, Copenhagen, Denmark, July, 2001.

209. Simonsen, B. and Wierzbicki, T., 1997, Theoretical Manual on Grounding Damage of Ships, Vol III, Report No. 59, Joint MIT/Industry Program on tanker Safety.

210. Simonsen, B., 1997, Mechanics of Ship Grounding, PhD Thesis, Dept. Naval Arch. And Ocean Eng., Technical University of Denmark.

211. Amdahl, J., Hellan, O., 2004. Intentional Grounding of Disabled Ships -

On-board and Shore based Decision Support System
<https://www.researchgate.net/publication/239747829> (дата звернення
 23.11.2023).

212. Ohtsubo, H. and Sumi, Y. (eds.), 2000, Proc. 14th Int. Ships and Offshore Structures Congress, ISSC, Japan, 2000.

213. Wang, G., Chen, Y., Zhang, H. and Peng, H., 2002, Longitudinal Strength of Ships with Accidental Damages, J. Marine Structures, 15, 2002.

214. McClintock, F., A., 1968, A criterion for ductile fracture by growth of holes, Trans. ASME, J. Appl. Mech.

215. Rice, J. and Tracey, D., 1969, On the ductile enlargement of voids in triaxial stress fields, J Mechanics & Physics of Solids, v 17, n 3, pp. 201-217.

216. Bao, Y., B., and Wierzbicki, T., 2004, On the fracture locus in the equivalent strain and stress triaxiality space, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 46, pp. 81-98.

217. Lee, Y., Wierzbicki, T. and Bao, Y., 2003. Necking, Fracture Initiation and Crack Propagation in Flat Tensile Specimens, MIT Impact and Crashworthiness Laboratory, Report no. 114.

218. Simonsen, B., C. and Törnqvist, R., 2004, Experimental and Numerical Modeling of Ductile Crack Propagation in Large-scale Shell Structures, Marine Structures, Vol. 17, pp. 1-27.

219. Osorio, J. C., Manotas, D. F., & García, J. L. (2017). Operational Risk Assessment in 3PL for Maritime Transportation. Research in Computing Science, 132(1), 63–69. <https://doi.org/10.13053/rcs-132-1-6>.

220. Sener, Z., & Ozturk, E. (2015). A QFD-Based Decision Model for Ship Selection in Maritime Transportation. International Journal of Innovation, Management and Technology, 6(3), 202–205. <https://doi.org/10.7763/ijimt.2015.v6.602>.

221. Головань А.І. Особливості методики моделювання та інформаційної системи моніторингу показників ефективності системи технічного обслуговування вантажних суден / А.І. Головань // Водний

транспорт. – 2023. – №2 (38). – С. 27-37. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.03.

222. Branch, A.E. and Robarts, M. (2014), Elements of Shipping, Routledge, Taylor and Francis, New York, NY.

223. Barnes, P. and Oloruntoba, R. (2005), “Assurance of security in Maritime supply chains: Conceptual issues of vulnerability and crisis management”, Journal of International Management, Vol. 11 No. 4, pp. 519-540.

224. Eleye-Datubo, A.G., Wall, A., Saajedi, A. and Wang, J. (2006), “Enabling a powerful marine and offshore decision-support solution through Bayesian network technique”, Risk Anal, Vol. 26No. 3, pp. 695-721.

225. Goerlandt, F. and Montewka, J. (2015b), “Maritime transportation risk analysis: review and analysis in light of some foundational issues”, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 138, pp. 115-134.

226. Soares, C.G. and Teixeira, A.P. (2001), “Risk assessment in Maritime transportation”, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 74 No. 3, pp. 299-309.

227. Нікітін П.В. Метод управління ризиками надзвичайних ситуацій при виконанні морських перевезень / П.В. Нікітін, І.А. Гусак // Водний транспорт. – 2023. – №2 (38). – С. 108-115. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.12.

228. UK Essays. (November 2018). Concept of Risk Management in Navy Management Essay. from: <https://www.ukessays.com/essays/management/concept-of-risk-management-in-navy-management-essay.php?vref=1>.

