

Міністерство освіти і науки України
Державний університет інфраструктури та технологій

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

СОКОЛ АЛЬОНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 656.61.052:629.5.072.8:001.8

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОД СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ
ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСІВ ПІДГОТОВКИ СУДНОВОДІВ
ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ПОМИЛОК ПРИ УПРАВЛІННІ 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

_____ А.О. Сокол

Науковий керівник:

Дубинець Олександр Іванович
доктор технічних наук, професор

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Сокол А.О. Метод синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок при управлінні судном. – *Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.*

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

У дисертаційній роботі виконано *актуальне наукове завдання* розроблення методу синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок управління судном.

Забезпечення безпеки судноплавства як однієї з найактуальніших і багатогранних проблем, потребують глибокого аналізу і системного підходу, у тому числі постійного підвищення кваліфікації судового екіпажу. Тобто перед судноводіями та членами екіпажу повстають нові виклики, які вимагають не тільки високої кваліфікації, а й здатності до швидкої адаптації в умовах невизначеності та мінливості навколишнього оточення.

Складні та різноманітні умови плавання вимагають від екіпажів застосування специфічних компетенцій для зменшення можливих помилок і прийняття адекватних рішень щодо забезпечення безпеки судноплавства. Це вимагає від судноводіїв не тільки технічних знань про судно та його обладнання, а й уміння ефективно взаємодіяти з перешкодами й іншими учасниками морського руху.

Одним із ключових напрямів підвищення безпеки судноводіння є вдосконалення процесів тренажерної підготовки майбутніх судноводіїв і членів команди суден. В умовах, коли традиційні методи навчання вже не можуть повністю задовольнити сучасні вимоги до підготовки фахівців,

необхідність впровадження нових технологій в освітній процес стає очевидною. Так, удосконалення тренажерних пристроїв передбачає створення більш реалістичних симуляторів, здатних відтворювати складні сценарії навігації та взаємодії з іншими суднами. До того ж необхідно вдосконалювати існуючу систему оцінки результатів тренажерної підготовки для більш точного визначення рівня готовності здобувачів освіти до реальних умов роботи на морі.

Перспективним напрямком у галузі підготовки судноводіїв є впровадження систем штучного інтелекту для генерації можливих сценаріїв роботи тренажерів. Такі сценарії також містять екстрені випадки і непередбачувані обставини, що дає змогу підготувати екіпажі до дії в умовах стресу і невизначеності. Крім того, системи штучного інтелекту також знаходять застосування під час адаптивного оцінювання дії здобувачів освіти залежно від їхнього рівня підготовки та специфіки виконуваних завдань.

Таким чином, комплексний підхід до підвищення безпеки судноводіння містить інтеграцію нових технологій і методів навчання. Отриманий за їх допомогою вищий рівень підготовки судноводіїв до викликів сучасного морського транспорту дасть змогу мінімізувати ризики аварійних ситуацій на морі. Тому наукове завдання, спрямоване на розроблення методу синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок управління судном, є *актуальним*.

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

Робота виконувалася відповідно до положень Морської доктрини України на період до 2035 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 1307, та змінами, що внесені згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 1108 від 18 грудня 2018 р. та № 1023 від 03 листопада 2020 р.

Дослідження, проведені в дисертації, виконані здобувачем у рамках науково-дослідної роботи «Кваліметрія та діагностика негативного прояву людського чинника в процесі підготовки та професійної діяльності

судноводіїв» ДР № 0123U104977 та науково-дослідної роботи «Ідентифікація людської помилки судноводія під час прийняття рішень в процесі боротьби за живучість судна» ДР № 0124U004508 відповідно до планів наукової та науково-технічної діяльності Херсонської державної морської академії на 2020-2025 рр.

Метою роботи є зменшенні помилок при управлінні судном під час вирішення завдань підготовки судноводіїв на тренажерних комплексах.

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі часткові завдання дослідження:

1) розроблено та проаналізовано модель діяльності судноводія під час управління судном у різних умовах для оцінювання часу виконання окремих операцій і виниклих помилок у його роботі, а також обґрунтування необхідності вдосконалення тренажерних комплексів;

2) розроблено метод вибору тестових методик з перевірки ступеня вираженості професійних компетенцій діяльності оператора;

3) розроблено метод відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу;

4) розроблено модель формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі;

5) проведено оцінку ефективності розроблених методів під час їх реалізації в тренажері та результатів підготовки на ньому судноводіїв.

Об'єкт дослідження: процес синтезу інформаційно-технічної системи підготовки судноводіїв у тренажерних комплексах управління судном.

Предметом дослідження є метод синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Одержав подальшого розвитку метод формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки, який, на відміну від відомих, відрізняється

адаптивною процедурою вибору заданої кількості тестів із множини тестових методик з визначення рівня професійної підготовки здобувача освіти, що дозволяє мінімізувати час вибору.

2. *Удосконалено метод* відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу, який, на відміну від відомих, відрізняється застосуванням процедури нечіткого логічного виведення Ларсена у процесі ситуаційного формування інформаційної моделі під час підготовки судноводіїв, що дозволяє індивідуалізувати відображення елементів надводної обстановки відповідно до вирішуваних завдань і формувати вправи дозовано прогресуючої складності.

3. *Вперше розроблено модель* формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі, яка базується на використанні інтелектуальних методів управління інформаційним забезпеченням тренажерів і проведенням вхідного, проміжного й підсумкового контролю сформованості навичок судноводіїв з фіксацією логічних, операційних і часових помилок для внесення необхідних змін до програми підготовки.

Методи дослідження. У ході виконання роботи використані методи:

- системного аналізу – під час аналізу діяльності судноводія в процесі вирішення завдань управління судном у різних умовах;
- теорії графів – під час формування моделі діяльності судноводія в процесі вирішення завдань управління судном у різних умовах;
- теорії множин – для розроблення алгоритмів вибору тестових методик з перевірки ступеня вираженості професійних компетенцій діяльності судноводія;
- теорії нечітких множин – під час розроблення методу нечіткого логічного виведення для формування початкових умов відображення елементів навколишнього оточення для подальшого його імітаційного моделювання в тренажері;
- теорії ергономічного проектування – під час аналізу діяльності судноводіїв, розроблення та кодування інформаційних ознак для формування

інформаційного середовища навчання;

– математичного моделювання – під час побудови імітаційної моделі діяльності судноводія, використовуваної для оцінки ефективності реалізованих у тренажері методів та результатів підготовки на ньому судноводіїв.

Обґрунтованість і достовірність одержаних у дисертації наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується результатами експериментів для оцінювання впливу розроблених методів на оперативність і безпомилковість вирішення завдання управління судном у різних умовах; коректним використанням методів системного аналізу, теорії множин, графів, нечітких множин, ергономічного проектування на етапах теоретичних досліджень, моделювання й аналізу одержаних результатів, а також залученням широкого наукового загалу до апробації результатів роботи на наукових конференціях.

Наукове значення роботи полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ побудови та застосування тренажерних комплексів для підготовки судноводіїв.

Практичне значення отриманих результатів полягає у подальшому вдосконаленні елементів спеціального математичного та програмного забезпечення судових тренажерних комплексів на базі розроблених моделей і методів, що дозволяють зменшити помилки при управлінні судном під час вирішення завдань підготовки судноводіїв.

Реалізація запропонованого в дисертаційній роботі підходу щодо синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв дає змогу формувати набір індивідуальних тестових завдань, інформаційне середовище тренажерного комплексу та оцінити діяльність судноводіїв.

За допомогою методу формування набору індивідуальних тестових завдань здійснюється оцінювання рівня підготовки судноводія.

Метод формування інформаційного середовища навчання в тренажерному комплексі для підготовки судноводіїв дає змогу формувати

індивідуальні вправи дозовано прогресуючої складності з відображенням елементів навколишнього середовища відповідно до вирішуваних завдань.

Для отримання інтегральної оцінки діяльності здобувачів освіти та рекомендації щодо їх подальшого навчання розроблено апарат формалізації правил отримання оцінок індивідуальної та групової діяльності.

Отримані результати дають змогу скоротити час вирішення завдання управління судном на 9-32%, а кількість помилок у його роботі – на 8-40%.

Коректний опис предметної області великою кількістю значущих чинників водночас дозволив підвищити обґрунтованість отриманих рішень.

Основні результати досліджень рекомендується використовувати при розробці судових тренажерних комплексів й елементів їхнього спеціального математичного та програмного забезпечення у процесі підготовки здобувачів освіти для зменшення помилок при управлінні судном; у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків удосконалення судових тренажерних комплексів; у вищих навчальних закладах – для вдосконалення системи підготовки фахівців зі спеціальності морський та внутрішній водний транспорт.

Основні положення дисертаційної роботи *реалізовані* у навчальному процесі під час підготовки здобувачів освіти з дисциплін «Забезпечення навігаційної безпеки плавання» та «Управління морехідними якостями судна» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт Державного університету інфраструктури та технологій, що підтверджується актом про впровадження №05/01-11 від 07.01.2025 р.; з дисциплін «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» та «Навігаційні інформаційні системи» для здобувачів освітнього рівня бакалавр освітньо-професійної програми «Навігація і управління морськими суднами» Херсонської державної морської академії, що підтверджується актом про впровадження №01-34/1930 від 31.12.2024 р.; з дисциплін «Управління безпекою судна», «Управління безпекою навігаційного містка», «Управління судном та маневрування у складних умовах» для здобувачів освітньої програми «Морське судноплавство»

Вільнюського технічного університету Литовської морської академії, що підтверджується актом про впровадження №10.6-85-10.21-2. від 07.01.2025 р.

Також результати дисертаційної роботи впроваджено у ТОВ НТЦ "ФЛАГМАН" під час виконання етапів науково-методичних досліджень з питань удосконалення форм і методів підготовки судноводіїв у тренажерному комплексі, акт від 10.12.2024 р.

Ключові слова: судноводіння, судноводій, судно, безпека на морі, безпека судноводіння, управління судном, здобувачі освіти, безпека маневрування, навігація, тренажерна підготовка, підготовка судноводіїв, людський фактор, прийняття рішень, управління безпекою, нейронні мережі, морський транспорт, небезпека, безпека на водному транспорті, навчання.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові результати

1. Сокол А.О. Метод формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінювання рівня підготовки судноводія у процесі тренажерної підготовки / А.О. Сокол // Судноводіння, - 2024. - Випуск № 36. С. 171-180. URL: <https://navjournal-nuoma.learnmarine.com/project/vipusk-v36/> (<https://doi.org/10.31653/2306-5761.36.2024.171-180>)
2. Сокол А.О. Метод оцінювання результатів діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2024. – №3(41). – С. 23-32. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/364> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41>)
3. Сокол А.О. Метод автоматизації процесу синтезу інформаційного середовища навчання в тренажерному комплексі підготовки судноводіїв / А.О. Сокол // Розвиток транспорту. – 2024. – Випуск №4(23). – С. 42-54. URL: <https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/387> (<https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.04>)
4. Сокол А.О. Людський елемент, як складова ризику виникнення небажаної події на морському судні / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2023. – №2(38). – С. 49-54. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/281> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.3>)
5. Сокол А.О. Вплив тривалості рейсу на психоемоційний стан членів екіпажу судна / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2021. – №3(34). – С. 117-122. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/195> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34>)

Апробація наукових результатів

1. Сокол А.О., Пролазов О. С. Контроль, оцінка та запобігання ризикам при роботі у замкненому просторі : XI Всеукраїнська студентська наукова конференція – Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства: тези доп., 18 листопада 2021 р., м. Херсон, 2021. С. 125-126.
2. Бойко С.О., Сокол А.О. Дослідження методів оцінювання результатів діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки:

Дніпровські читання – 2024. V міжнародна науково-практична конференція: тези доп., 5 грудня 2024 р., м. Київ, 2024. С. 179-183.

3. Сокол А.О., Воробйов Я.О. Використання інформаційного середовища задля безпеки і менеджменту судноплавства : XIV Всеукраїнська студентська наукова конференція – Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства: тези доп., 21 листопада 2024 р., м. Херсон, 2024. С. 34-41.

4. Рева О. М., Кириченко К. В., Маменко П. П., Сокол А. О., Савьолов Д. І. Пілотна оцінка ставлення курсантів-судноводіїв до недисциплінованості : III Міжнародна науково-практична конференція – Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2023): тези доп., 22 листопада 2023 р., м. Херсон, 2023. С. 71-75.

ABSTRACT

Sokol A.O. The training complexes information and technical system synthesis method for ship's navigators to reduce errors of ship's control.

- Qualification scientific work as a manuscript.

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

The thesis solves the urgent scientific task of developing a method for synthesising the information and technical system of training complexes for ship's officers to reduce ship control errors.

Ensuring the safety of navigation as one of the most urgent and multifaceted problems requires in-depth analysis and a systematic approach, including continuous training of the ship's crew. In other words, navigators and crew members are facing new challenges that require not only high qualifications but also the ability to quickly adapt to uncertainty and environmental variability.

Complex and varied navigation conditions require crews to apply specific competencies to reduce potential errors and make adequate decisions to ensure the safety of navigation. This requires not only technical knowledge of the vessel and its equipment, but also the ability to effectively interact with obstacles and other maritime traffic participants.

One of the key areas for improving safety is to improve the simulator training of future seafarers and crew members. In an environment where traditional teaching methods can no longer fully meet modern requirements for training specialists, the need to introduce new technologies into the educational process becomes obvious. For example, the improvement of training devices involves the creation of more realistic simulators capable of reproducing complex scenarios of navigation and interaction with other vessels. In addition, it is necessary to improve the existing system for assessing the results of simulator training to more accurately determine

the level of readiness of students for real-life conditions at sea.

A promising area in the field of seafarers' training is the introduction of artificial intelligence systems to generate possible scenarios for simulators. Such scenarios also include emergencies and unforeseen circumstances, which helps prepare crews to act under stress and uncertainty. In addition, artificial intelligence systems are also used to adaptively assess the actions of students depending on their level of training and the specifics of the tasks they perform.

Thus, a comprehensive approach to improving shipping safety involves the integration of new technologies and teaching methods. A higher level of training of seafarers to meet the challenges of modern maritime transport obtained with their help will minimise the risks of maritime emergencies. Therefore, the scientific task aimed at developing a method for synthesising the information and technical system of training complexes for shipmasters to reduce ship control errors is *relevant*.

Relationship of the work with scientific programmes, plans, topics, grants.

The work was performed in accordance with the provisions of the Maritime Doctrine of Ukraine for the period until 2035, approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1307 dated October 7, 2009, and amendments made in accordance with Resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1108 dated December 18, 2018 and No. 1023 dated November 3, 2020.

The research conducted in the dissertation was performed by the applicant within the framework of the research work “Qualimetry and diagnostics of the negative manifestation of the human factor in the process of training and professional activity of shipmasters”, State Research Project No. 0123U104977 and the research work “Identification of human error of a shipmaster during decision-making in the process of struggle for ship's survivability”, State Research Project No. 0124U004508 in accordance with the plans of scientific and scientific and technical activities of Kherson State Maritime Academy for 2020-2025.

The aim of the work is to reduce errors in ship control when solving the tasks of training navigators on simulator complexes.

To achieve this goal, the following *partial research objectives* were solved:

1) to develop and analyse a model of a navigator's activity during ship control in different conditions to assess the time of certain operations and errors in his work, as well as to justify the need to improve training complexes;

2) a method for selecting test methods for checking the degree of expression of professional competences of the operator's activity was developed;

3) a method for selecting information elements for the synthesis of the information environment of the simulator complex has been developed;

4) a model for the formation of an information learning environment for a simulator complex for training navigators in a simulation complex was developed;

5) to evaluate the effectiveness of the developed methods during their implementation in the simulator and the results of training of navigators on it.

Object of research: the process of synthesis of the information and technical system for training of navigators in ship control simulator complexes.

The subject of the study is the method of synthesis of the information and technical system of training complexes for ship's navigators.

The scientific novelty of the results obtained is that:

1. *The method* of forming a set of individual test tasks for assessing the level of training of a navigator during simulator training *has been further developed*, which, unlike the known ones, is distinguished by an adaptive procedure for selecting a given number of tests from a set of test methods for determining the level of professional training of an applicant for education, which minimises the selection time.

2. *An improved method* of selecting information elements for the synthesis of the information environment of the simulator complex, which, unlike the known ones, is distinguished by the use of Larsen's fuzzy inference procedure in the process of situational formation of the information model during the training of navigators, which allows individualising the display of elements of the surface situation in accordance with the tasks to be solved and forming exercises of dosed progressive complexity.

3. *For the first time, a model* of formation of the information learning

environment for the simulator complex for training of navigators in the simulation complex has been developed, based on the use of intelligent methods of managing the information support of simulators and conducting input, intermediate and final control of the formation of navigators' skills with fixing logical, operational and time errors to make the necessary changes to the training programme.

Research methods. The following methods were used during the study:

- system analysis - for analysing the activities of a navigator in the process of solving ship management tasks in different conditions;
- graph theory - for the formation of a model of the navigator's activity in the process of solving the tasks of ship management in different conditions;
- set theory - to develop algorithms for selecting test methods for checking the degree of expression of professional competences of a ship's officer;
- theory of fuzzy sets - when developing a method of fuzzy logical inference to form the initial conditions for displaying environmental elements for its further simulation modelling in the simulator;
- theory of ergonomic design - in the analysis of the activity of navigators, development and coding of information features for the formation of an information learning environment;
- mathematical modelling - in building a simulation model of a seafarer's activity used to assess the effectiveness of the methods implemented in the simulator and the results of seafarer training.

The validity and reliability of the scientific results, conclusions and recommendations obtained in the thesis are confirmed by the results of experiments to assess the impact of the developed methods on the efficiency and accuracy of solving the problem of ship control in different conditions; correct use of methods of system analysis, set theory, graphs, fuzzy sets, ergonomic design at the stages of theoretical research, modelling and analysis of the results obtained, as well as the involvement of the general scientific community in the testing of the results of the research.

The scientific significance of the work lies in the further development of the

theoretical and applied bases of construction and application of simulator complexes for training of seafarers.

The practical significance of the obtained results is to further improve the elements of special mathematical and software of ship training complexes based on the developed models and methods that allow to reduce errors in ship control while solving the tasks of training of seafarers.

Implementation of the approach proposed in the thesis to synthesise the information and technical system of training complexes for ship's navigators makes it possible to form a set of individual test tasks, the information environment of the training complex and evaluate the performance of navigators.

The method of forming a set of individual test tasks is used to assess the level of training of a seafarer.

The method of forming the information learning environment in the training complex for the training of navigators makes it possible to form individual exercises of dosed progressive complexity with the display of environmental elements in accordance with the tasks to be solved.

To obtain an integral assessment of students' performance and recommendations for their further training, an apparatus for formalising the rules for obtaining assessments of individual and group activities has been developed.

The obtained results make it possible to reduce the time for solving the task of ship control by 9-32%, and the number of errors in its operation by 8-40%.

The correct description of the subject area by many significant factors at the same time made it possible to *increase the validity of the decisions obtained*.

The main research results are recommended to be used in the development of ship simulator complexes and elements of their special mathematical and software in the process of training students to reduce errors in ship management; in research organisations - to substantiate the directions of improvement of ship simulator complexes; in higher education institutions - to improve the system of training specialists in the speciality of maritime and inland waterway transport.

The main provisions of the dissertation *are implemented* in the educational

process during the training of students in the disciplines “Ensuring navigational safety of navigation” and “Management of seaworthiness of the vessel” for applicants for the second (master's) level of higher education in the specialty 271 Maritime and inland water transport of the State University of Infrastructure and Technology, which is confirmed by the act of implementation №05/01-11 of 07.01.2025; in the disciplines “Global maritime communication for search and rescue” and “Navigation information systems” for Bachelor's degree students of the educational and professional programme “Navigation and Management of Seagoing Ships” of Kherson State Maritime Academy, as evidenced by the implementation act No. 01-34/1930 dated 31.12.2024. in the disciplines “Ship Safety Management”, “Navigation Bridge Safety Management”, “Ship Management and Manoeuvring in Difficult Conditions” for applicants of the educational programme “Maritime Shipping” of Vilnius Technical University of the Lithuanian Maritime Academy, as evidenced by the implementation act No. 10.6-85-10.21-2 dated 07.01.2025.

Also, the results of the dissertation were implemented at the LLC STC “FLAGMAN” during the implementation of the stages of scientific and methodological research on improving the forms and methods of training of navigators in the training complex, act of 10.12.2024.

Keywords: navigation, navigator, vessel, safety at sea, navigation safety, ship management, students, maneuvering safety, simulator training, navigator training, human factor, decision-making, safety management, neural networks, sea transport, water transport safety, training.

LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

The main scientific results

1. A. Sokol A method of forming a set of individual test tasks for assessing the level of seafarer training in the process of simulator training / A. Sokol // Shipping & Navigation, - 2024. - № 36. – C. 171-180. URL: <https://navjournal-nuoma.learnmarine.com/project/vipusk-v36/> (<https://doi.org/10.31653/2306-5761.36.2024.171-180>)
2. A. Sokol Method for evaluating the performance of navigators' activity during simulator training / A. Sokol // Water transport. – 2024. – №3(41). – C. 23-32. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/364> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41>)
3. A. Sokol Automating the process of synthesis of the information learning environment method in the simulator Centre for navigators' training / A. Sokol // Transport development. – 2024. – №4(23). – C. 42-54. URL: <https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/387> (<https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.04>)
4. A. Sokol The human element as a component of risk occurrence of an undesirable event on board a ship / A. Sokol // Water transport. – 2023. – №2(38). – C. 49-54. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/281> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.3>)
5. A. Sokol The influence of the duration of the flight on the psycho-emotional state of members of the ship's crew / A. Sokol // Water transport. – 2021. – №3(34). – C. 117-122. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/195> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34>)

Approbation of scientific results

1. A. Sokol, O. Prolazov Control, assessment and prevention of risks when working in a confined space: XI All-Ukrainian student scientific conference – Modern problems of maritime transport and maritime safety: theses, 18 November

2021 p., Kherson, 2021. C. 125-126.

2. S. Boiko, A. Sokol Research on methods of evaluating the results of the activities of shipmasters during simulator training: Dnipro readings - 2024. 5th international scientific and practical conference: supplementary theses, December 5, 2024, Kyiv, 2024. C. 179-183.

3. A. Sokol, Ya. Vorobiov Use of the information environment for the safety and management of shipping : XIV All-Ukrainian student scientific conference – Modern problems of maritime transport and maritime safety: theses, 21 November 2024 p., Kherson, 2024. C. 34-41.

4. O. Reva, K. Kyrychenko, P. Mamenko, A. Sokol, D. Savolov Pilot assessment of the attitude of cadets-shipmen to indiscipline: III International scientific and practical conference - Problems of sustainable development of the maritime industry (PSDMI-2023): theses, 22 November 2023 p., Kherson, 2023. C. 71-75.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	21
ВСТУП	23
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПІДГОТОВКИ СУДНОВОДІЇВ. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
1.1 Аналіз діяльності судноводіїв під час керування судном у різних умовах.....	32
1.2 Роль і місце тренажерів у системі професійної підготовки судноводіїв	48
1.3 Розроблення моделі діяльності судноводія під час вирішення завдань керування судном у різних умовах	62
1.4 Постановка завдання дослідження.....	71
Висновки за першим розділом.....	74
РОЗДІЛ 2 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ СУДНОВОДІЇВ	76
2.1 Розробка методу формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки	77
2.2 Розробка методу відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу	88
Висновки за другим розділом.....	109
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІЯЛЬНОСТІ СУДНОВОДІЇВ У ХОДІ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ..	111
3.1 Контроль рівня підготовки судноводіїв (групи здобувачів освіти)..	112
3.2 Процедура отримання індивідуальних оцінок діяльності	118
3.3 Формування інтегральної оцінки операторської діяльності	136
Висновки за третім розділом.....	138

РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОВОДІЇВ	140
4.1 Розробка рекомендацій щодо вдосконалення інформаційного середовища тренажерного комплексу для підготовки судноводіїв	141
4.2 Оцінка ефективності вирішення завдань управління суднами й екіпажами у процесі тренажерної підготовки	145
4.3 Оцінка ефективності розробки тренажера для підготовки судноводіїв	151
Висновок за четвертим розділом.....	164
ВИСНОВКИ	166
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	170
ДОДАТОК А Список опублікованих праць.....	184
ДОДАТОК Б Акти впровадження результатів дисертації	186
ДОДАТОК В Основні категорії помилок (за документами ІМО).....	190

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

COA	– метод центру ваги
ІМО	– міжнародна морська організація
МОМ	– метод усередненого максимуму
AIC	– автоматична ідентифікаційна система
АКОД	– апаратура контролю й оцінювання дій здобувача освіти
АКСД	– автоматизована підсистема контролю судноводійської діяльності
АРМ	– автоматизоване робоче місце
АРМО	– автоматизоване робоче місце здобувача освіти
АСУ	– автоматизована система управління
БД	– база даних
БЗ	– база знань
ЗМЗ	– загальне математичне забезпечення
ІДС	– інформаційно-довідкова система
ІЕ	– інформаційний елемент
ІС	– інтелектуальна система
ІТ	– інтелектуальна технологія
ЛСЗ	– логічна схема завдань
НВ	– нечітке виведення
ОчС	– обчислювальна система
ПЗ	– програмне забезпечення
ПКД	– підсистема автоматичного контролю діяльності здобувача освіти
ПКУ	– пульт контролю та управління
ППЗС	– правил попередження зіткнень суден
РЛІ	– радіолокаційна інформація

РЛС	– радіолокаційна станція
РТЗ	– радіотехнічне забезпечення
СЗ	– система зв'язку
СМ	– система моделювання
СМЗ	– спеціальне математичне забезпечення
СУРС	– система управління рухом судна
СУТ	– система управління тренуваннями
ТПЗ	– тестове програмне забезпечення
ФП	– функція приналежності
ЦУРС	– Центр управління рухом суден
ШІ	– штучний інтелект

ВСТУП

Безпека судноплавства в сучасних умовах являє собою одну з найактуальніших і багатогранних проблем, які потребують глибокого аналізу і системного підходу. В останні десятиліття спостерігається значне збільшення інтенсивності руху морського транспорту. Причиною цього феномену є глобалізація економіки, зростання обсягів міжнародної торгівлі та розвиток нових логістичних маршрутів [1–3]. Ці зміни ставлять перед судноводіями та членами екіпажу нові виклики, які вимагають не тільки високої кваліфікації, а й здатності до швидкої адаптації в умовах невизначеності та мінливості навколишнього оточення [4–7].

Актуальність теми. Судноводіння в різних умовах вимагає від екіпажів застосування специфічних навичок і знань. Так, навігація в арктичних водах, де переважають складні льодові умови, вимагає від судноводіїв глибокого розуміння фізики льоду, а також здатності приймати адекватні рішення в умовах обмеженої видимості та високої ймовірності виникнення аварійних ситуацій [8, 9]. Аналогічно, судноводіння в обмежених водах, таких як вузькі канали або порти з високою щільністю руху суден, пред'являє особливі вимоги до маневреності та точності управління. У цих умовах навіть невеликі помилки можуть призвести до серйозних наслідків, включно із зіткненнями або аваріями [10, 11].

Збільшення інтенсивності руху морського транспорту також пов'язане зі скороченням можливих транспортних артерій [12, 13]. В умовах зростаючої конкуренції за простір на морі та в портах, а також зміни клімату, що впливає на навігаційні умови, стає особливо важливим оптимальне використання наявних ресурсів. Це вимагає від судноводіїв не тільки технічних знань про судно та його обладнання, а й уміння ефективно взаємодіяти з іншими учасниками морського руху [14].

Одним із ключових напрямів підвищення безпеки судноводіння є вдосконалення процесів тренажерної підготовки майбутніх судноводіїв і

членів команди суден. Традиційні методи навчання вже не можуть повністю задовольнити сучасні вимоги до підготовки фахівців. Необхідність впровадження нових технологій в освітній процес стає очевидною [15].

Удосконалення тренажерних пристроїв міститиме створення більш реалістичних симуляторів, здатних відтворювати складні сценарії навігації та взаємодії з іншими суднами [16]. Крім того, важливо розвивати системи оцінки результатів тренажерної підготовки, які дозволять точніше визначати рівень готовності здобувачів освіти до реальних умов роботи на морі [17–19].

Впровадження систем штучного інтелекту (ШІ) для генерації можливих сценаріїв роботи тренажерів являє собою перспективний напрямок у галузі підготовки судноводіїв. Такі системи можуть адаптивно оцінювати дії здобувачів освіти залежно від їхнього рівня підготовки та специфіки виконуваних завдань. Штучний інтелект здатний моделювати різні ситуації, включно з екстремими випадками і непередбачуваними обставинами, що дає змогу підготувати екіпажі до дії в умовах стресу і невизначеності [20, 21].

Таким чином, комплексний підхід до підвищення безпеки судноводіння містить інтеграцію нових технологій і методів навчання. Це забезпечить вищий рівень підготовки судноводіїв до викликів сучасного морського транспорту і дасть змогу мінімізувати ризики аварійних ситуацій на морі. Наукове осмислення цих процесів стане основою для розроблення ефективних стратегій підвищення безпеки морських перевезень в умовах глобальних змін.

У зв'язку з цим наукове завдання, спрямоване на розроблення методу синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок управління судном, є *актуальним*.

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

Робота виконувалася відповідно до положень Морської доктрини України на період до 2035 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 1307, та змінами, що внесені згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 1108 від 18 грудня 2018 р. та № 1023 від 03 листопада 2020 р.

Дослідження, проведені в дисертації, виконані здобувачем у рамках науково-дослідної роботи «Кваліметрія та діагностика негативного прояву людського чинника в процесі підготовки та професійної діяльності судноводіїв» ДР № 0123U104977 та науково-дослідної роботи «Ідентифікація людської помилки судноводія під час прийняття рішень в процесі боротьби за живучість судна» ДР № 0124U004508 відповідно до планів наукової та науково-технічної діяльності Херсонської державної морської академії на 2020-2025 рр.

Мета та завдання досліджень. *Метою досліджень є зменшення помилок при управлінні судном під час вирішення завдань підготовки судноводіїв на тренажерних комплексах.*

Для досягнення мети дослідження сформульовано та розв'язано такі взаємопов'язані часткові завдання:

1) розроблено та проаналізовано модель діяльності судноводія під час управління судном у різних умовах для оцінювання часу виконання окремих операцій і виниклих помилок у його роботі, а також обґрунтування необхідності вдосконалення тренажерних комплексів;

2) розроблено метод вибору тестових методик з перевірки ступеня вираженості професійних компетенцій діяльності оператора;

3) розроблено метод відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу;

4) розроблено модель формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі;

5) проведено оцінку ефективності розроблених методів під час їх реалізації в тренажері та результатів підготовки на ньому судноводіїв.

Об'єкт дослідження – процес синтезу інформаційно-технічної системи підготовки судноводіїв у тренажерних комплексах управління судном.

Предмет дослідження – метод синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв.

Методи дослідження. Теоретичні і практичні дослідження, проведені в дисертаційній роботі, засновані на використанні методів:

- системного аналізу – під час аналізу діяльності судноводія в процесі вирішення завдань управління судном у різних умовах;
- теорії графів – під час формування моделі діяльності судноводія в процесі вирішення завдань управління судном у різних умовах;
- теорії множин – для розроблення алгоритмів вибору тестових методик з перевірки ступеня вираженості професійних компетенцій діяльності судноводія;
- теорії нечітких множин – під час розроблення методу нечіткого логічного виведення для формування початкових умов відображення елементів навколишнього оточення для подальшого його імітаційного моделювання в тренажері;
- теорії ергономічного проектування – під час аналізу діяльності судноводіїв, розроблення та кодування інформаційних ознак для формування інформаційного середовища навчання;
- математичного моделювання – під час побудови імітаційної моделі діяльності судноводія, використовуваної для оцінки ефективності реалізованих у тренажері методів та результатів підготовки на ньому судноводіїв.

Наукова новизна отриманих результатів дисертації полягає в такому:

1. *Одержав подальшого розвитку метод* формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки, який, на відміну від відомих, відрізняється адаптивною процедурою вибору заданої кількості тестів із множини тестових методик з визначення рівня професійної підготовки здобувача освіти, що дозволяє мінімізувати час вибору.

2. *Удосконалено метод* відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу, який, на відміну від відомих, відрізняється застосуванням процедури нечіткого логічного виведення Ларсена у процесі ситуаційного формування інформаційної моделі під час підготовки судноводіїв, що дозволяє індивідуалізувати відображення

елементів надводної обстановки відповідно до вирішуваних завдань і формувати вправи дозовано прогресуючої складності.

3. Вперше розроблено модель формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі, яка базується на використанні інтелектуальних методів управління інформаційним забезпеченням тренажерів і проведенням вхідного, проміжного й підсумкового контролю сформованості навичок судноводіїв з фіксацією логічних, операційних і часових помилок для внесення необхідних змін до програми підготовки.

Обґрунтованість і достовірність отриманих у роботі наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується результатами експериментів для оцінювання впливу розроблених методів на оперативність і безпомилковість вирішення завдання управління судном у різних умовах; коректним використанням методів системного аналізу, теорії множин, графів, нечітких множин, ергономічного проектування на етапах теоретичних досліджень, моделювання й аналізу одержаних результатів, а також залученням широкого наукового загалу до апробації результатів роботи на наукових конференціях.

Значення вирішеного у дисертації завдання для науки полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ побудови та застосування інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок управління судном.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в роботі результати дають змогу формувати набір індивідуальних тестових завдань, інформаційне середовище тренажерного комплексу та оцінити діяльність судноводіїв.

Метод формування набору індивідуальних тестових завдань дає змогу оцінювати рівень підготовки судноводія. Індивідуалізація відображення елементів надводної навколишньої обстановки відповідно до вирішуваних завдань завдяки методу формування інформаційного середовища навчання в

тренажерному комплексі для підготовки судноводіїв дає змогу формувати вправи дозовано прогресуючої складності. Апарат формалізації правил отримання оцінок індивідуальної та групової діяльності дозволить привести оцінки різної природи до єдиної системи. Отримані інтегральні оцінки забезпечують об'єктивність контролю діяльності здобувача освіти та рекомендації щодо їх подальшого навчання.

Загалом, отримані результати дають змогу скоротити час виконання всіх типів операцій судноводія, тобто час вирішення завдання управління судном на 9-32%, а кількість помилок у його роботі – на 8-40%.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи використані в навчальному процесі під час підготовки здобувачів освіти з дисциплін «Забезпечення навігаційної безпеки плавання» та «Управління морехідними якостями судна» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт Державного університету інфраструктури та технологій, що підтверджується актом про впровадження №05/01-11 від 07.01.2025 р.; з дисциплін «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» та «Навігаційні інформаційні системи» для здобувачів освітнього рівня бакалавр освітньо-професійної програми «Навігація і управління морськими суднами» Херсонської державної морської академії, що підтверджується актом про впровадження №01-34/1930 від 31.12.2024 р.; з дисциплін «Управління безпекою судна», «Управління безпекою навігаційного містка», «Управління судном та маневрування у складних умовах» для здобувачів освітньої програми «Морське судноплавство» Вільнюського технічного університету Литовської морської академії, що підтверджується актом про впровадження №10.6-85-10.21-2. від 07.01.2025 р.

Також результати дисертаційної роботи впроваджено у ТОВ НТЦ "ФЛАГМАН" під час виконання етапів науково-методичних досліджень з питань удосконалення форм і методів підготовки судноводіїв у тренажерному комплексі, акт від 10.12.2024 р.

Особистий внесок здобувача. У роботі здобувачем особисто розроблено метод синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок при управлінні судном.

Усі статті [22-26] авторкою виконано особисто.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи було апробовано на XI Всеукраїнської студентської наукової конференції «Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства», (Херсонська державна морська академія, м. Херсон, 2021 р.) [27]; на V міжнародній науково-практичній конференції «Дніпровські читання» (Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ, 2024 р.) [28]; на XIV Всеукраїнській студентській науковій конференції «Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства» (Херсонська державна морська академія, м. Херсон, 2024 р.) [29]; на III Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2023)» (Херсонська державна морська академія, м. Херсон, 2023 р.) [30].