229. Walker, R. (n.d.). The Increasing Importance of Operational Risk in Enterprise Risk Management.

230. Güller, A., & Gündüz, T. (2016). Limanlarda Kullanılan İş Makinelerinde Risk Analizi Çalışması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5(0), 127. <https://doi.org/10.21923/jesd.08213>.

231. James Molinary Ltd. 2011. Gibraltar Port Explosion Sets off Major Emergency. 2 June 2011. Available from Internet: <http://www.molinary.com/gibraltar-port-explosion-sets-off-major-emergency>.

232. BS 6349-4:2000. British Standard. Maritime Structures. Code of Practice for Design of Fendering and Mooring Systems.

233. Paulauskas, V.; Paulauskas, D.; Wijffels, J. 2008. Ships mooring in Complicated Conditions and possible solutions, in Proceedings of the 12th International Conference 'Transport means', 67–70.

234. Peckham, R. 2001. Dry bulk terminals drive for ship/shore, Port Technology International 14: 65–67.

235. Давидов В.С. Про створення математичної моделі руху великогабаритного контейнерного судна у мілководному стиснутому районі в складних навігаційно-гідрографічних і гідрометеорологічних умовах плавання / В.С. Давидов, В.М. Кліндухова, О.В. Ляшко, І.О. Любарєць // Водний транспорт. – 2023. – №2 (38). – С. 37-48. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.04.

236. Strem, K. 2004. Ship's handling. FORCE Technology, Denmark. 130 p.

237. Criteria for Movements of Moored Vessels in Harbours. 1995. PIANC.

238. Постніков Є.Є. Модель оцінювання навігаційної небезпеки при стаціонарному буксируванні сейсмічного обладнання / Є.Є. Постніков // Водний транспорт. – 2023. – №2 (38). – С. 151-157. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.16.

239. Somanathan, S.; Flynn, P.; Szymanski, J. 2009. The Northwest Passage: a simulation, Transportation Research Part A: Policy and Practice 43(2): 127–135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2008.08.001>.

240. Strubbe, J. 1987. The ports of Belgium: a heritage for the future. Lannno. 182 p.

241. Paulauskas, V. 1999. Laivo valdymas upatingomis sąlygomis. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla. 164 p. (in Lithuanian).

242. Paulauskas, V.; Paulauskas, D. 2009. Laivo valdymas uoste. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla. 256 p. (in Lithuanian).

243. Vytautas Paulauskas, Valdas Lukauskas, Birute Plačiene & Raimondas Barzdžiukas (2012) Ships leaving a port under emergency conditions, Transport, 27:4, 345-350, [DOI: 10.3846/16484142.2012.720278](https://doi.org/10.3846/16484142.2012.720278).

244. Köse, E.; Başar, E.; Demirci, E.; Güneroglu, A.; Erkebay, Ş. 2003. Simulation of marine traffic in Istanbul Strait, *Simulation Modelling Practice and Theory* 11(7–8): 597–608. <http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2003.10.001>.
245. Hensen, H. 1999. *Ship Bridge Simulators: A Project Handbook*. The Nautical Institute. 168 p.
246. Thiers, G. F.; Janssens, G. K. 1998. A port simulation model as a permanent decision instrument, *Simulation* 71(2): 117–125. <http://dx.doi.org/10.1177/003754979807100206>.
247. E-Sea Fix Navigation System. 2003. Marimatech, Denmark. 120 p.
248. Герасимов Б.М., Дивізійнюк М.М., Субач І.Ю. Системи підтримки прийняття рішень: проектування, застосування, оцінка ефективності. – Севастополь: МО України, НАН України, НДЦ ВМС України «Державний океанаріум», 2004. – 318 с. (РМ).
249. Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев І.А. Людино-машинні системи прийняття рішень з елементами штучного інтелекту. – К.: Наукова думка, 1993. – 184 с. (РМ).
250. Городнов В.П. Моделювання бойових дій підрозділів, з'єднань і об'єднань військ ППО. – Харків: ВІРТА ППО, 1987. – 314 с. (РМ).
251. Герасимов Б.М., Грабовський Г.Г., Рюмінін М.А. Нечіткі множини в задачах проектування, управління та обробки інформації. – Київ: Техніка, 2002. – 140 с. (РМ).
252. Павленко М.А., Перепелиця А.В. Адаптивне керування інформаційними моделями в експертних системах реального часу // Матеріали V міжвузівської науково-методичної конференції «Експертні оцінки елементів навчального процесу». – Харків: НУА, 2003. – С. 62–64. (РМ).
253. Ярушек В.Є., Прохоров В.П., Судаков Б.М., Мішин А.В. Теоретичні основи автоматизації процесів вироблення рішень у системах управління. – Харків: ХВУ, 1993. – 446 с. (РМ).