Публікації результатів дисертації. Публікації за темою дисертації складаються з 5 наукових статей (5 у переліку видань, що включені до переліку фахових видань України (категорія Б)), 4 тези доповідей на наукових, науково-практичних конференціях і 2 звіти про науково-дослідну роботу.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 192 сторінки друкованого тексту, що містить 14 таблиць, 42 рисунки (з них 4 таблиці і 7 рисунків на 9 окремих сторінках), 132 найменування використаних джерел на 14 сторінках і трьох додатків на 9 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПІДГОТОВКИ СУДНОВОДІЇВ.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Надійність і своєчасність вирішення завдань керування рухом судна в різних умовах плавання багато в чому визначається впливом людського фактору. Професійна діяльність судноводіїв у процесі судноводіння може супроводжуватися помилками різної природи і характеру. Вони можуть призвести до скоєння аварій, пошкодження елементів портової та транспортної інфраструктури і навіть до катастрофи [31–35].

Отже, питання аналізу помилкових дій судноводіїв і психофізіологічних причин, що їх спричинили, методів і напрямів їх мінімізації або усунення є актуальним. Тому підрозділ 1.1 присвячено розгляду цього питання. З позиції системного аналізу розглядаються особливості роботи судноводіїв і чинники, що ускладнюють процес керування судном у різних умовах. Для аналізу і класифікації помилок оператора введено такі критерії: місце помилки в структурі ергатичної системи; зовнішній прояв помилки; наслідки помилки; характер відображення помилки у свідомості оператора; причини помилки.

Розглянуті помилкові дії судноводіїв класифіковані та зведені в три основні категорії помилок: управління обладнанням; процедурні та зв'язку. Також до суб'єктивних причин, що призвели до різних наслідків, відносять: незадовільну організацію спостереження, слабку підготовку, відсутність або недостатні практичні навички у використанні радіолокаційної інформації, нехтування розумною обережністю, правилами та положеннями. Об'єктивні причини створюють умови для прояву суб'єктивних. Для зниження кількості зіткнень суден та їхніх наслідків необхідно усунути причини, що спричиняють помилки і порушення.

Спостереження полягає в гарантованому виявленні несподіваних змін в обстановці, що часто порушується, особливо в умовах поганої видимості.

Пізнє виявлення фіксується у значної частини суден, що вказує на

недоліки в організації штурманської служби і низьку дисципліну судноводіїв. Основними причинами пізнього виявлення є відволікання від спостереження під час зміни вахт, відволікання старшого помічника на господарські справи і ослаблення спостереження через надмірну кількість спостерігачів на містку. Ці недоліки призводять до несвоєчасного виявлення зустрічних суден і небезпечних змін обстановки.

Незадовільне використання радіолокаційного обладнання також є важливою причиною пізнього виявлення. Неправильне налаштування радіолокаційних станцій (РЛС), недостатня організація радіолокаційного спостереження і нехтування радіолокаційною прокладкою сприяють виникненню небезпечних ситуацій.

Таким чином, основна причина помилок полягає в нехтуванні вимогами про своєчасність дій. Для підвищення безпеки мореплавства необхідно поліпшити підготовку судноводіїв, розвивати їхні практичні навички та суворо дотримуватися встановлених правил.

Підвищення ефективності управління суднами досягається постійними тренуваннями судноводіїв та екіпажів на тренажерах. Саме роль і місце тренажерів у системі професійної підготовки судноводіїв розглянуто в підрозділі 1.2. У процесі проектування тренажерних комплексів система управління якістю підготовки судноводіїв опинилася поза зоною уваги. У роботі вивчено інформаційні потоки, що циркулюють у системі управління якістю підготовки судноводіїв на тренажері на початковому і наступних етапах. Обґрунтовано необхідність реалізації в тренажері автоматизованої підсистеми контролю діяльності здобувачів освіти.

У підрозділі 1.3 досліджено процес діяльності судноводія в управлінні судном. Для цього розроблено імітаційну модель, що представляє діяльність судноводія у вигляді орієнтованого графа. З точки зору системного аналізу проаналізовано дії судноводія за різними типами операцій. У результаті отримано оцінки часових витрат на виконання різних операцій, пов'язаних із діями судноводія. Моделювання дало змогу виявити статистичні

характеристики часу виконання операцій, що важливо для оптимізації процесів керування судном. Аналіз операцій показав, що часові витрати варіюються залежно від складності завдань і рівня підготовки судноводія. Це підкреслює необхідність системного підходу до навчання і тренувань, спрямованих на підвищення кваліфікації судноводіїв.

Для підвищення оперативності діяльності судноводіїв у процесі керування судном у підрозділі 1.4 обґрунтовано подальші шляхи вдосконалення інформаційного забезпечення процесу підготовки судноводіїв і принципів побудови тренажерних комплексів.

1.1 Аналіз діяльності судноводіїв під час керування судном у різних умовах

Системи управління рухом суден (СУРС) пройшли шлях від простих радіолокаційних станцій (РЛС) до високотехнологічних інформаційно-технічних комплексів, що використовують сучасні досягнення в галузі радіоелектроніки та обчислювальної техніки. На теперішній час у світі функціонує понад 500 СУРС, що зумовлено як зростанням вантажообігу і збільшенням інтенсивності судноплавства, так і необхідністю запобігання екологічним катастрофам, пов'язаним із морськими аваріями.

За призначенням та особливостями роботи СУРС класифікуються як:

- портові, що діють в акваторіях портів і на підходах до них;
- річкові, що функціонують на внутрішніх водних шляхах;
- прибережні, що охоплюють територіальні води та міжнародні протоки, а також райони видобутку вуглеводнів на шельфі.

За розміром зони дії СУРС поділяються на:

- локальні, що обслуговують обмежені акваторії;
- регіональні, що охоплюють великі акваторії, забезпечуючи інтеграцію декількох локальних систем.

СУРС виконують такі основні функції:

- організація та регулювання судноплавства, контроль за дотриманням правил плавання;
- забезпечення безпеки в складних навігаційних умовах;
- підтримка роботи портових служб і проведення рятувальних операцій;
- контроль за судноплавством у прибережних водах в інтересах держави.

Технологічну основу СУРС складають берегові РЛС, системи обробки інформації, засоби радіозв'язку, автоматичні ідентифікаційні системи (АІС) та електронну картографію.

До складу СУРС входять Центр управління рухом суден (ЦУРС) і віддалених інформаційних постів, де розміщуються різні джерела інформації про судноплавну обстановку. Оператори СУРС аналізують поточну ситуацію і передають суднам інформацію, попередження і рекомендації щодо забезпечення безпечного судноплавства. Ефективність роботи СУРС залежить від надійності обладнання, кваліфікації персоналу і контролю з боку держави.

Системи управління рухом суден розробляються і функціонують відповідно до міжнародних стандартів, встановлених Міжнародною морською організацією (ІМО). Поряд із лоцманськими службами та навігаційними засобами СУРС визнаються важливим елементом забезпечення безпеки мореплавства. На сучасному етапі більшість значних портів і судноплавних шляхів охоплені СУРС, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності портів і зниженню ризиків. Основною тенденцією є створення інтегрованих систем безпеки мореплавства, які одночасно вирішують завдання державного контролю та інформаційного забезпечення всіх учасників морського транспортного процесу.

На містках суден організована і постійно здійснюється вахта. Її метою є забезпечення безпечного та ефективного управління судном в умовах навігації. Основне завдання вахтового складу – безперервний моніторинг навколишнього середовища і своєчасне виявлення потенційних небезпек, таких як зустрічні судна або зміни в навігаційних умовах.

До складу вахти, як правило, входять вахтовий помічник капітана, рульовий і впередсмотрящий, виконання певних функцій якими дає змогу розподілити відповідальність і підвищити рівень спостереження. Однак, незважаючи на чітку організацію, у процесі зміни вахти може виникати відволікання від спостереження, результатом чого є пізнє виявлення зустрічних суден, особливо в умовах поганої видимості або в тумані [36, 37]. Крім того, недостатня організація спостереження може сприяти виникненню помилок. Так, занадто велика кількість спостерігачів на містку може знизити індивідуальну відповідальність, оскільки кожен може покладатися на інших, що також збільшує ризик несвоєчасного реагування на зміни в обстановці [38, 39].

Основними функціями судноводія є управління судном, забезпечення безпеки навігації та контроль за дотриманням правил плавання. Судноводій відповідає за ефективне виконання маневрів, моніторинг навколишнього оточення, а також за взаємодію з іншими суднами і береговими службами.

Основними завданнями судноводія на різних етапах плавання є:

1. При підготовці до вахти судноводій повинен ознайомитися з поточною навігаційною обстановкою, перевірити стан обладнання та підготувати необхідні документи.

2. Спостерігаючи за обстановкою, у процесі навігації судноводій зобов'язаний постійно стежити за навколишнім оточенням, включно з іншими суднами, навігаційними знаками і погодними умовами, використовуючи візуальні засоби, радіолокаційні системи та інші навігаційні прилади.

3. При аналізі ситуації судноводій повинен оцінювати отримані дані, прогнозувати можливі зміни обстановки і приймати рішення на основі аналізу.

4. У процесі взаємодії з екіпажем судноводій координує дії членів екіпажу, розподіляє обов'язки і забезпечує виконання необхідних маневрів.

5. У процесі прийняття рішень судноводій на основі спостережень і аналізу приймає рішення щодо курсів і маневрів, спрямованих на забезпечення безпеки та ефективності плавання.

6. У процесі документування у судновому журналі фіксуються всі дії та

зміни в обстановці, що є важливим для подальшого аналізу та звітності.

7. Під час зміни вахти судноводій має забезпечити плавний перехід, інформуючи про поточну обстановку і можливі ризики змінюваного вахтового.

Однак ефективність роботи судноводіїв і команди також залежить від умілої організації та надійної роботи всієї вахти. У 43% випадків пригод із суднами причиною є недоліки в роботі судноводіїв [40–44]. Тому в удосконаленні системи роботи судноводіїв наведення приховані значні резерви підвищення безпеки плавання в різних умовах.

Підвищення швидкості руху суден, збільшення їхніх фізичних розмірів, зменшення доступних маршрутів для плавання ускладнили процес керування судном і вимагали істотного підвищення точності й оперативності вирішення завдань керування судном.

У теперішній час створено й удосконалюються засоби автоматизації процесів керування судном, призначені для автоматизованого контролю за надводною обстановкою і вирішення навігаційних завдань. Автоматизація підвищила точність і ефективність керування судном. Хоча існуючі та перспективні комплекси автоматизації процесів керування рухом суден істотно розширюють можливості судноводія, проте тільки цим його надійна робота не забезпечується [45–47].

Професійна діяльність судноводіїв у процесі керування судном може супроводжуватися помилками різної природи та характеру. Ці помилки можуть призвести до пригод різного роду і різного ступеня наслідків аж до катастрофи і втрати судна [48–50].

Проведений аналіз виявив помилкові дії судноводія під час керування судном [51–54]:

- пропуск і неправильне сприйняття інформації або мовного повідомлення (доповіді, команди тощо);
- прийняття неправильного рішення за інформацією, що надходить;
- несвоєчасне прийняття рішення;
- порушення типового алгоритму діяльності на технічних засобах, а саме:

- а) недотримання прийнятої черговості роботи з алфавітно-цифровою та функціональною клавіатурою;
- б) неправильний вибір і вплив на органи управління;
- в) несвоєчасне виконання керуючої дії;
- г) пропуск окремих операцій в алгоритмі;
- д) неправильна оцінка положення органу управління.

Більше половини помилкових дій судноводіїв та інцидентів класифікуються як «неграмотна» експлуатація. Їх вчиняють через недостатні знання сутності процесів, що відбуваються під час роботи системи, або недостатнє розуміння наслідків, спричинених неправильними діями [49, 50, 55]. Помилки судноводіїв призводять до затримок команд з управління судном. Це негативно позначається на якості та оперативності управління [56, 57].

У роботах [30-55, 58] наведено аналіз помилкових дій судноводіїв та їхніх психофізіологічних причин на основі вивчення 259 інцидентів, скоєних з вини судноводіїв.

Виділення причин помилкових дій ґрунтується на вивченні їхніх наслідків [59–61]. Розподіл наслідків помилкових дій судноводіїв наведено в табл. 1.1. З наведених даних випливає, що найчастіше помилкові дії призводять до порушення правил маневрування.

Основні порушення під час керування суднами з тяжкими наслідками:

- порушення правил попередження зіткнень суден (ППЗС);
- зіткнення з іншим судном або об'єктом;
- стихійне лихо та погані погодні умови;
- конструкційні помилки;
- вихід з ладу обладнання;
- погана остійність судна;
- загоряння на судні;
- навігаційні помилки.

Таблиця 1.1 – Наслідки помилок

Джерело: [розроблено автором на основі даних з [59–61]]

Види аварійних ситуацій	Кількість (аварія/дуже серйозна аварія)	
	2021 рік	2022 рік
1. Навігаційні, всього:	750	1106
навал	200	198
зіткнення	302	293
посадка на мілину	231	178
торкання ґрунту	157	183
зіткнення з притопленим предметом	134	209
пошкодження об'єкта морської інфраструктури	28	45
З них загинуло (втрачено) суден	59	38
2. Технічні, всього:	2230	1906
позбавлення можливості руху	450	423
пошкодження конструкцій або механізмів судна	998	890
пошкодження корпусу судна	204	197
вибухи, пожежі	389	261
втрата остійності, плавучості	127	98
зміщення вантажу або зміна його властивостей	57	25
втрата об'єкта, що буксирується	5	12
З них загинуло (втрачено) суден (об'єктів, що буксируються)	3	0
Всього загинуло (втрачено) суден	3	0
3. Загибель людини (зникнення безвісти), випадків	18	17
Всього загиблих, осіб	18	17
4. Отримання ТТП, випадків	2	3
Всього які отримали ТТП, осіб	2	3
5. Аварії, що належать до застосовних міжнародних правил запобігання забрудненню моря	0	0
Усього аварій із торговельними суднами	3000	3032

Іноді помилки судноводіїв загрожують трагічними наслідками – зіткненням суден, пошкодженням суден, загибеллю людей, що свідчить про високу ціну помилкових дій судноводіїв і команди [50, 59–62].

Отримані дані свідчать, що в процесі керування судном судноводії мають бути постійно включені в керування судном, контролювати свої дії та дії членів екіпажу. Однак у багатьох випадках судноводії не цілком адекватно представляють надводну обстановку або концентруються лише на найближчих загрозах і погано прогнозують її зміну. Це впливає з матеріалів аналізу причин помилкових дій судноводіїв, що призвели до інцидентів (табл. 1.2) [63, 64].

З наведених даних впливає, що найчастішою причиною помилкових дій судноводіїв є неадекватне уявлення ним навколишньої надводної обстановки. Це визначається цілою низкою чинників, зокрема недостатньою точністю і надійністю виконання окремих дій і операцій із перетворення наочно-образної інформації [59–64].

Неабиякою мірою це залежить від надійності класифікації радіолокаційної інформації (РЛІ) про навколишнє надводне оточення в районі руху, особливо при використанні навігаційного обладнання та РЛС в умовах поганої видимості або темряви.

Ідентифікація приналежності цих відміток, особливо в умовах перешкод і складної метеорологічної обстановки, є складним неординарним завданням, яке потребує високого рівня підготовки [65].

Наприклад, уявляючи взаємне положення суден і свого судна на площині, судноводій випускає з поля зору параметри гідрометеорологічної обстановки, не завжди правильно оцінює еволюцію інших суден та їхні швидкості. У багатьох випадках це є наслідком недоліків системи відображення інформації про надводну обстановку та обмеженості можливостей візуального контролю.

Таблиця 1.2 – Аналіз психофізіологічних причин виникнення помилок судноводіїв

Джерело: [розроблено автором на основі даних з [63, 64]]

Причини	Кількість випадків	%
1. Помилки сприйняття й аналізу інформації, що надходить:	104	40,1
– помилки формування просторового образу надводної обстановки	78	30,1
– переплутування міток на екрані РЛС	26	10
2. Помилки процесу прийняття рішення:	62	23,9
– ігнорування інструкцій з техніки безпеки (стратегія невиправданого ризику)	18	6,9
– помилки у використанні засобів радіотехнічного забезпечення (РТЗ)	13	5,0
– помилки в штурманських розрахунках, забування оперативної інформації, зокрема:	11	4,2
– інструкцій	8	3,1
– взаємного розташування суден	6	2,3
– планування розвитку обстановки	6	2,3
3. Помилки реалізації прийнятого рішення:	48	18,5
– помилки взаємодії між судноводієм і членами екіпажу	23	8,9
– зайва самовпевненість	15	5,8
– помилкове виконання операцій	10	3,9
4. Інші	45	17,4
Всього	259	100

Правильному поданню надводної обстановки нерідко заважають перешкоди на екрані відображення інформації від різних засобів, обмеження видимості, порушення правил плавання. Дані про положення суден, що надходять дискретно, не знаходять свого оперативного відображення у свідомості судноводіїв для представлення характеру руху і прогнозу взаємного положення суден у динаміці зміни обстановки.

Найбільша кількість помилок припадає на етап інформаційної

підготовки прийняття рішення. Це зумовлено якісною своєрідністю процесу формування концептуальної моделі надводної обстановки [66–69].

У процесі управління судном судноводієві доводиться декодувати числові значення, що характеризують переміщення судна, в їхній якісний вираз – далі, ближче, швидше, повільніше. Переміщення суден за маршрутом видно на екрані навігаційної системи, а інформацію про параметри руху і відстані до перешкод для визначення характеру маневру судна судноводій отримує дискретно за запитом. Тому він запам'ятовує не тільки поточну, а й попередню (за 2-3 ітерації оновлення) інформацію. В умовах дискретно-примусового оновлення інформації значно зростає навантаження на оперативну пам'ять судноводія, що нерідко є причиною помилок.

Помилки прийняття рішень у процесі керування судном часто зумовлені недоліками у формуванні концептуальної моделі керування, а також труднощами в актуалізації необхідних правил та інструкцій. Значна частина цих помилок виникає через застосування «стратегії невиправданого ризику», коли судноводій, прагнучи вирішити поточне завдання, нехтує вимогами безпеки. Це може призвести до небезпечного зближення суден, недооцінки загальної обстановки і прояву зайвої самовпевненості.

Особливостями діяльності судноводія є [70–73]:

- прогнозування взаємного положення суден в умовах постійної зміни курсу, динаміки та умов руху;
- прийняття оперативних рішень з урахуванням конкретних обставин і характеристик надводної обстановки, що складається;
- вибір раціональних рішень за критеріями ефективності управління судном і дотримання вимог безпеки плавання, перевезення вантажів і пасажирів;
- безперервність представлення характеру переміщення суден у зоні плавання;
- безперервно дискретний процес отримання інформації про надводну обстановку в районі плавання.

Процес керування судном у районі плавання, в якому перебувають й

інші судна, є складним завданням, яке вимагає високого ступеня концентрації та правильного прийняття рішень. Однак на ефективність цього процесу впливають певні чинники:

1. Прогноз взаємного положення суден у просторі залежить від інтервалу часу між сформованими уявленнями про характер їхнього маневру в зоні плавання. Чим коротший цей інтервал, тим точнішим буде прогноз і ефективнішим процес.

2. Час і ймовірність правильного уявлення оператором курсу і характеру руху суден: велику складність становлять еволюції, які характеризуються змінним характером руху. Оператор повинен мати можливість швидко і точно уявити собі курс і характер руху суден, щоб забезпечити ефективне наведення.

3. Надійність прогнозу взаємного положення суден, яка залежить від виду і складності суміщеної з ним діяльності. Чим складнішою є діяльність, тим важливішим є точний прогноз взаємного положення суден.

4. Уявлення операторами профілю переміщення суден і прогноз їхнього взаємного положення в просторі, що характеризується значним різноманіттям стратегій і способів розв'язання завдань, пов'язаних з індивідуально-психологічними особливостями перетворення інформації. Це означає, що оператори повинні мати можливість використовувати різні стратегії та підходи для вирішення завдань.

Однак повністю виключити помилки з діяльності людини неможливо. Неминучість помилок означає, що мало вміти діяти правильно, необхідно навчитися попереджати, виявляти і виправляти помилки [74–76].

Джеймс Різон вважає помилками випадки, коли планова розумова або фізична діяльність оператора не досягає результату [74–76]. Помилка – «незапланована дія». Ми або робимо те, що не повинні робити (*помилка виконання*), або не робимо те, що повинні зробити (*пропуски*). У будь-якому разі, результат не відповідає намірам [76, 77].

Розглядаючи помилки, допущені людиною, їх можна класифікувати на 4 категорії [78] (рис. 1.1).

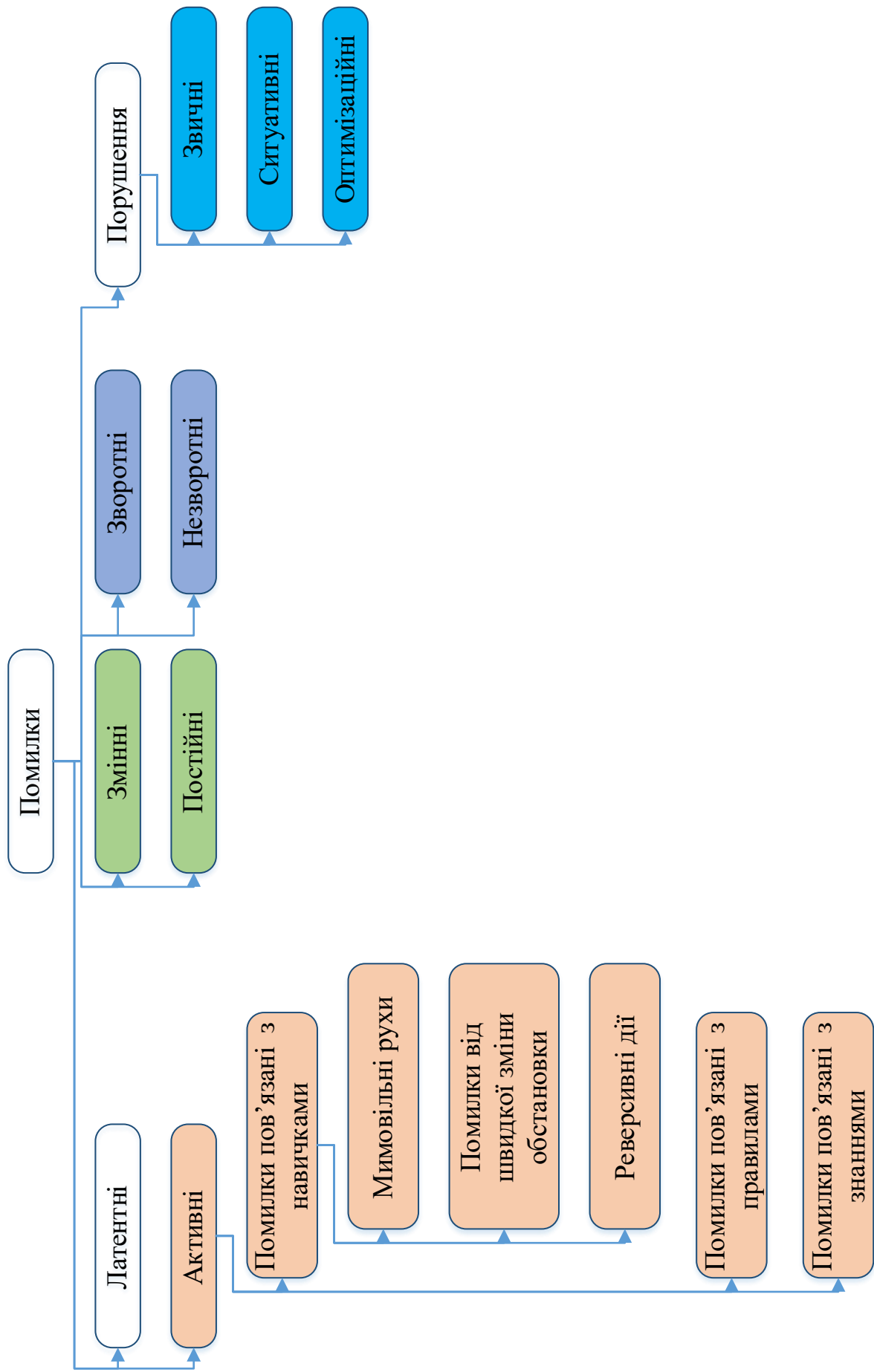


Рисунок 1.1 – Класифікація помилок судноводія Джерело [розроблено автором]

Перша категорія помилок: латентні (приховані) і активні.

Латентні (приховані) помилки – умови або події в минулому. Наприклад, професійний відбір, психофізіологічні якості оператора, конструктивні помилки обладнання.

Активні – безпосередні помилки або дії, що стали причиною помилок (пускові події).

Активні помилки поділяються на 3 *види*: помилки, пов'язані з навичками, з правилами і знаннями. Принципова різниця між ними полягає в режимі роботи свідомості. Під час автоматичної діяльності участь свідомості мінімальна, використовуваний обсяг до 10% і можливе одночасне виконання інших завдань (наприклад, пультові операції та ведення радіозв'язку).

Діяльність людини можна розділити на три типи: автоматична, процедурна і свідома. Кожен тип діяльності має свої особливості і потребує різного рівня уваги та свідомого контролю.

Автоматична діяльність – це звичні дії, які виконуються без свідомого контролю. Такі дії не потребують значних ресурсів уваги і можуть бути виконані одночасно з іншими завданнями. Однак автоматична діяльність може призвести до помилок, якщо не відповідатиме ситуації.

Процедурна діяльність – це дії, які ґрунтуються на правилах і процедурах. Цей тип діяльності потребує більше ресурсів уваги, ніж автоматична діяльність, але менше, ніж свідома діяльність. Процедурна діяльність може бути виконана одночасно з іншими завданнями, але потребує деякого рівня свідомого контролю.

Свідома діяльність – це дії, які вимагають повної уваги та свідомого контролю. Цей тип діяльності не може бути виконаний одночасно з іншими завданнями і потребує значних ресурсів уваги. Свідома діяльність необхідна для розв'язання складних завдань і прийняття рішень.

Помилки, пов'язані з навичками, зазвичай трапляються через недостатню або надмірну увагу, що приділяється завданню. Це може бути результатом низької або надмірної мотивації, повернення старої навички або заміщення,

коли замість однієї дії виконується інша. До помилок, пов'язаних із навичками, належать мимовільні рухи, помилки, зумовлені швидкою зміною надводної обстановки, реверсії та інші ненавмисні дії.

Навичка формується багаторазовим повторенням, тренуваннями. Усвідомлене виконання підвищує якість навчання.

Помилки, зумовлені швидкою зміною надводної обстановки, можуть бути результатом недостатньої уваги або надмірної мотивації.

Реверсії відбуваються, коли сформований стереотип не потрібен, але використовується автоматично на рівні рефлексу. Це відбувається, коли судноводій не зосереджений або в стані стресу.

Помилки, пов'язані з правилами, відбуваються, коли складні дії вимагають участі свідомості. Під час вирішення однотипних завдань формується стереотип дій, який полегшує виконання завдання, але знижує рівень усвідомленості. Відбувається щось на зразок автоматизації процедурної діяльності.

Можливі помилки, пов'язані з неправильним вибором правила або процедури. Наприклад, судноводій може неправильно визначити маневр судна і, відповідно, застосувати неправильну процедуру або методику. У результаті маневр судна не буде адекватно сприйняте, і контрзаходи будуть помилковими. Причиною помилки може бути недовченість, нездатність пригадати процедуру або методику.

Помилки, пов'язані зі знаннями, виникають у нестандартних або складних ситуаціях, для яких немає правил, коли під час вироблення рішення спираються на знання і досвід. При цьому судноводій не може чітко сформулювати суть завдання й реалізувати адекватний алгоритм пошуку та реалізації рішення, а невизначеність у підсумковому рішенні не дає змоги сформулювати бажану кінцеву мету.

Друга категорія помилок: змінні і постійні.

Постійні помилки можна передбачити, прогнозувати і контролювати, а випадкові передбачити і контролювати складно.

Третя категорія помилок: зворотні і незворотні.

Зворотні помилки – це помилки, які можуть бути виправлені в процесі виконання завдання. Наприклад, якщо судноводій помилився в розрахунку моменту початку розвороту для запобігання зіткненню або перетину курсу руху іншого судна, то він може за допомогою команд на зміну курсу або швидкості виправити помилку й вивести судно на безпечну траєкторію

Незворотні помилки – це помилки, які не можуть бути виправлені в процесі виконання завдання. Якщо судноводій не вживає дій щодо виправлення помилки, то можливості виправлення помилки може і не виявитися. Це може призвести до незворотних наслідків.

Своєчасне виправлення помилок є критично важливим для успішного виконання завдання. Судноводій повинен бути в змозі швидко виявляти і виправляти помилки, щоб запобігти їхнім незворотнім наслідкам. Це вимагає високого ступеня уваги, концентрації та здатності швидко реагувати на зміни в ситуації задіявши всі види діяльності судноводія.

Четверта категорія помилок: звичні, ситуативні й оптимізаційні. До цієї категорії відносяться помилки, які традиційно вважаються результатом системних недоліків. Порушення можуть бути наслідком помилок професійного відбору, навчання, оцінювання судноводія, якості розроблення та впровадження процедур і методик або інших системних недоліків.

Розрізняють три типи порушень [74-78]:

1) *Звичні порушення* – це порушення, що стали повсякденною нормою. Вони є результатом того, що судноводії вважають процедуру занадто складною і порушують її, щоб спростити завдання, заощадити час.

2) *Ситуативні порушення* – це порушення, які вчиняються внаслідок дефіциту часу, високого робочого навантаження або поганої ергономіки робочого місця. Такі порушення судноводії здійснюють заради виконання посадових обов'язків всупереч усьому.

3) *Оптимізуючи порушення* – це відмова від правил. Наприклад, щоб швидше здійснити маневр або розворот, збільшують швидкості, гостріше міняють курси, виходять на критичні режими роботи вузлів і механізмів судна,

тим самим порушуючи правила.

Дефіцит часу і робоче навантаження підвищують імовірність порушень. Люди порівнюють ризик і вигоду спонтанно, але реальний ризик може бути значно вищим за очікуваний.

Порушення відрізняються від помилок навмисним характером. Тобто, хтось щось робить, знаючи, що це не за правилами. Порушення можуть бути результатом прагнення якнайкраще виконати роботу або некомпетентності, ліні та самовпевненості.

Облік порушень є важливим аспектом забезпечення безпеки судноводіння. Необхідно виявляти й аналізувати порушення, щоб запобігти їхньому повторенню та мінімізувати ризики.

Практично ніколи інцидент не відбувається через одну єдину помилку. Зазвичай в основі лежать кілька помилок, часто допущених різними людьми. Коли одна помилка створює умови для виникнення іншої, ускладнює умови виконання наступного завдання і провокує нові помилки, говорять про виникнення «ланцюга помилок» або «ланцюга подій».

Якщо виявити таку ланку і зрозуміти способи її «розриву», то розвиток інциденту припиниться, і ситуація нормалізується. «Розриви» ланцюга помилок можливо реалізувати лише з використанням системних інструментів: стандартних процедур (методик), правил, перевірок, тренувань [79].

Згідно з документами ІМО, концепція контролю та управління помилками відіграє вирішальну роль у забезпеченні безпеки мореплавства та запобігання нещасним випадкам на морі. Ця концепція базується на ретельному аналізі різних категорій помилок, які можуть виникнути під час експлуатації суден і морських операцій. У рамках цієї концепції виокремлюють три основні категорії помилок, кожна з яких має свої специфічні характеристики та потенційні наслідки (Додаток В):

1. Активні (**active**) помилки (неправильна інтерпретація навігаційних даних, перевищення швидкості в умовах поганої видимості або неправильне використання обладнання) охоплюють прямі й безпосередні дії або рішення,

прийняті судноводіями, які можуть призвести до небажаних наслідків. Вони можуть бути результатом неправильного розуміння ситуації, нестачі досвіду або уваги, а також інших чинників, що впливають на процес прийняття рішень.

2. Латентні (**latent**) помилки є прихованими або потенційними проблемами, які можуть не відразу проявитися, але створюють передумови для майбутніх помилок або інцидентів. Ці помилки часто пов'язані з організаційними або системними недоліками, такими як неадекватна підготовка персоналу, неякісне обладнання або неефективні процедури. Латентні помилки можуть залишатися непоміченими доти, доки не створять відповідні умови для виникнення активних помилок або інцидентів.

3. Порушення (**violations**). Цей тип помилок передбачає навмисне або усвідомлене ігнорування правил, процедур або рекомендацій, що може істотно підвищити ризик виникнення інцидентів або нещасних випадків. Порушення можуть бути спричинені різними факторами, включно з тиском з боку керівництва, прагненням заощадити час або ресурси, а також особистими переконаннями або мотивацією. Прикладами порушень можуть бути ігнорування вимог до безпеки, навмисне відключення систем безпеки або недотримання регламентів [70-79].

Розуміння цих категорій помилок мають вирішальне значення для розроблення ефективних стратегій контролю та управління помилками в морській індустрії. Регулярний аналіз і коригування процедур, навчання й обізнаність персоналу, а також безперервний моніторинг і поліпшення умов праці та обладнання – все це відіграє ключову роль у мінімізації ризиків і запобіганні помилкам, здатних призвести до серйозних наслідків.

Ці категорії помилок не є взаємовиключними і вичерпними. Незалежно від характеру вчиненої помилки її вплив на безпеку судноплавства визначається тим, чи зміг судноводії виявити цю помилку і вжити відповідних заходів до того, як вона призведе до небажаного інциденту або небезпечних наслідків [76, 78].

Судноводії під час штатного виконання своїх функціональних обов'язків мають уміти застосовувати заходи протидії, спрямовані на те, щоб помилки і

небажані стани не призвели до зниження порогового рівня безпеки під час керування судном. Прикладами таких заходів можуть бути систематичні тренування з використанням тренажерів, інструктажі та стандартні експлуатаційні процедури і методики.

На думку Haskett Consulting Inc. (HCI): «Люди запам'ятовують 20% того, що вони бачать, 40% того, що вони бачать і чують, і 70% того, що вони бачать, чують і роблять».

Ефективне професійне навчання судноводіїв є найважливішим елементом забезпечення безпеки мореплавства та запобігання помилкам. Одним із ключових компонентів такого навчання є постійні тренування на спеціалізованих тренажерах або тренажерно-моделювальних комплексах.

Тренажери і тренажерно-моделювальні комплекси дають змогу здобувачам освіти отримувати первинні вміння та навички в управлінні екіпажами суден, опановувати вміння контролювати помилки і небажані стани, а також підтримувати набуті вміння та навички. Такі тренування проводяться в контрольованому і безпечному середовищі, що дає змогу здобувачам освіти розвивати свої навички та вміння без ризику для себе та інших.

1.2 Роль і місце тренажерів у системі професійної підготовки судноводіїв

Професійна освіта судноводія є безперервною: судноводій навчається все життя, спочатку в навчальному закладі, потім безпосередньо, плаваючи на різних судах, закріплює і нарощує знання, вміння та навички. Навчання судноводія професійної діяльності – це комплексний різнобічний і різноплановий процес, який містить у собі низку етапів і видів підготовки з урахуванням особливостей і характеру майбутньої діяльності [80, 81].

Виокремлюють два види професійної підготовки судноводія – теоретичну і практичну [82].

Формування компетенцій судноводіїв є найважливішим аспектом забезпечення безпеки мореплавства та ефективності управління суднами. Цей процес містить теоретичну і практичну підготовку, кожна з яких відіграє свою роль у формуванні необхідних знань, умінь і навичок.

Теоретична підготовка є основою формування компетенцій судноводіїв. У результаті теоретичної підготовки здобувачі освіти мають отримати глибокі та міцні знання про керований об'єкт, принципи побудови та логіку функціонування його систем, про фізичні закони, що визначають взаємодію керованого об'єкта з іншими об'єктами та зовнішнім середовищем, про динамічні характеристики та можливості об'єкта, про органи керування та контролю, про методи керування об'єктом у різних ситуаціях.

Теоретична підготовка містить у собі вивчення таких напрямів:

- керований об'єкт: принципи побудови, логіка функціонування, фізичні закони;
- системи керування: принципи побудови, логіка функціонування, методи керування;
- динамічні характеристики та можливості об'єкта: швидкість, маневреність, стійкість;
- органи керування та контролю: принципи побудови, логіка функціонування, методи керування;
- методи керування об'єктом у різних ситуаціях: прості, складні, критичні ситуації.

Професійна практична підготовка є найважливішим аспектом формування компетенцій судноводіїв. У результаті професійної практичної підготовки формуються необхідні вміння та навички, що дають змогу судноводію впевнено здійснювати управління суднами та екіпажами в простих, складних і критичних ситуаціях.

Професійна практична підготовка поділяється на два етапи: тренажерна підготовка (навчання на тренажерах, що імітують реальні ситуації управління суднами та екіпажами) і практична діяльність (участь у реальних операціях

управління суднами та екіпажами під керівництвом досвідчених судноводіїв).