Додаток А

Фактори, що впливають на визначення класу надзвичайних ситуацій

В табл. А.1 и табл. А.2 наведені фактори, які можуть бути додатково використані для класифікації з урахуванням кожної введеної надзвичайної ситуації.

Таблиця А.1 – Кількісні фактори, які можуть бути використані для класифікації надзвичайних ситуацій

№	Фактор	Пожежа	Аварія	Розлив нафти
1	Курсовий кут судна	Курсовий кут судна може бути фактором, що сприяє пожежі, якщо судно рухається у напрямку джерела вогню.	Курсовий кут судна може бути фактором, що сприяє аварії, якщо судно рухається у напрямку іншого судна або перешкоди.	Курсовий кут судна не є фактором, що сприяє розливу нафти.
2	Швидкість судна	Висока швидкість судна може бути фактором, що сприяє пожежі, якщо судно наштовхується на джерело вогню.	Висока швидкість судна може бути фактором, що сприяє аварії, якщо судно зазнає зіткнення з іншим судном або перешкодою.	Висока швидкість судна може бути фактором, що сприяє розливу нафти, якщо судно зазнає зіткнення з іншим судном або перешкодою.
3	Відстань до інших суден або причалу	Недостатня відстань між суднами може бути фактором, що сприяє пожежі, якщо одне судно наштовхується на джерело вогню.	Недостатня відстань між суднами може бути фактором, що сприяє аварії, якщо одне судно зазнає зіткнення з іншим судном або причалом.	Недостатня відстань між суднами може бути фактором, що сприяє розливу нафти, якщо одне зазнає зіткнення з іншим судном або причалом.

Таблиця А.2 – Якісні фактори, які можуть бути використані для класифікації надзвичайних ситуацій

№	Фактор	Пожежа	Аварія	Розлив нафти
1	Тип судна	Танкер більш схильний до ризику вибуху або пожежі, ніж круїзний лайнер.	Судно, що перевозить небезпечні вантажі, більш схильне до ризику вибуху або пожежі.	Судно, що перевозить нафту, більш схильне до ризику розливу нафти.
2	Географічне положення (позиція)	Судно, яке знаходиться в штормовій зоні, більш схильне до ризику затоплення або зіткнення з іншим судном, що може призвести до пожежі.	Судно, яке знаходиться в штормовій зоні, більш схильне до ризику затоплення або зіткнення з іншим судном, що може призвести до аварії.	Судно, яке знаходиться в гирлі річки, може мати більш серйозні наслідки, ніж розлив нафти у відкритому морі.
3	Погодні умови	Сильний вітер може ускладнити гасіння пожежі.	Сильний вітер може ускладнити локалізацію та очищення розливу нафти.	Морські течії можуть розносити нафту на великі відстані, що ускладнює її очищення.
4	Час доби	Судно, яке знаходиться у відкритому морі вночі, більш схильне до ризику пожежі, оскільки його складніше помітити та запобігти загорянню.	Судно, яке знаходиться у відкритому морі вночі, більш схильне до ризику зіткнення з іншим судном, що може призвести до аварії.	Розлив нафти вночі може ускладнити очищення і мати серйозніші наслідки.
5	Пора року	Судно, яке знаходиться в полярних водах, більш схильне до ризику обледеніння, що може призвести до пожежі. Судно, що знаходиться в Персидській протоці влітку, більш схильне до самовозгорання вантажу, що може привести до пожежі.	Розлив нафти в теплу пору року може мати серйозніші наслідки, ніж розлив нафти в холодну пору року.	Розлив нафти в теплу пору року може мати серйозніші наслідки, ніж розлив нафти в холодну пору року.
6	Тип вантажу	Танкер більш схильний до ризику вибуху або пожежі, ніж круїзний лайнер.	Судно, що перевозить небезпечні вантажі, більш схильне до ризику вибуху або пожежі.	Судно, що перевозить нафту, більш схильне до ризику розливу нафти.