Тренажерну підготовку проводять на спеціалізованому комплексному тренажері, який дає змогу відпрацювати первинні вміння та навички в управлінні екіпажами, створити з метою навчання всі можливі аварійні та критичні ситуації, з якими змогу здобувач освіти може зустрітися в подальшій практичній роботі в різних умовах.

Використання тренажерів під час підготовки судноводіїв є більш економічно ефективним методом порівняно з навчанням у реальних умовах експлуатації суден.

Згідно з дослідженнями [80, 81], витрати на підготовку судноводіїв під час використання тренажерів істотно знижуються – приблизно до однієї десятої частини від витрат на традиційну форму навчання [82]. Аналогічно інше авторитетне джерело [78] також підтверджує економічну ефективність використання тренажерів при підготовці судноводіїв.

Імовірно, економія витрат становить від 70% до 90% при використанні сучасних технологій [83]. Інше дослідження [84] вказує відповідну економію витрат при використанні симуляційних технологій при навчанні [85]. Також є дані [86], які вказують відповідні значення зниження витрат при застосуванні методу віртуалізації при навчанні [87].

Аналіз [88] показує, що значна економія витрат може бути досягнута за рахунок використання технологій доповненої реальності під час навчання [89].

На тренажері можна багаторазово повторювати особливо складні ситуації під час керування суднами, поки здобувачі не опанують їх досконало. За необхідності вправи можна повторювати в уповільненому або прискореному темпі, записувати процес виконання і потім аналізувати кожну дію. Такий підхід значно прискорює процес становлення професіоналізму судноводія порівняно з традиційними методами навчання [77-89].

Навчання відбувається в ідентичних умовах реальної експлуатації, на тих самих робочих місцях і з використанням тих самих технічних засобів, якими користуються судноводії під час практичного керування суднами.

Основним інструментом навчання є тренажерно-імітаційна система, що являє собою комплекс взаємопов'язаних імітаційних модулів. Ці модулі дають змогу готувати не тільки судноводіїв, а й інших членів екіпажу, забезпечуючи всебічну підготовку до реальних ситуацій на морі.

Суттєвим недоліком сучасних тренажерів для підготовки судноводіїв є недостатня об'єктивність оцінок результатів навчання [90, 91]. Традиційний підхід до оцінювання дій судноводіїв, що ґрунтується на суб'єктивній думці викладача-інструктора, не може гарантувати повну адекватність виставленої оцінки дійсному рівню розвитку знань, умінь і навичок. Це може призвести до недооцінки або переоцінки здібностей судноводіїв, що в кінцевому підсумку може вплинути на безпеку судноплавства.

Тому необхідно розробити більш об'єктивні методи оцінки результатів навчання, які б давали змогу точніше оцінити рівень підготовки судноводіїв. Це може включати використання автоматизованих систем оцінювання, заснованих на даних і алгоритмах, які дозволяють мінімізувати суб'єктивність і забезпечити більш точну оцінку знань, умінь і навичок судноводіїв.

Обсяг, повнота, об'єктивність і достовірність реєстрації дій судноводіїв, оцінка інформації, оперативність процесу оцінювання і ступінь деталізації діяльності тих, хто навчається, здебільшого залежать від кваліфікації, досвіду і суб'єктивних властивостей інструкторсько-викладацького складу. Також на ефективність контролю за діями здобувачів освіти і виведенням підсумкової оцінки викладачем-інструктором впливають такі об'єктивні чинники:

- можливий дефіцит часу у викладача-інструктора на поточний контроль правильності дій здобувачів освіти;
- відсутність чіткої, деталізованої і всебічної системи критеріїв оцінювання дій судноводіїв, пов'язаної з різними рівнями технологічної структури їхньої діяльності, індивідуального професійного і життєвого досвіду, відсутність засобів автоматизованого об'єктивного контролю.

Розроблення незалежних автоматизованих засобів реєстрації, аналізу та оцінювання дій судноводіїв і застосування їх на тренажерах (тренажерних

системах) дає змогу зменшити залежність оцінювання від суб'єктивної складової та розв'язати проблеми, пов'язані з впливом об'єктивних чинників. Для цього проведемо аналіз побудови перспективних тренажерних комплексів для підготовки судноводіїв.

Раціональне проєктування комплексів тренажерів вимагає впровадження передових технологій, що забезпечують оптимальну інтеграцію інформаційних, апаратних і програмних компонентів. Такий підхід дає змогу багаторазово й економічно використовувати ресурси, забезпечувати постійну модернізацію тренажерів і розширювати їхню функціональність.

Для забезпечення вдосконалення професійних навичок і вмінь судноводіїв в управлінні судном на тренажери покладаються такі ключові завдання:

- **імітація реальних умов:** моделювання функціонування об'єкта і зовнішньої обстановки в засобах спостереження відповідно до дій здобувачів освіти як у нормальних, так і в критичних режимах, з можливістю регулювання масштабу часу;

- **створення імерсивного середовища:** моделювання фізичних факторів робочого середовища, що викликають у здобувачів відчуття, адекватно пов'язані з алгоритмом їхньої діяльності;

- **ефективне управління процесом навчання і тренування** для досягнення максимальних результатів;

- **контроль, оцінка і реєстрація** діяльності судноводія в процесі навчання і тренування для виявлення сильних і слабких сторін;

- **аналіз і корекція:** відтворення інформації, зафіксованої в процесі навчання і тренування, з можливістю тимчасової зупинки і повернення на будь-який попередній етап відпрацьованого завдання для докладного аналізу і корекції помилок.

Тренажер має забезпечувати ідентичність сприйняття інформації та просторово-часових характеристик керівних впливів здобувачів освіти на тренажері і на реальному об'єкті, широкий діапазон відтворюваних у тренувальних вправах умов і ситуацій, гнучку перебудову на виконання різних завдань.

Виконання зазначених завдань і вимог забезпечується відповідною структурною побудовою тренажера [92, 93].

З урахуванням найсуттєвіших завдань, які мають бути реалізовані на тренажері, його можна уявити як систему, що складається з судноводія (далі – здобувач освіти), автоматизованого робочого місця здобувача освіти (оператора) (АРМО), системи моделювання (СМ), апаратури контролю й оцінювання дій здобувача (АКОД) та інструктора і зв'язків між ними (рис. 1.2) [94, 95].

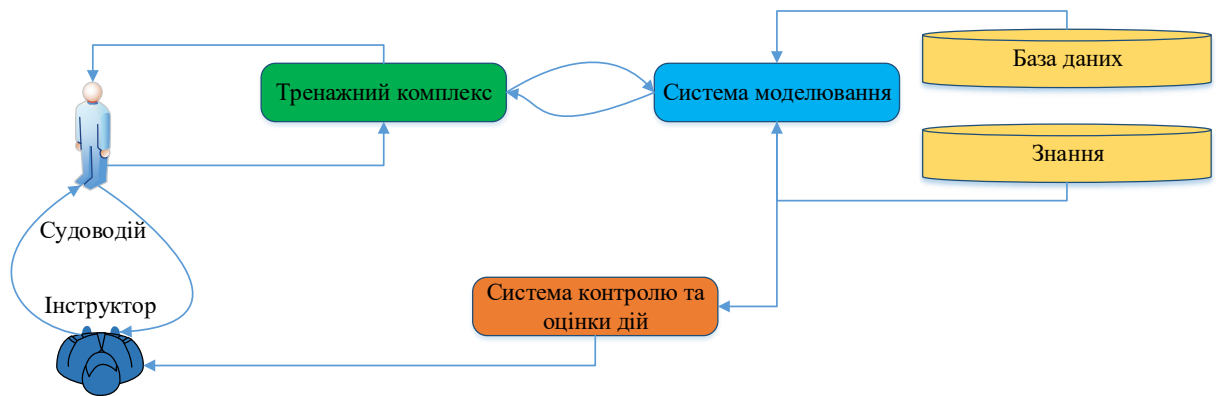


Рисунок 1.2 – Узагальнена структура тренажера

Джерело [розроблено автором]

Ключовим компонентом тренажера є АРМО. На ньому відтворюються умови реального процесу керування судном, що дає змогу операторові отримувати практичний досвід в управлінні об'єктом. АРМО являє собою точну копію робочої зони реального об'єкта або сам реальний об'єкт, оснащений усіма необхідними органами управління, засобами відображення і зв'язку, які використовуються здобувачами освіти під час управління об'єктом.

Для моделювання реального процесу використовується обчислювальна система (ОЧС), яка працює на основі програмно реалізованої моделі об'єкта і його систем. Ця система розраховує параметри, необхідні для імітації умов реального процесу, і виводить їх на засоби відображення АРМО. Коли здобувач освіти вводить керувальні впливи, вони стають вхідними параметрами моделей, що дає змогу імітувати реальний процес і надавати

оператору можливість практичного навчання.

Для ефективного навчання судноводіїв тренажер має бути оснащений спеціальним програмним забезпеченням, яке дає змогу імітувати реальні умови судноплавства. Програмне забезпечення тренажера доцільно структурувати за завданнями і розділити на загальне математичне забезпечення тренажера (ЗМЗ) і спеціальне математичне забезпечення (СМЗ). Крім того, тренажер має тестове програмне забезпечення (ТПЗ), призначене для контролю цілісності систем і працездатності обладнання в період експлуатації тренажера.

СМЗ є найважливішим елементом тренажера, до складу якого входять:

- модель судна і його систем;
- модель об'єкта управління;
- модель середовища (наприклад, погоди, хвилювання);
- систему імітації обстановки, яка дає змогу створювати реалістичні сценарії для навчання.

Для ефективного управління тренуваннями на тренажері необхідна система управління тренуваннями (СУТ). Вона має у своєму складі:

- пульт контролю та управління (ПКУ) з кількома робочими місцями інструкторів;
- програмне забезпечення (ПЗ) управління тренувальним процесом з інтерфейсом користувача;
- підсистему автоматичного контролю діяльності здобувача освіти (ПКД);
- програмне забезпечення підготовки вправ, реєстрації та аналізу його результатів;
- інформаційно-довідкову систему щодо штатного об'єкта і тренажера (ІДС).

Зв'язок між робочими місцями на тренажері забезпечує система зв'язку (СЗ), яка дає змогу імітувати зв'язок між об'єктами керування, між здобувачами та ПКУ, а також забезпечує персонал, який проводить тренування, технологічним зв'язком.

Таким чином, тренажер для навчання судноводіїв має бути оснащений складним програмним забезпеченням, яке дає змогу імітувати реальні умови судноплавства і забезпечує ефективне управління тренуваннями.

На думку авторів [90-95], незважаючи на специфіку завдань підготовки операторів, тренажер має таку типову структуру (рис. 1.3).

Однак під час проєктування тренажерів недостатньо уваги приділяється системі управління якістю професійної підготовки судноводіїв (підсистемі автоматичного контролю операторської діяльності).

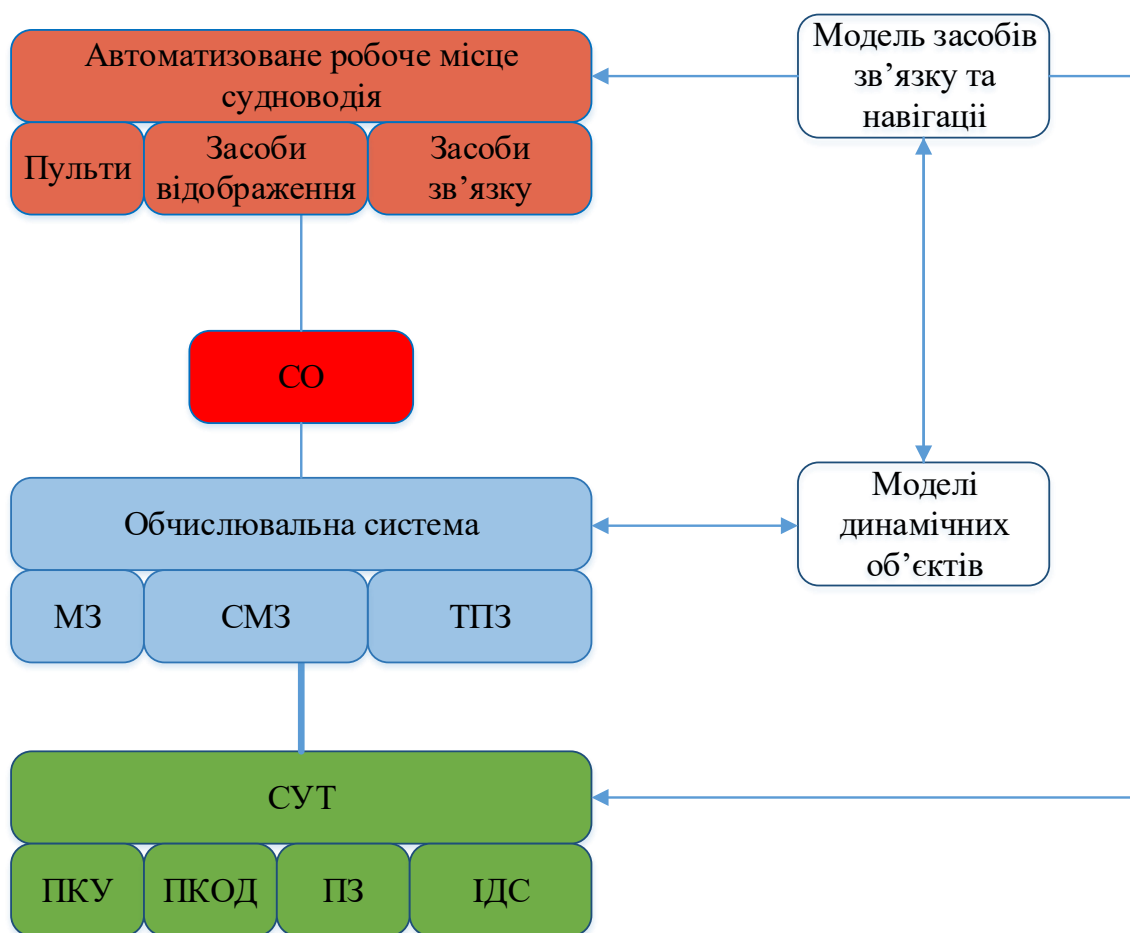


Рисунок 1.3 – Типова структура тренажера для підготовки судноводіїв

Джерело [розроблено автором]

Контроль операторської діяльності судноводія має на меті:

- оцінити відповідність дій судноводія вимогам до виконуваних завдань;
- виявити причини неправильних дій судноводія або дій, які можуть

бути наслідком недостатнього навчання;

- визначити ступінь підготовленості судноводія до дій у реальних умовах, а також моменту їхньої готовності до переходу від одного тренувального завдання до іншого.

Глибина аналізу результатів дій судноводія на тренажері й осмисленість виконання ним поставлених завдань забезпечують розвиток його здібностей грамотно виконувати функціональні обов'язки. Для цього тренажери мають автоматизовану систему управління (АСУ) якістю підготовки судноводіїв.

Під час вхідного контролю роботи системи в процесі навчання судноводіїв у цій АСУ циркулюють такі інформаційні потоки:

- дані про дії судноводія;
- результати аналізу дій судноводія;
- інформація про ступінь підготовленості судноводія;
- дані про виконання тренувальних завдань.

На початковому етапі підготовки судноводіїв (перепідготовки, перенавчання, підвищення кваліфікації) проводиться оцінювання рівня їхньої професійної підготовки для формування стратегії навчання. Для цього в систему вводять персональні дані судноводіїв і формують набір індивідуальних завдань для відпрацювання на тренажері. Формування набору індивідуальних завдань передбачає розв'язання багатокритеріальної задачі оптимізації щодо формування набору тестів із використанням взаємозв'язку характеристик тестових методик.

Під час формування індивідуального набору тестових завдань необхідно враховувати такі чинники:

- персональні дані судноводія, включно з його досвідом і кваліфікацією;
- рівень складності тестів для забезпечення оптимального рівня складності для кожного судноводія;
- час виконання тестів для забезпечення достатнього часу для виконання завдань судноводіями;
- валідність тестів для забезпечення відповідності реальним умовам

судноплавства;

– інші характеристики, такі як тип судна та умови судноплавства.

У процесі тестування здійснюється оперативний контроль, під час якого реєструються впливи судноводія на органи управління, визначаються логічні, операційні та часові відхилення дій судноводія. Наприклад, якщо судноводій перевищує час виконання операцій або здійснює тривалу бездіяльність, це може бути ознакою того, що він потребує додаткової підготовки.

Результати вхідного контролю щодо виконання окремих операцій та етапів вирішуваного операторами завдання порівнюються з регламентованими діями в системі управління судном. При цьому виявляються порушення послідовності дій, невиконані обов'язкові або виконані неприпустимі дії. Також фіксуються часові відхилення, особливо, якщо відмінність між нормативним (за інструкцією) і фактичним часом виконання тієї чи іншої дії перевищує допустимий часовий інтервал.

За результатами вхідного контролю формується стратегія навчання судноводіїв і розраховується прогноз навченості. Це дає змогу реалізувати індивідуальний підхід до підготовки судноводіїв, що є найважливішим фактором у забезпеченні безпеки судноплавства.

Після визначення рівня підготовки та формування стратегії навчання відбувається процес ситуатійного адаптивного формування інформаційного середовища навчання оператора в процесі тренажерної підготовки з використанням інтелектуальних технологій (ІТ). Початковими умовами формування станів елементів інформаційного середовища навчання, задля його інтелектуалізації, є необхідність формалізації числових та лінгвістичних змінних, що описуватимуть процес тренажу та принципів його адаптації. Математичний апарат, який необхідно використати в дослідженні питань дисертаційної роботи, повинен дозволяти одночасно працювати зі змінними такого типу. Очевидно, що найповніше зазначеним вимогам відповідає апарат нечіткої логіки [96–98].

Виходячи зі стратегії підготовки, на початку навчання судноводіїв

формується перелік типових завдань для відпрацювання на тренажері. Далі оператор приступає до відпрацювання як окремих операцій, так і цілісних операційних комплексів. Структура процесу контролю дій судноводія змінюється залежно від типу і кількості контрольованих операцій. Але залежно від характеру розв'язуваних завдань, правильності й ефективності дій операторів глибина і масштаби його проведення можуть бути різними [99, 100].

Однак у міру набуття (підвищення) необхідних навичок операторами тренажерні засоби мають забезпечувати модифікацію умов проведення тренувань. Параметри умов і ситуацій мають змінюватися в найімовірнішому діапазоні для оптимізації обсягу інформації, що пред'являється операторові на різних етапах підготовки, і формування гнучких, адаптивних навичок, які можна буде використовувати в прогнозованих реальних умовах його діяльності [92–94].

Тому тренажер має давати змогу інструкторові змінювати ситуації, вводити нові або додаткові умови, що ускладнюють керування об'єктом або створюють перешкоди, а також формувати вправи дозовано-прогресуючої складності. При цьому навички ранжуються за значимістю. Характер завдань, що виконуються в процесі тренування, індивідуалізований з урахуванням функціональних обов'язків і можливостей оператора.

Вихідні та проміжні результати контролю діяльності судноводіїв заносяться в базу даних. Після відпрацювання комплексу типових завдань система управління якістю підготовки операторів повинна визначити ступінь їхньої підготовленості до роботи на реальному судні або готовність до переходу на відпрацювання іншого завдання. У разі невиконання будь-якого типового завдання система має скоригувати індивідуальну програму підготовки з урахуванням здібностей оператора, його навичок і вмінь.

Для створення системи управління якістю підготовки судноводіїв необхідно дослідити процес виконання ними операцій під час реального плавання. Це дасть змогу проаналізувати діяльність судноводія, виявити помилки в його роботі та виокремити ті, які можна виправити в процесі теоретичної та тренажерної підготовки.

Сучасні тренажери демонструють істотне розмаїття в аспектах технічних засобів, структурної організації та методах імітації робочих умов для операторів, а також у підходах до контролю результатів їхньої діяльності. Таке розмаїття зумовлене, насамперед, специфікою призначення і сфери застосування кожного тренажера. У зв'язку з цим прийнято класифікувати тренажери на окремі групи залежно від їхньої спрямованості: авіаційні; космічні; морські; автомобільні й залізничні тренажери, а також тренажери для спеціалістів, які управляють певними об'єктами. Використовуючи ці тренажери, можна формувати навички та вміння, необхідні для конкретної сфери діяльності. Для реалістичної імітації довкілля використовують відповідне обладнання та спеціалізовані органи контролю й управління, як зазначено в джерелах [92–94].

Однак, незважаючи на відмінності, під час побудови тренажерів використовують загальні принципи та підходи, ідентичні структури та пристрої, типові варіанти технічних рішень, пов'язаних з організацією моделювання процесів, зокрема й у реальному масштабі часу, імітацією візуального оточення, забезпеченням контролю та управління тренуванням.

Принципи побудови тренажерів різного призначення та ефективність їх використання для професійної підготовки персоналу розглядалися в роботах вітчизняних і зарубіжних учених, зокрема: Nie Y., який досліджував питання створення і застосування тренажерів в авіаційній і космічній галузях; Tsoukalas V., який працював над розробкою тренажерів для морської та залізничної галузей; Tsoumas N.K., який зробив внесок у створення тренажерів для підготовки персоналу у сфері управління польотами; Luan X., який досліджував питання ефективності використання тренажерів у професійній підготовці; Named-Ahmed M.H., який працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі ядерної енергетики; Dewan M.H., який досліджував питання створення та застосування тренажерів у галузі нафтової та газової промисловості; Hirono K., який працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі транспорту; Plowman T., який

працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі будівництва; Ericka Johnson-Laird, який досліджував питання створення та застосування тренажерів у галузі авіації та космонавтики; James R. Brown, який зробив внесок у розробку тренажерів для підготовки персоналу в галузі управління польотами; Robert A. Bachman, який працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі ядерної енергетики; Michael A. Gillette, який досліджував питання ефективності використання тренажерів у професійній підготовці; Patricia A. Dodge, яка зробила внесок у розробку тренажерів для підготовки персоналу в галузі транспорту; David A. Helms, який працював над створенням тренажерів для підготовки персоналу в галузі енергетики; Margaret A. Jimmerson, яка досліджувала питання створення та застосування тренажерів в галузі хімічної промисловості; Brian A. McKenzie, яка досліджувала питання створення та застосування тренажерів в галузі хімічної промисловості; Brian A. McKenzie, який зробив внесок у розробку тренажерів для підготовки персоналу в галузі будівництва [86-91].

Проблеми створення і модернізації тренажерно-моделювальних комплексів різного призначення та методологічні принципи створення інтегрованої навчально-тренувальної системи підготовки набули розвитку в роботах інших авторів [92, 93].

У теперішній час у роботах [85, 95] та ін. досить глибоко і всебічно сформовано основні ідеї модульної побудови засобів тренажерної техніки. Наявні дослідження розкривають концепцію створення інтегрованих тренажерних комплексів, а також використання у складі різних тренажерів у режимі колективного користування уніфікованих апаратних і програмних модулів. Переконливим прикладом, що підтверджує переваги модульного принципу побудови тренажерів та інтеграції всіх тренажерних засобів у єдиний комплекс, стало створення засобів підготовки космонавтів і астронавтів за програмою Міжнародної космічної станції.

Порівняльний аналіз наявних тренажерів, тренажерних систем підготовки судноводіїв з управління суднами, а також перспективних

теоретичних розробок показав таке.

З одного боку, поліпшення якості підготовки судноводіїв можливе за рахунок введення автоматизованої системи оцінювання їхніх дій. Вона дасть змогу об'єктивно оцінити дії судноводіїв у різних ситуаціях, виявити помилки та недоліки, надати рекомендації щодо поліпшення їхніх навичок і вмінь.

З іншого боку, на цьому етапі реалізовано тільки окремі компоненти таких систем. Наприклад, автоматизований збір даних об'єктивного контролю дає змогу збирати й аналізувати дані про дії судноводіїв, але не надає повної картини їхньої діяльності.

Крім того, не розглянуто питання формування інформаційного середовища навчання, яке дасть змогу змінювати ситуації, вводити нові або додаткові умови, що ускладнюють керування об'єктом або створюють перешкоди. Тобто судноводії не можуть тренуватися в умовах, максимально наближених до реальних, що знижує ефективність їхньої підготовки.

Також не вирішено питання формування вправ дозовано прогресуючої складності. Це означає, що судноводії не можуть поступово підвищувати рівень складності своїх тренувань, що необхідно для ефективного навчання та вдосконалення їхніх навичок.

Таким чином, у контексті вивчення питань підготовки судноводіїв, перспективним питанням є обґрунтування теоретичних засад реалізації автоматизованої підсистеми контролю судноводійської діяльності (АКСД). Така підсистема дасть змогу об'єктивно оцінити дії судноводіїв, виявити помилки та недоліки, а також надати рекомендації щодо поліпшення їхніх навичок і вмінь. Це, своєю чергою, підвищить безпеку та ефективність управління суднами.

1.3 Розроблення моделі діяльності судноводія під час вирішення завдань керування судном у різних умовах

Створення аналітичної моделі діяльності судноводія в процесі вирішення завдань навігації та керування судном неможливе з кількох причин:

- відсутність методів формалізованого опису інтелектуальної діяльності судноводія, яка містить у собі прийняття рішень на основі досвіду та інтуїції;
- відсутність суворого алгоритму вирішення завдань судноводієм, оскільки кожен випадок вимагає індивідуального підходу й адаптації до мінливих умов;
- неможливість врахувати всі фактори, що впливають на процес діяльності судноводія, як-от погодні умови, стан судна та екіпажу.

У зв'язку з цим, єдиним доступним способом проведення досліджень діяльності судноводія є імітаційне моделювання його діяльності в процесі навігації та управління судном.

Імітаційна модель відображає раціональну послідовність дій судноводія на основі аналізу алгоритмів і структури його діяльності. Формальне подання моделі діяльності судноводія під час вирішення завдань навігації та керування судном містить:

- прокладання маршруту руху;
- контроль і оцінка ситуації під час руху;
- введення даних у навігаційні системи для вирішення завдання керування судном у процесі руху;
- безперервне управління;
- контроль і оцінка результатів своїх дій і дій екіпажу.

Аналізована діяльність судноводія піддається декомпозиції до окремих операцій. Для цього використано алгоритмічний спосіб опису просторово-часових і логічних характеристик діяльності судноводія. Детальне вивчення і розуміння процедури прийняття рішень судноводієм і його реалізація дасть змогу глибше зрозуміти й поліпшити процес його підготовки і, як результат, його діяльність у процесі керування судном.

Уявімо модель діяльності судноводія у вигляді орієнтованого графа (рис. 1.4, 1.5) [28, 99, 100].

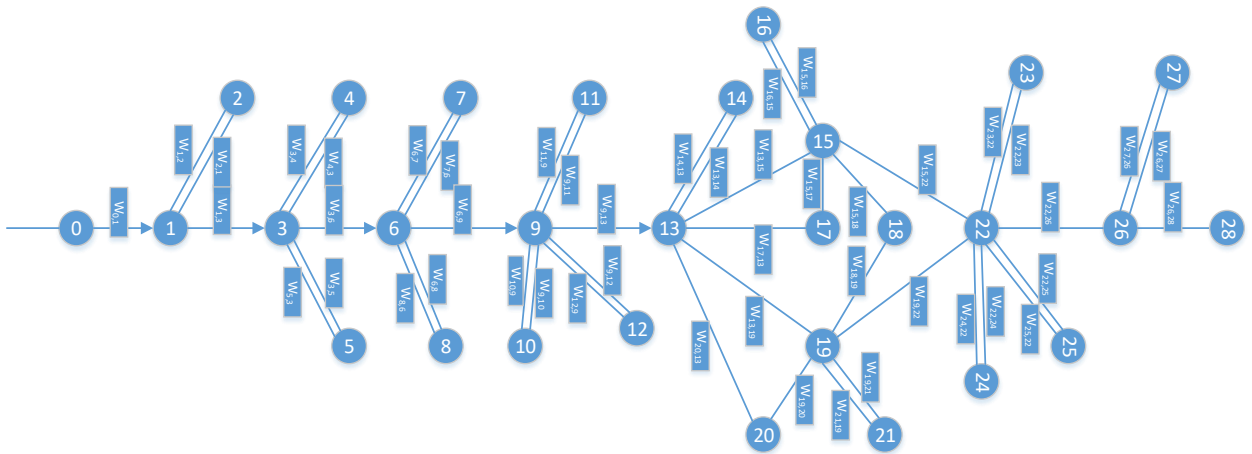


Рисунок 1.4 – Модель діяльності судноводія у процесі вирішення завдання керування судном

Джерело [розроблено автором на основі [28, 99, 100]]

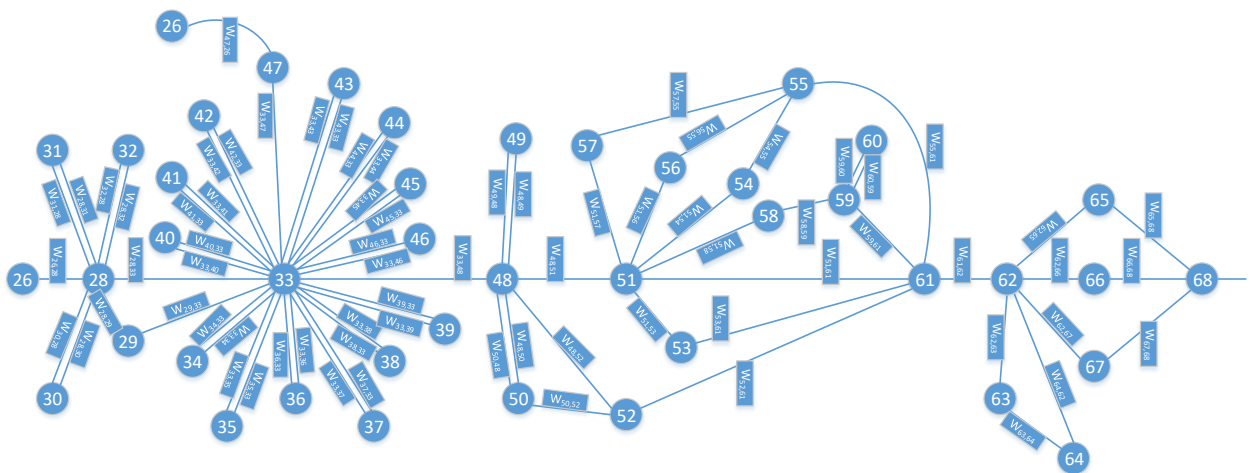


Рисунок 1.5 – Модель діяльності судноводія у процесі вирішення завдання керування судном (продовження)

Джерело [розроблено автором на основі [28, 99, 100]]

Визначимо зміст вершин цього графа, а також зміст і послідовність переходів між вершинами і занесемо їх до табл. 1.3, 1.4.

Таблиця 1.3 – Події, що характеризують діяльність судноводія під час керування судном

Джерело [розроблено автором на основі [28, 99, 100]]

Події	Зміст події
0	Визначення необхідності вирішення завдання керування
1	З'ясування задачі виконано
2	Помилки декодування інформації на засобах відображення
3	Оцінювання надводної обстановки виконано
4	Помилка ідентифікації суден та їхніх характеристик
5	Помилка визначення параметрів руху судна
6	Команду керування вироблено
7	Помилки введення команд через органи управління
8	Неточне визначення координат відміток на РЛС
9	Врахування інформації про рухомі судна виконано
10	Неправильне видавання повідомлень іншим суднам
...	...
22	Оцінювання кінцевих параметрів руху судна
23	Помилка у зчитуванні числового значення швидкості руху суден
...	...
30	Неправильний виклик довідкової інформації на екран
31	Помилки декодування аббревіатур, номерних повідомлень, кодів і шифрів команд у повідомленнях
32	Неправильний виклик курсової інформації на екран
33	Корекція параметрів курсу
34	Помилкові дії з корекції курсу судна (прив'язка за площинними координатами (X, Y))
...	...
47	Недостатній контроль за суднами в зоні плавання
48	Контроль зближення з іншими суднами
49	Неправильний виклик траєкторної та курсової інформації на екран
50	Недотримання заходів безпеки
51	Маневри виконано правильно
...	...
68	Контроль виконання команд

Таблиця 1.4 – Операції, що виконуються судноводіями

Джерело [розроблено автором на основі [28, 99, 100]]

Переходи між подіями	Дії, які виконує оператор під час переходу з одного стану в інший
$W_{0,1}$	Судноводій зчитував і декодував алфавітно-цифрову інформацію з екранів
$W_{1,2}$	Судноводій неправильно сприймає алфавітно-цифрову інформацію в повідомленні, що надійшло, яка відображається на екрані (або пропуск і неправильне сприйняття мовного повідомлення)
$W_{2,1}$	Судноводій використовує трафарети-підказки для декодування алфавітно-цифрової інформації
$W_{1,3}$	Судноводій визначає місце розташування суден їхню класифікацію та кількість у своїй зоні відповідальності
$W_{3,4}$	Судноводій неправильно визначив місце розташування інших суден
...	...
$W_{14,13}$	Судноводій повторно визначає місце розташування суден і їхні параметри
$W_{13,15}$	Судноводій використовує алгоритм маніпуляції органами управління
$W_{15,16}$ $W_{19,21}$	Судноводій не дотримується алгоритму маніпуляції органами управління
$W_{26,27}$ $W_{33,47}$	Судноводій виявляє нові судна у своїй зоні видимості
$W_{51,53}$	Судноводій пропустив операції в алгоритмі діяльності
$W_{65,68}$ $W_{66,68}$ $W_{67,68}$	Постановка завдань екіпажу

Розглянута модель діяльності судноводія формально задається так [22]:

$$P = |p_{ij}|; \quad (1.1)$$

$$T = |t_{ij}|, \quad (1.2)$$

де P – матриця ймовірностей переходів між подіями ij ;

T – матриця часу, що витрачається на роботу при переході від події i до події j ;

p_{ij} – ймовірність переходу від події i до події j ;

t_{ij} – час, що витрачається на перехід від події i до події j ;

$i = j = N$ відповідають кількості станів, в яких може перебувати судноводій.

На рис. 1.4, 1.5 значення p_{ij} і t_{ij} задані як w_{ij} , де $w_{ij} = (p_{ij}, t_{ij})$.

У наведеному графі вершини відповідають подіям, наприклад, «оцінка обстановки навколо судна виконана», «помилка визначення координат і параметрів руху судна». Ребрам відповідають імовірності переходу від однієї події до іншої і час, що витрачається на такий перехід.

Запропонована модель діяльності судноводія дає змогу оцінити час, що витрачається на вирішення різних завдань керування судном, помилки, що виникають у цьому процесі, і порядок їх усунення тощо. Основні операції, які виконує судноводій, являють собою сукупність послідовно виконуваних елементарних дій, час виконання яких є випадковою величиною.

Розроблення моделі діяльності судноводія у процесі вирішення завдань керування судном зводиться до операційного аналізу умов його діяльності.

Для оцінювання математичного сподівання часу вирішення завдань керування судном з урахуванням помилок, допущених судноводієм, і часу їхнього усунення достатньо знати апріорні оцінки ймовірності їхнього виникнення, а також мінімальні та максимальні значення часу вирішення часткових завдань судноводієм (t_1 і t_2).

Під час розроблення імітаційної моделі процесу діяльності судноводія кожній дузі графа поставлено у відповідність певне значення ймовірності переходу зі стану в стан, а також час виконання роботи для такого переходу. Для розрахунку часу перебування в цьому стані використано вираз (1.2).

Значення верхньої і нижньої меж часу перебування судноводія під час керування судном у різних станах отримано з досліджень, наведених у роботах [22, 100]. Згідно з цими даними, час перебування судноводія в різних станах може варіюватися в межах від кількох секунд до кількох хвилин, залежно від

складності навігаційної ситуації та рівня кваліфікації судноводія.

Для аналізу різного роду помилок у діях судноводія в імітаційній моделі виділено такі типи операцій:

- 1 – сприйняття і декодування знакової інформації;
- 2 – ідентифікація інформації про надводну обстановку;
- 3 – виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах;
- 4 – недотримання типового алгоритму діяльності на технічних засобах;
- 5 – прийняття рішення;
- 6 – ведення радіообміну;
- 7 – постановка завдань членам екіпажу.

Таке виокремлення типів операцій у моделі дасть змогу провести її більш повне і всебічне дослідження з урахуванням особливостей діяльності судноводіїв.

На підставі виділених типів операцій судноводіїв дослідимо витрати часу під час їх виконання та діяльність судноводіїв в умовах виникнення різних за складністю помилкових дій.

У запропонованій моделі як припущення й обмеження не встановлювали порядок і послідовність виконуваних дій і характер помилок у кожному елементі структури. Тому переходи між станами p_{ij} є рівноймовірними.