7	Стан судна	Судно, яке має незадовільний технічний стан, більш схильне до ризику пожежі.	Судно, яке має незадовільний технічний стан, більш схильне до ризику аварії.	Судно, яке має незадовільний технічний стан, більш схильне до ризику розливу нафти.
8	Досвід екіпажу	Екіпаж, який має досвід роботи у штормових умовах, більш здатний впоратися із ситуацією, якщо судно потрапить у шторм.	Екіпаж, який має досвід роботи у штормових умовах, більш здатний впоратися із ситуацією, якщо судно потрапить у шторм.	Екіпаж, який має досвід роботи у штормових умовах, більш здатний впоратися із ситуацією, якщо судно потрапить у шторм.
9	Обладнання на борту судна	Судно, оснащене сучасними засобами пожежогасіння, більш здатне запобігти або мінімізувати наслідки пожежі.	Судно, оснащене сучасними засобами навігації та зв'язку, більш здатне уникнути зіткнення з іншим судном.	Судно, оснащене сучасними засобами збору та утилізації нафти, більш здатне запобігти або мінімізувати наслідки розливу нафти.
10	Ступінь захищеності порту	Порт, обладнаний сучасними системами пожежогасіння, більш здатний запобігти або мінімізувати наслідки пожежі.	Морський порт, оснащений сучасними системами захисту від аварій, більш здатний запобігти або мінімізувати наслідки аварії. Порт, обладнаний сучасними системами трекінгу суден, більш здатний запобігти або мінімізувати наслідки аварій.	Порт, обладнаний сучасними системами збору та утилізації нафти, більш здатний запобігти або мінімізувати наслідки розливу нафти.

Додаток Б

Вартість автоматизованого робочого місця капітана судна

Таблиця Б.1 – Конфігурація і вартість АРМ особи, яка приймає рішення

№ з/п	Комплектуючі	Кількість	Ціна, грн
1	Материнська плата ATX MSI B560 PRO-VDH	1	5,125
2	Процесор Intel Core i5-11400 (6 ядер, 12 потоків)	1	7,250
3	Пам'ять DDR4 16 GB (2x8 GB) 3200 MHz Kingston	1	4,500
4	SSD NVMe Kingston NV2 500GB	1	3,000
5	Жорсткий диск WD Blue 1 TB 7200 RPM SATA	1	2,750
6	Відеокарта GeForce GTX 1650 (4 GB GDDR5)	1	8,750
7	Мережева карта вбудована (1 Gbps Ethernet)	-	Вбудована
8	Оптичний привод DVD-RW ASUS	1	1,000
9	Корпус ATX Zalman T7 зі вбудованим БП 600W	1	3,750
10	Монітор 24" IPS Full HD Dell SE2422HX	1	6,750
11	Клавіатура Logitech K120 USB	1	0,625
12	Миша Logitech B100 USB	1	0,375

Таблиця Б.2 – Модифікація існуючої АРМ

№ з/п	Робоча конфігурація АРМ ОПР	Існуючі АРМ	Ціна, грн.	Пропоновані АРМ	Ціна, грн.
1	МП Socket 478 P4S8X-MX PCI, ATX	1 шт.	270	1 шт.	270
2	Процесор Pentium-4 2 GHz (512/533) BOX	1 шт.	630	1 шт.	630
3	Пам'ять DIMM DDR 256 Mb 184 pin PC 2700 Samsung	1 шт.	153	1 шт.	153
4	Жорсткий диск Seagate 7200 40GbST340014A	1 шт.	320	1 шт.	320
5	Вентилятор для жорсткого диска	1 шт.	55	1 шт.	55

6	Відеокарта GeForce 6600GT DVI 128 Mb PCI-E	1 шт.	936		
	Відеокарта GeForce 6600GT Dual DVI 128 Mb PCI-E			1 шт.	1188
7	Мережева карта Fast Ethernet Planet ENW9504 (chip Realtek 8139, 10/100 Mbps)	1 шт.	28	1 шт.	28
8	CD-ROM 52x ASUS	1 шт.	92	1 шт.	92
9	Дисковод 1.44 Mb 3.5 " Teac	1 шт.	36	1 шт.	36
10	Клавіатура Mitsumi Win 95 Ergo (укр) PS/2	1 шт.	51	1 шт.	51
11	Миша Genius Net Scroll + Eye Optical PS/2	1 шт.	33	1 шт.	33
12	Корпус ATX Midi-tower 1359, 300W P4	1 шт.	291	1 шт.	291
13	Монітор 19" Samsung 997 MB	1 шт.	1215	2 шт.	2430
	Цілком:		4110		5577
	Збільшення вартості:	35,69 %			

Додаток В

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

1. Хуссейн Ю.М. Метод автоматизованої класифікації надзвичайних ситуацій із судном в акваторії морського порту / Ю.М. Хуссейн // Судноводіння. – 2023. – Випуск № 35. С. 151-162. doi.org/0.31653/2306-5761.35.2023.151-162.
2. Хуссейн Ю.М. Метод та система підтримки прийняття рішень для здійснення навмисної аварійної посадки суден на мілину у районі порту/ Ю.М. Хуссейн // Водний транспорт. – 2024. – №2 (40). – С. 23-36. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.02.
3. Хуссейн Ю.М. Система підтримки прийняття рішень для реагування на надзвичайні ситуації в порту / Ю.М. Хуссейн // Вісник Одеського національного морського університету. – 2024. – №3 (74). – С. 103-120. doi.org/10.47049/2226-1893-2024-3-103-120.
4. Хуссейн Ю.М. Система підтримки прийняття рішень для управління операційними ризиками при вантажно-розвантажувальних роботах у портах/ Ю.М. Хуссейн // Водний транспорт. – 2025. – №1 (42). – С. 131-146. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.17.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

5. Хуссейн Ю. М. Метод ситуаційного аналізу для визначення небезпеки та прийняття рішення щодо оброблення вантажів у порту / Ю. М. Хуссейн // Створення та модернізація озброєння та військової техніки для потреб Збройних Сил України: науково-технічне супроводження, випробування та сертифікація: матеріали XXII наук.-техніч. конф., [Черкаси], 28 груд. 2022 р. / М-во оборони України, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, 28 грудня 2022 року. / ДНДІ ВС ОВТ. – Видавець Євенок О.О., 2022. – Черкаси, 2022. – С. 214-215.

<https://dndivsovt.com/index.php/collection/article/download/464/434/>

6. Хуссейн Ю. М. Можливі шляхи використання Big data для автоматизації процесів прийняття рішень під час розв'язання небезпечних ситуацій на судні в порту/ Ю. М. Хуссейн // Проблеми і перспективи розвитку транспорту: матеріали XI всеукраїнської наук.-практ. конференції студентів та молодих вчених [Одеса], 21 квітня. 2023 р. / М-во освіти і науки України, Одеський національний морський університет – Одеса, 2023. – С. 121-123. https://onmu.org.ua/images/university/news/XI_conf_tr_2023_at.pdf

7. Хуссейн Ю. М. Концептуальна основа системи підтримки прийняття рішень щодо ліквідації аварійних розливів нафти у порту/ Ю. М. Хуссейн // Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України: матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. конференції [Київ], 3-5 квітня 2024 р. / М-во освіти і науки України, Державний університет інфраструктури та технологій – Київ, 2024. – С. 9-10. <https://files.duit.edu.ua>

8. Хуссейн Ю. М. Актуальність автоматизації портових процесів для забезпечення взаємодії з автономними судами/ Ю. М. Хуссейн // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2024): матеріали XVI Міжнародної наук.-практ. конференції [Одеса], 29-31 травня 2024 р. / М-во освіти і науки України, Херсонська державна морська академія – Одеса, 2024. – С. 70-71. <https://ksma.ks.ua/wp-content>

9. Хуссейн Ю. М. Модель визначення районів безпечного маневрування в обмежених зонах портів і підходів до них/ Ю. М. Хуссейн // Судноводіння, морські перевезення та технології (NST-2024): матеріали наук.-техн. конференції [Одеса], 20-21 листопада 2024 р. / М-во освіти і науки України, Національний університет «Одеська морська академія»– Одеса, 2024. – С. 148-152. <https://nst-conference.com.ua/wp-content/uploads/2025/02/NST-24.pdf>