У запропонованій моделі нас цікавлять ті помилки, які можна виявити і мінімізувати у процесі проведення тренажерної підготовки. До них належать активні, змінні, постійні, оборотні, звичні, ситуативні та оптимізаційні. Помилки, пов'язані з недоліками спеціального програмного і математичного забезпечення та впливом людського фактору (наприклад, профвідбір, конструктивні помилки обладнання), розглядатися не будуть. Тоді переходи між подіями залежно від роду помилки будуть різними.

Розглянемо результати дослідження запропонованої моделі діяльності судноводія під час вирішення завдань керування судном.

Використовуючи розроблену модель, вдалося отримати оцінку часових витрат на виконання різного типу операцій, пов'язаних з окремими діями

судноводія. Результати проведених досліджень моделі діяльності судноводія наведені на рис. 1.6, 1.7.

Обробка результатів моделювання дала змогу визначити статистичні характеристики часу виконання операцій.



Рисунок 1.6 – Діаграма розподілу часу, що витрачається судноводієм у процесі керування судном (с)

Джерело [розроблено автором]



Рисунок 1.7 – Відносні витрати часу судноводієм у процесі керування судном
Джерело [розроблено автором]

З отриманих даних дослідження діяльності судноводія можна зробити висновок, що в усіх типах операцій здобувач освіти може припускатися помилок. При цьому розподіл часу, що витрачається на виявлення і виправлення помилок за типами операцій, наведено на рис. 1.8.

Так, на помилки сприйняття і декодування знакової інформації витрачається від 18 до 33 с, на помилки ідентифікації інформації про надводну обстановку – від 13 до 21 с, на помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах – від 33 до 40 с, на помилки прийняття рішення – від 10 до 13 с, на помилки ведення радіообміну – від 12 до 18 с.

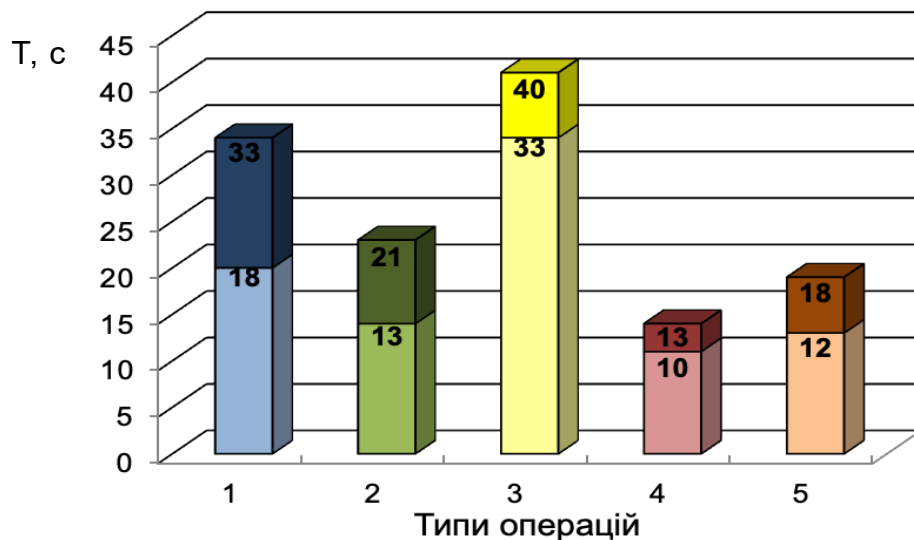


Рисунок 1.8 – Розподілу час, що витрачається на виявлення і виправлення помилок за типами операцій

- 1 – помилки сприйняття і декодування знакової інформації;
- 2 – помилки ідентифікації інформації про надводну обстановку;
- 3 – помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах;
- 4 – помилки прийняття рішення;
- 5 – помилки ведення радіообміну.

Джерело [розроблено автором]

Однак при цьому треба враховувати відносні витрати часу судноводієм у процесі вирішення завдання керування судном (див. рис. 1.7).

Отримані результати свідчать, що для різних типів операції найбільший час займає робота з отримання та декодування повідомлень із різних джерел. Але не варто нехтувати й іншими типами операцій, оскільки помилки, допущені під час виконання будь-якого типу операцій у процесі роботи, можуть призвести до тяжких наслідків.

Проведений аналіз діяльності судноводія дає змогу виявити помилки, які можуть виникати в процесі його діяльності під час виконання певного типу операцій, – процедурні, управління обладнанням і помилки зв'язку. Помилка відноситься до категорії помилок управління обладнанням, якщо судноводій неправильно взаємодіє з обладнанням та органами управління. Помилка є

процедурною, якщо судноводій неправильно використовує або реалізує будь-яку процедуру (маневрування, швартування, взаємодію з лоцманом тощо). Помилками зв'язку вважаються помилки під час взаємодії судноводія з іншими членами екіпажу, суднами, береговими службами тощо. Ці категорії помилок у роботі можуть бути мінімізовані тільки з використанням тренажерів.

На підставі виявлених помилок у процесі діяльності судноводія можна визначити подальші шляхи вдосконалення систем інформаційного забезпечення його тренажерної підготовки. Зокрема, можливе розроблення перспективних тренажерних комплексів з автоматизованою системою управління якістю підготовки операторів. Вона дасть змогу визначити ступінь підготовленості судноводія до роботи на реальному об'єкті.

1.4 Постановка завдання дослідження

Проведений аналіз діяльності судноводія під час керування судном у різних умовах дав змогу виокремити особливості його роботи, розкрити основні чинники, що можуть впливати на процес діяльності, та розкрити показники якості діяльності судноводія. До них належать часові, точностні та семантичні показники.

Тому під час проєктування тренажерів для підготовки судноводіїв з управління судном у різних умовах, мають бути реалізовані такі основні складові їхньої діяльності:

- умови роботи операторів;
- зовнішнє середовище функціонування суден у взаємодії з іншими об'єктами;
- навчання, контроль і оцінка дій операторів.

Аналіз процесу професійної підготовки судноводія виявив суттєву прогалину в розробці та проєктуванні перспективних тренажерних комплексів (систем) для професійної підготовки судноводіїв. Це пов'язано з тим, що

сучасні тренажерні комплекси не завжди відповідають вимогам і потребам судноводіїв, що може призвести до неефективної підготовки та зниження рівня безпеки на морі.

Зокрема, дослідження засвідчили, що наявні тренажерні комплекси не враховують останніх досягнень у галузі морської техніки, інформаційних технологій і психології, що може призвести до відставання від сучасних вимог і стандартів. Крім того, тренажерні комплекси часто не адаптовані до індивідуальних потреб судноводіїв, що може призвести до зниження ефективності навчання і незадоволеності судноводіїв.

Таким чином, необхідно розробити нові тренажерні комплекси, які враховуватимуть останні досягнення в галузі морської техніки, інформаційних технологій і психології, а також адаптовані до індивідуальних потреб судноводіїв. Це дасть змогу підвищити ефективність професійної підготовки судноводіїв і поліпшити рівень безпеки на морі.

Таким чином, наразі видається необхідним для підготовки судноводіїв розв'язати питання проектування і розроблення перспективних тренажерних систем на основі інтелектуальних інформаційних технологій.

Питання, пов'язані з розробленням автоматизованої підсистеми контролю операторської діяльності, наведені в роботах [92–94]. При цьому необхідні додаткові дослідження для створення систем професійної підготовки судноводіїв з урахуванням особливостей і обмежень.

У результаті проведених досліджень виявлено такі невирішені питання, що потребують подальшого вивчення:

1. Необхідно створити ефективний метод формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводіїв під час тренажерної підготовки. Цей метод дасть змогу розробити стратегію індивідуального або групового навчання і розрахувати прогноз здатності до навчання, що сприятиме підвищенню якості підготовки судноводіїв.

2. Потрібне розроблення методу формування інформаційного середовища навчання судноводіїв у тренажерних комплексах із

використанням ІТ. Цей підхід дасть змогу формувати початкові умови відображення елементів обстановки відповідної інформаційної моделі залежно від значень вхідної інформації та з урахуванням особливостей підготовки кожного оператора, що зробить процес навчання більш ефективним і персоналізованим.

3. Необхідно розробити метод оцінювання результатів діяльності судноводія під час тренажерної підготовки, що дає змогу інтегрально оцінити різні показники якості діяльності на основі статистичних даних. Цей метод забезпечить об'єктивність оцінювання якості підготовки і дасть змогу виробляти обґрунтовані рекомендації щодо подальшого розвитку і вдосконалення навичок судноводіїв.

Реалізація цих напрямів у розробленні автоматизованої підсистеми контролю діяльності на тренажері для професійної підготовки судноводіїв сприятиме підвищенню ефективності та оперативності вирішення завдань керування судном у різних умовах. Крім того, це дасть змогу розробити рекомендації для підвищення якості практичної підготовки судноводіїв. Результати проведених досліджень наведено в роботах [22, 23, 25, 27, 28, 130, 131].

Таким чином, сформулюємо загальний підхід проведення дисертаційних досліджень і представимо його у такому вигляді (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Загальна методика проведення дисертаційних досліджень

Джерело [розроблено автором]

Питання, пов'язані з вирішенням завдань формування набору індивідуальних тестових завдань та інформаційного середовища навчання судноводіїв, будуть розглянуті у другому розділі цієї роботи.

Третій розділ буде присвячено розробленню методу оцінювання результатів діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки.

У четвертому розділі будуть розглянуті питання щодо оцінки ефективності розроблених методів і вироблення рекомендацій щодо їх використання.

Висновки за першим розділом

Проведене дослідження діяльності судноводія під час вирішення завдань керування судном у різних умовах дозволило зробити такі висновки:

1. Автоматизація підвищила точність і ефективність керування судном. Однак, незважаючи на істотні поліпшення, людина залишається найслабшим місцем у цій системі. Аналіз діяльності судноводія свідчить про необхідність дослідження питань підвищення компетенцій керування судном.

2. На роботу судноводія впливають фактори, що ускладнюють процес його діяльності під час керування судном, – жорсткий ліміт часу, напружений психофізіологічний стан судноводія, неповнота, невизначеність, великий обсяг різнопланової інформації, необхідної для прийняття своєчасних рішень. Вплив цих чинників знижує часові, точностні та семантичні показники якості діяльності судноводія.

3. У результаті діяльності судноводія під час керування судном неминуче виникають помилки. У роботі визначено та досліджено помилкові дії судноводія, причини їх виникнення та характер їх наслідків. Помилкові дії судноводія під час керування судном зведено в три основні категорії: помилки керування обладнанням; процедурні помилки; помилки зв'язку.

4. Для підвищення якості підготовки судноводіїв до практичних дій з керування судном необхідні постійні тренування. Ефективним засобом професійної підготовки судноводія є тренажер. Він дає змогу відпрацювати початкові вміння та навички в керуванні судном і екіпажем, з метою навчання

створити всі можливі аварійні та критичні ситуації, з якими здобувач освіти може зіткнутися в подальшій практичній роботі, мінімізувати помилки та підвищити оперативність вирішення завдань управління.

5. Але під час проєктування тренажерів недостатньо уваги приділяють системі управління якістю підготовки операторів (підсистемі автоматизованого контролю операторської діяльності). Система, що розробляється, дасть змогу змінювати ситуації, вводити нові або додаткові умови, що ускладнюють керування об'єктом або створюють перешкоди, а також формувати вправи наростаючого рівня складності.

6. Для створення системи управління якістю підготовки необхідно дослідити процес діяльності судноводія. Його аналіз дав змогу виявити помилки в роботі судноводія та виділити помилки, які можна виправити в процесі теоретичної та тренажерної підготовки.

7. Розроблена модель діяльності судноводія дала змогу оцінити час, що витрачається на вирішення завдань управління судном, і помилки в його роботі, що виникають у процесі його діяльності. Це, своєю чергою, дало змогу визначити напрямки досліджень і перелік завдань, які необхідно вирішити при розробленні автоматизованої системи управління якістю підготовки судноводіїв:

- сформувати набір індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія в тренажерному комплексі;
- сформувати інформаційне середовище навчання в тренажерному комплексі підготовки судноводіїв;
- оцінити результати діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки.

Основні результати досліджень, наведені в першому розділі, опубліковано в статтях [22 – 23, 25], тезах доповідей [27 – 28, 30], звітах з науково-дослідної роботи [130 – 131].

РОЗДІЛ 2

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ СУДНОВОДІЇВ

Широкий діапазон умов плавання суден різних класів вимагає створення сучасної системи підготовки судноводіїв [89-93]. Провідну роль у ній мають відігравати тренажери, які використовують комплекси імітаційних моделей та забезпечують якісне управління підготовкою судноводіїв. Крім моделювання різноманітних умов плавання, наведений підхід дозволяє реалізувати імерсійне інформаційне середовище з елементами інклюзивного підходу для відпрацювання практичних завдань управління судном. Представлена система дозволяє коригувати індивідуальні програми навчання і визначати ступінь готовності здобувачів освіти до практичної діяльності в реальних умовах.

У розділі розглядається використання інтелектуальних методів управління інформаційним забезпеченням тренажерів для формування необхідних компетентностей професійної підготовки судноводіїв. Обґрунтовано використання критеріїв професійної компетентності для визначення рівня професійної підготовки судноводіїв. Запропонована система управління якістю підготовки судноводіїв відрізняється вхідним, проміжним і підсумковим контролем формування їх навичок або компетенцій. У процесі контролю з досить великого набору тестів, що відрізняються за ступенем валідності та вартістю їх проведення, необхідно сформувати набір тестів з певними властивостями. Вони повинні фіксувати та оцінювати дії здобувача освіти, його взаємодію з органами управління робочим місцем тренажера, логічні, операційні та часові помилки, повідомляти про дії здобувача освіти та пропонувати необхідні зміни до програми навчання.

Розроблено підхід до формування набору індивідуальних тестових завдань. Професійні компетенції судноводіїв описуються кортежем окремих критеріїв. Для перевірки ступеня впливу кожного з критеріїв обґрунтовано

вибір методів тестування з сукупності всіх можливих.

Для процедури відбору тестових методик формалізовані описи їх характеристик, а саме коефіцієнтів надійності і валідності та умовного коефіцієнта матеріальних витрат на реалізацію даної методики [101]. Розроблено процедуру багатокритеріальної оптимізації набору тестових методик за їх параметрами та проведено їх кластеризацію відповідно до компетентностей, що підлягають перевірці, необхідним та прийнятним матеріальним витратам. Для тестової групи здобувачів освіти був оцінений ступінь повноти виконання такої процедури, представлена модель взаємозв'язку між характеристиками тестових методик для перевірки ступеня вираженості професійних компетентностей судноводія.

Розроблено метод формування індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія. Порівняння поточного рівня підготовки здобувачів освіти із заданим дозволяє пропонувати структуру тренувального завдання. Для тренажерної підготовки судноводіїв розроблені структури інтелектуальної системи (ІС), методу ситуаційно-адаптивного формування інформаційного середовища з використанням апарату нечіткої логіки [96-98] та методу логічного виведення Ларсена [102, 103]. Для вибору варіанту відображення інформаційних елементів (ІЕ) було проведено нечітке моделювання в системі MATLAB [104]. Розроблено приклади формування початкових умов відображення елементів обстановки в районі плавання для спрощеної, простої та складної інформаційної моделі.

2.1 Розробка методу формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки

Однозначний взаємозв'язок між рівнем професіоналізму фахівця та якістю його тренажерної підготовки на практиці підтверджується зростанням потенціалу системи «судноводій-екіпаж-судно». Ключова роль у процесі

набуття професійної компетентності судноводія відводиться використанню технологій ШІ в АСУ якістю підготовки судноводія [22, 28, 29].

Компетенція – це сукупність взаємопов'язаних знань, умінь, навичок і способів діяльності фахівця, що забезпечують якісну продуктивну діяльність по відношенню до певних предметів і процесів. Наявність й особисте ставлення фахівця до відповідної компетенції і предмету діяльності називається компетентністю [105].

Професійна теоретична і практична підготовленість, спроможність вирішувати виконавські і творчі завдання на судні, виконання прямих службових обов'язків, ціннісні орієнтації, особистісні якості і практичні навички складають професійну компетентність судноводія [106].

Рівень професійної підготовки судноводіїв в процесі тренажерної підготовки оцінюється за багатьма критеріями професійної компетентності – обсягом, якістю і міцністю засвоєння знань, умінь і навичок, мотивацією і активністю судноводія, якістю виконання професійно-орієнтованих завдань [83].

Багатокритеріальна оцінка рівня професійної підготовки судноводія дозволяє сформувати стратегію індивідуального або групового навчання і спрогнозувати результат. Це досягається шляхом створення автоматизованої системи управління якістю підготовки (практичної і теоретичної) судноводіїв у складі тренажерних комплексів (рис. 2.1) [87-96].

Запропонована система передбачає вхідне, проміжне та підсумкове тестування здобувачів освіти. Тестування та оцінювання результатів навчання – це складний процес, одним з основних етапів якого є підбір та узгодження тестів між собою. При цьому необхідно також враховувати особистісні характеристики судноводіїв, їх попередній досвід, складність вирішуваних завдань і представлених тестів, валідність тестів до характеристик і завдань, що тестуються. У роботах [107, 108] окремо вивчені перелік і враховані властивості тестів, їх взаємний вплив на процес навчання.