10. Хуссейн Ю. М. Використання машинного навчання (machine learning) для підвищення ефективності портових операцій / Ю. М. Хуссейн // Проблеми і перспективи розвитку транспорту: матеріали XIII всеукраїнської наук.-практ. конференції студентів та молодих вчених [Одеса], 24 квітня. 2025 р. / М-во освіти і науки України, Одеський національний морський університет— Одеса, 2025. – С. 39-41. <https://onmu.org.ua/>

Додаток Г



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
(ДУІТ)

Вул. Кирилівська, 9 м. Київ, 04071 тел./факс: (044) 463-74-70, 482-51-26
 E-mail: duit@duit.edu.ua Код ЄДРПОУ 41330257

«21» 01 2015 № 38/01-11

**АКТ**

про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи Хуссейн Юнонії Мохамедівни на тему **«Методи автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій з судном»**

Цей акт складено про те, що результати наукового дослідження за темою дисертаційної роботи Хуссейн Юнонії Мохамедівни **«Методи автоматизованого аналізу обстановки і прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій з судном»**, а саме метод автоматизованої класифікації надзвичайної ситуації із судном в акваторії морського порту в умовах невизначеності, використовуються у навчальному процесі факультету судноводіння на кафедрі навігації і управління суднами при викладанні дисциплін «Управління судном» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти та «Управління морехідними якостями судна» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт.

Декан факультету судноводіння,
кандидат юридичних наук, доцент

Олександр ЄЛІАЗАРОВ

К.т.н., доцент, доцент кафедри
суднових енергетичних установок,
допоміжних механізмів
суден та їх експлуатації

Володимир ЧЕРЕДНИК

Додаток Д



МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ
Державне підприємство
«Одеський морський торговельний порт»
 (ДП «Одеський порт»)
 пл. Митна, 1, м. Одеса, 65082, Код ЄДРПОУ 01125666 тел. (048) 729-47-00
 e-mail: odsea@omtp.com.ua, web: <https://omtp.com.ua>

Вих. 15/28 - 36
 Від 30.01.2025 р

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи
ХУССЕЙН Юноні на тему «**Методи автоматизованого аналізу обстановки і
 прийняття рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні
 небезпечних ситуацій із судном**»
 на здобуття наукового ступеня доктора філософії
 зі спеціальності 271 – Морський та внутрішній водний транспорт

Результати дослідження Хуссейн Ю.М. сприяють об'єктивному оцінюванню ситуації в порту та на підходах до нього, підвищенню рівня безпеки людей, суден, вантажів і навколишнього середовища, а також ефективному проведенню вантажно-розвантажувальних операцій. Це досягається шляхом удосконалення методів формалізації знань для аналізу обстановки та прийняття рішень у процесі врегулювання небезпечних ситуацій.

Впровадження наукових рекомендацій, запропонованих в дисертаційній роботі Хуссейн Ю.М., а саме методу автоматизованої класифікації аварійної ситуації з судном в акваторії морського порту в умовах детермінованої невизначеності стають важливим інструментом для розробки та подальшого впровадження елементів систем підтримки прийняття рішень для більш точного й оперативного визначення класу ситуацій, що є базою для розробки рішення, що найбільш повно відповідає небезпечній ситуації.

Практичне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні та виборі множини факторів, що описують обстановку і разом з виділеною сукупністю продукційних правил впливають на класифікацію аварійних ситуацій з судном в акваторії морського порту.

Запропоновані автором дослідження дають переваги в автоматизації процесу аналізу обстановки і прийняття обґрунтованих, швидких і точних рішень для оброблення вантажів у порту при розв'язанні небезпечних ситуацій, оскільки дозволяють застосовувати перевірені методи штучного інтелекту для розв'язання слабо формалізованих задач.

Апробація результатів дисертаційної роботи Хуссейн Ю.М. підтверджує їх практичну значущість та актуальність, визначає доцільність їх подальшого впровадження у діяльності ДП «Одеський порт».

Директор



Олексій МЯСКОВСЬКИЙ

« 30 » 01 2025 р.