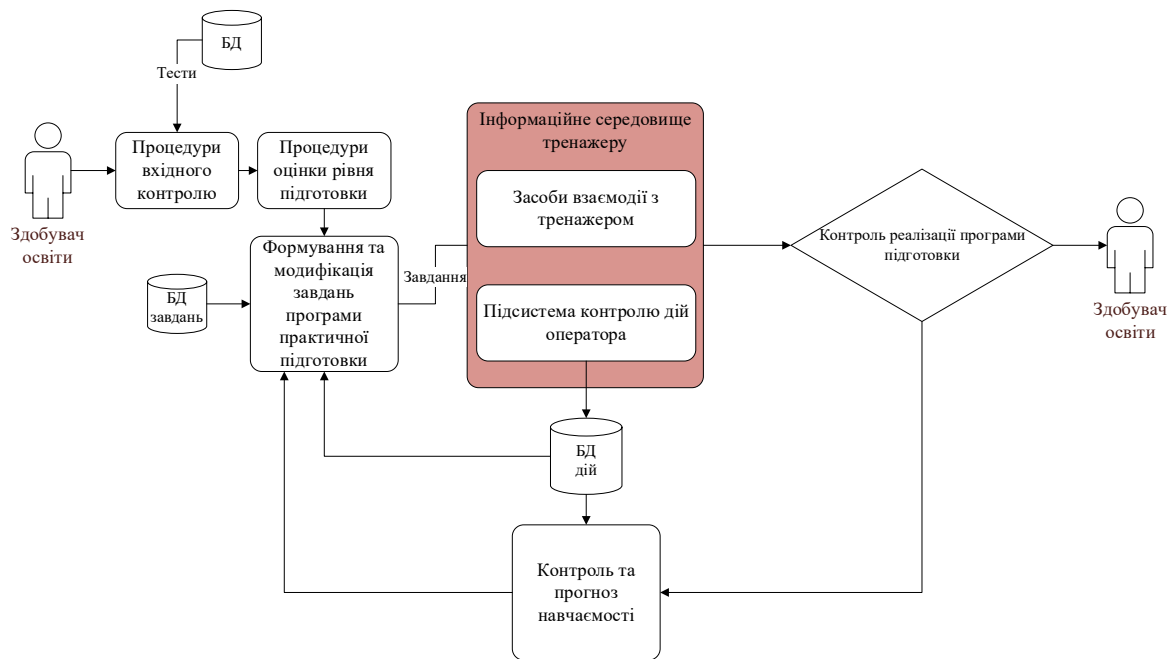


Рисунок 2.1 – Структура моделі управління якістю підготовки судноводія на тренажері

Джерело [розроблено автором]

Розглянемо етапи контролю за діяльністю здобувачів освіти у процесі тренажерної підготовки. На початку контролюється послідовність, часові характеристики і відповідність дій судноводія вирішуваному практичному завданню у процесі взаємодії здобувачів з органами управління тренажером.

Представимо детально формалізацію процесу управління формуванням індивідуальних завдань для перевірки заданих характеристик судноводія.

Нехай у базі даних (БД) зберігається інформація про професійні компетенції судноводія, які він повинен набути в процесі навчання – $Vd = \bigcup_{i=1}^n \beta_i$.

Кожній компетенції поставимо у відповідність набір характеристик, описаних кортежем критеріїв, розроблених автором:

$$\beta_i = \{\chi_{i_1}, \chi_{i_2}, \dots, \chi_{i_k}\}. \quad (2.1)$$

Тоді $X = \bigcup_{j=1}^m \chi_j$ – множина, що складається з кортежів з характеристиками професійних компетенцій.

Метою тестування є виявлення ступеня реалізації критеріїв при формуванні компетенції. Однак один і той самий критерій може бути перевірений різними тестами (наборами тестів). Кожен тест (набір тестів) характеризується точністю і повнотою визначення характеристик судноводія.

Нехай τ^{χ_j} – тест (набір тестів), необхідний для оцінки реалізації критерію компетентності χ_j ; τ^{β_i} – тест (набір тестів), необхідний для оцінки ступеня реалізації компетентності; $T_X = \bigcup_{j=1}^m \tau^{\chi_j}$ – множина тестів (наборів тестів), які здатні перевіряти окремі критерії із заданими рівнями точності та повноти; $T_{Bd} = \bigcup_{i=1}^n \tau^{\beta_i}$ – множина тестів (наборів тестів), які можуть перевірити індивідуальні професійні компетенції діяльності судноводія.

Тоді вся множина тестових методик представляється у вигляді:

$$T = \langle T_X, T_{Bd} \rangle. \quad (2.2)$$

Нехай є деяка тестова методика τ . Тоді $X_\tau = \{x_{\tau_1}, x_{\tau_2}, \dots, x_{\tau_{k_t}}\}$ – множина критеріїв, а $Bd_\tau = \{b_{\tau_1}, b_{\tau_2}, \dots, b_{\tau_{n_t}}\}$ – множина професійних компетенцій діяльності судноводія, які потрібно перевірити з використанням тесту (набору тестів). Задаючи кількість k_t критеріїв, які можуть бути перевірені за допомогою тесту (набору тестів) τ , і кількість n_t професійних компетенцій судноводія, які можуть бути перевірені за допомогою τ , можна формально задати процес вибору τ :

$$\tau = \left\{ \chi_{\tau_1}, \chi_{\tau_2}, \dots, \chi_{\tau_{k_t}}, \beta_{\tau_1}, \beta_{\tau_2}, \dots, \beta_{\tau_{n_t}} \right\}. \quad (2.3)$$

Здатність тесту виявляти й оцінювати ту характеристику, для якої він розроблений, оцінюється валідністю, коефіцієнт якої перебуває в діапазоні від 0 до 1. Різні поєднання тестів впливають на коефіцієнт валідності один одного, що слід враховувати під час вибору тестів для оцінювання характеристик професійних компетенцій [4, 29]. Звідси випливає парадоксальний висновок, що жоден тест або їхній набір не відповідають на запитання про повноту реалізації характеристики. Це положення також слід враховувати під час вибору тестів або їхньої множини для оцінювання характеристик компетенцій.

Для оцінювання якості тесту (наборів тестів) опишемо ймовірність ρ визначення тієї чи іншої компетенції або сукупності компетенцій із заданим рівнем якості за допомогою обраної методики. Дана характеристика є постійною і встановлює залежність між коефіцієнтом прогностичної (поточної) валідності Λ та оцінкою надійності тесту H (набору тестів) даної методики [107, 108]:

$$\rho = \Lambda \cdot H. \quad (2.4)$$

При виборі способу представлення коефіцієнта валідності враховується можливість досягнення компетенції судноводія з оцінкою надійності тесту H .

Представимо узагальнену структурну модель тестової методики як:

$$M_\tau = \langle X_\tau, Bd_\tau, H_\tau, \Lambda_{\chi_\tau}, V_{b_\tau}, R_\tau \rangle, \quad (2.5)$$

де: V_{b_τ} – коефіцієнт валідності даного тесту (наборів тестів) за окремою професійною компетенцією;

$R_\tau = (r_1(\tau), r_2(\tau), \dots, r_k(\tau))$ – необхідні ресурси для реалізації процесу

тестування на підставі обраних тестів або їхніх наборів.

Запропонований формальний опис характеристик професійних компетенцій і відповідних тестів (наборів тестів) для їхнього діагностування дає змогу автоматизувати процес їхнього добору з урахуванням взаємного впливу фактору валідності тестів та їхніх наборів і обмежень, які накладаються на ресурсне забезпечення тестування. При цьому приймемо таке припущення: всі тести виконуються послідовно, а необхідні ресурси використовуються наростаючим підсумком.

Тоді модель тестування на основі відібраних тестів (наборів тестів) представимо кортежем:

$$Q_{\bar{\tau}} = \langle \bar{\tau}, X_{\bar{\tau}}, H_{\bar{\tau}}, Bd_{\bar{\tau}}, P_{\bar{\tau}}, V_{\chi_{\bar{\tau}}}, V_{\beta_{\bar{\tau}}}, R_{\bar{\tau}} \rangle, \quad (2.6)$$

де: $\bar{\tau}$ – множина обраних тестів; $X_{\bar{\tau}}$ – набір критеріїв, що перевіряються за результатами застосування множини обраних тестів $\bar{\tau}$, що спричиняє їхнє неминуче коригування через надмірність оцінок і перетину результатів тестів;

$H_{\bar{\tau}}$ – оцінки надійності набору тестових методик – $H_{\bar{\tau}} \in [0;1]$;

$Bd_{\bar{\tau}}$ – перелік професійних компетенцій судноводія, оцінюваних системою;

$P_{\bar{\tau}}$ – вектор оцінок імовірностей точного визначення заданих критеріїв за допомогою тестів;

$V_{\chi_{\bar{\tau}}}$ – коефіцієнт валідностей кожної професійної компетенції, що враховує значення валідностей усіх наборів тестів за кожною з професійних компетенцій судноводія;

$V_{\beta_{\bar{\tau}}}$ – вектор коефіцієнтів валідностей за кожним із критеріїв, розрахований на підставі валідностей усіх методик набору за кожним із критеріїв, змінюється від 0 до 1;

$R_{\bar{\tau}}$ – набір множини ресурсів, необхідних для реалізації заданого набору тестів, $R_{\bar{\tau}} = (L, T, S)$, де: L – оцінка застосовності для кожного тесту (набору)

– $L \in [0;100]$; T – оцінки часових витрат на реалізацію тесту (набору тестів); вони є адитивними і складаються з часів проведення кожного тесту; S – фінансові витрати на проведення тесту (набору тестів).

Зазначені обставини дають змогу доволі просто розрахувати загальний коефіцієнт надійності набору тестів за обов'язкового послідовного застосування їх до об'єкта, що тестується.

Тоді коефіцієнт надійності G_{τ}^{-} всього набору тестів Q_{τ}^{-} дорівнює добутку коефіцієнта надійності g_{τ} кожного тесту [132]:

$$G_{\tau}^{-} = \prod_{\tau=1}^n g_{\tau}. \quad (2.7)$$

Таким чином, професійний портрет A судноводія можна представити набором професійних компетенцій $B(A)$, описуваних набором критеріїв $X(A)$.

Якщо коефіцієнт валідності професійного портрета A дорівнює $V(A, \bar{\tau})$, а сам портрет представлений за допомогою набору тестів, що описують відповідні характеристики $\bar{\tau}$, то задача безумовної оптимізації максимізації валідності професійного портрета A судноводія відносно потрібного портрета, згідно з [22, 108], має вигляд:

$$\max_{\bar{\tau}, X(A) \subset X_{\bar{\tau}}^{-}} V(A, \bar{\tau}), \quad (2.9)$$

а критерій максимізації валідності при накладанні обмеження на ресурси визначаються за виразом:

$$\max_{\bar{\tau}, X(A) \subset X_{\bar{\tau}}^{-}} v(A, \bar{\tau}) : r_1(\bar{\tau}) \leq r_1, \dots, r_k(\bar{\tau}) \leq r_k, \text{ для всіх } i = 1, 2, \dots, k. \quad (2.10)$$

На базі запропонованої моделі розроблено комплекс взаємопов'язаних

оптимізаційних задач глобальної й умовної оптимізації. Це дає змогу перейти до розроблення алгоритмів розв'язання задачі вибору тестів (наборів тестів) із виявлення ступеня реалізованості характеристик професійних компетенцій судноводія з урахуванням ступеня їхньої вираженості, валідності тестів і необхідних матеріальних витрат (рис. 2.2).

Приклад постановки задачі вибірки тестових методик.

Нехай існує задана множина тестових методик \bar{t} (таблиця 2.1). Необхідно виконати вибірку k ($k = \text{const}$) тестів із множини $\bar{\tau}$ методик для знаходження максимуму функції $\max F(A)$, яка задана в такому вигляді:

$$F(A) = \sum_{i=1}^k H_i + \sum_{i=1}^k V(x_{\tau_i}) + \sum_{i=1}^k L_i - \sum_{i=1}^k T_i - \sum_{i=1}^k S_i \rightarrow \max \quad (2.10)$$

при обмеженнях.

Середнє значення коефіцієнтів валідностей тесту (наборів тестів) за кожною професійною компетенцією виражається виразом: $\overline{V_{Bd_{\tau}}} = (V(b_{\tau_1}), V(b_{\tau_2}), \dots, V(b_{\tau_n}))$; середнє значення коефіцієнтів валідностей даного тесту (наборів тестів) за кожним критерієм професійної компетенції, що перевіряється можна визначити виразом: $\overline{V_{\chi_{\bar{\tau}}}} = (V(\chi_{\bar{\tau}_1}), V(\chi_{\bar{\tau}_2}), \dots, V(\chi_{\bar{\tau}_t}))$.

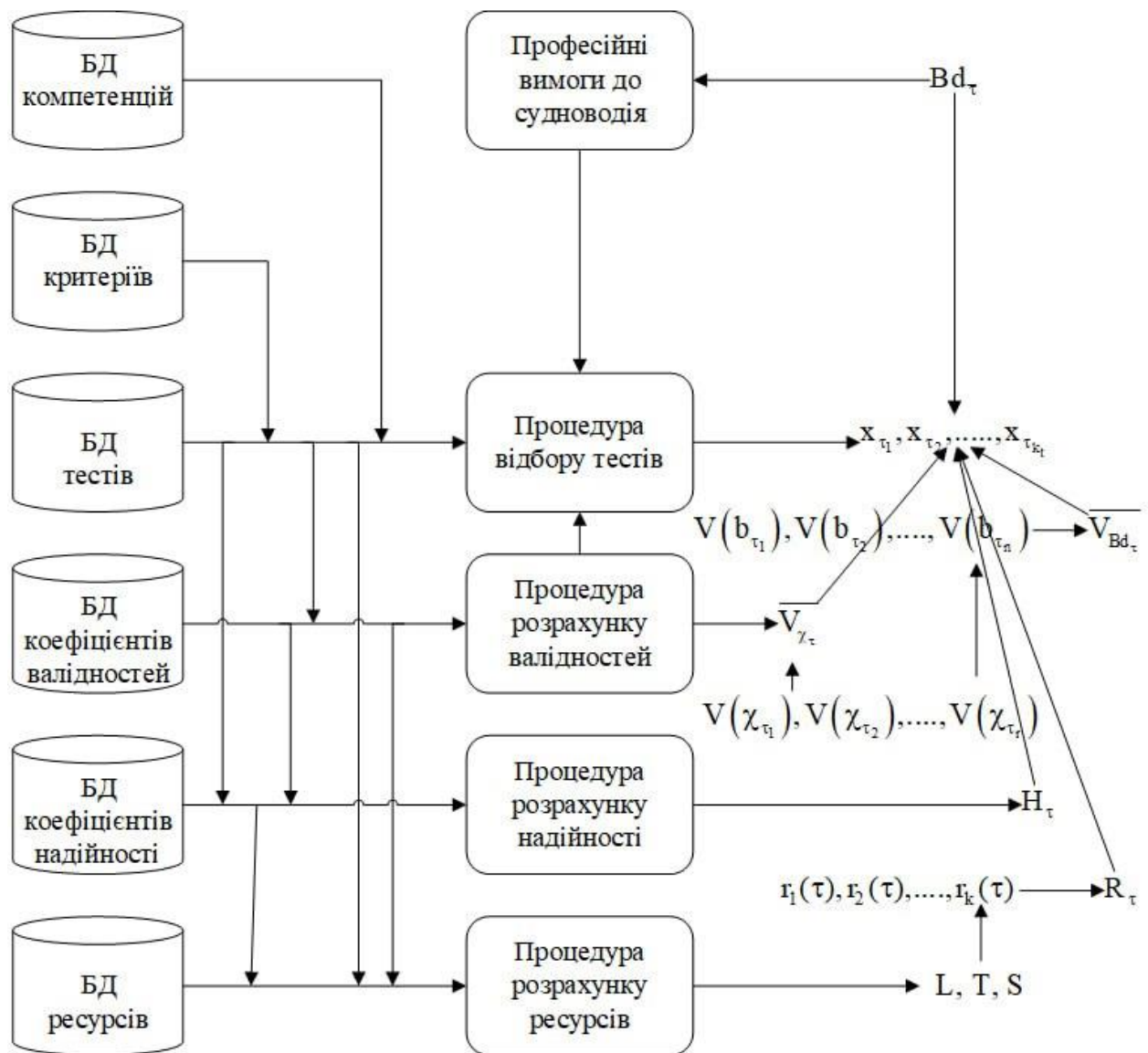


Рисунок 2.2 – Модель взаємозв'язку характеристик тестових методик для перевірки ступеня вираженості професійних компетенцій судноводія

Джерело [розроблено автором]

$$\sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} L_i \geq L_{\text{зад}}; \sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} T_i \leq T_{\text{зад}}; \sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} S_i \leq S_{\text{зад}}; \sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} V(x_{\tau_i}) \geq \sum_{i=1}^{k_{\text{зад}}} V(b_{\tau_i}).$$

Для знаходження максимуму функції (2.10) проведемо нормалізацію змінних таблиці 2.1 за стовпчиками.

Таблиця 2.1 – Приклад множини тестових методик з їхніми характеристиками

Джерело [розроблено автором]

№ з/п	τ	H	$\overline{V_{x_{\tau}}}$				$\overline{V_{b_{\tau}}}$				R		
			x_{τ_1}	x_{τ_2}	...	x_{τ_r}	b_{τ_1}	b_{τ_2}	...	b_{τ_n}	L	T	S
1.	1	0,1	0	0,7		0,45	0,93	0,60		0,29	10	12	4
2.	3	0,24	0,29	0,56	...	0,42	0,86	0,53	...	0,18	54	23	7
3.	3	0,9	0,79	0,87	...	0,09	0,64	0,49	...	0,70	34	5	6
4.	4	0,2	0,79	0,12	...	0,54	0,36	0,66	...	0,67	100	10	8
5.	5	0,99	0,84	0,00	...	0,41	0,91	0,52	...	0,91	12	56	98
6.	6	0,4	0,36	0,79	...	0,50	0,82	0,39	...	0,74	69	25	5
7.	7	0,3	0,16	0,65	...	0,34	0,77	0,05	...	0,86	95	12	13
8.	8	0,6	0,79	0,22	...	0,21	0,28	0,67	...	0,68	34	60	4
...
100.	M	0,5	0,79	0,99	...	0,80	0,88	0,29	...	0,28	57	78	10

Час розв'язання задачі при відборі 3-х тестів із 10 становив 0,0082 с; при відборі 3-х тестів зі 100 – 5,98 с; при відборі 3-х тестів із 200 – 49,98 с.

Для скорочення часу розв'язання можливе розбиття простору пошуку на менші блоки або використання засобів розпаралелювання процесу розв'язання. Однак на практиці необхідність вибору порівняно невеликої кількості тестів із набору в більш ніж 100 виникає рідко.

На рис. 2.3 наведено структуру методу автоматизації процесу вироблення рішень з управління тестуванням здобувача освіти з урахуванням взаємозв'язку характеристик аналізу та їхнього взаємного впливу.

Метод автоматизації процесу вироблення рішень з управління тестуванням здобувача освіти на кожному з етапів підготовки дає змогу постійно контролювати рівень підготовки та динаміку її розвитку. Порівняння поточного рівня підготовки судноводіїв із заданим дозволяє системі планувати стратегію навчання з подальшим розрахунком прогнозу здатності до навчання. Якщо поточний рівень підготовки не нижчий за заданий, то здійснюється

перехід до наступного етапу тренування (нова вправа або ускладнення умов її виконання). В іншому разі відбувається повторне відпрацювання завдання, часто зі зміною структури або спрощенням умов його виконання.

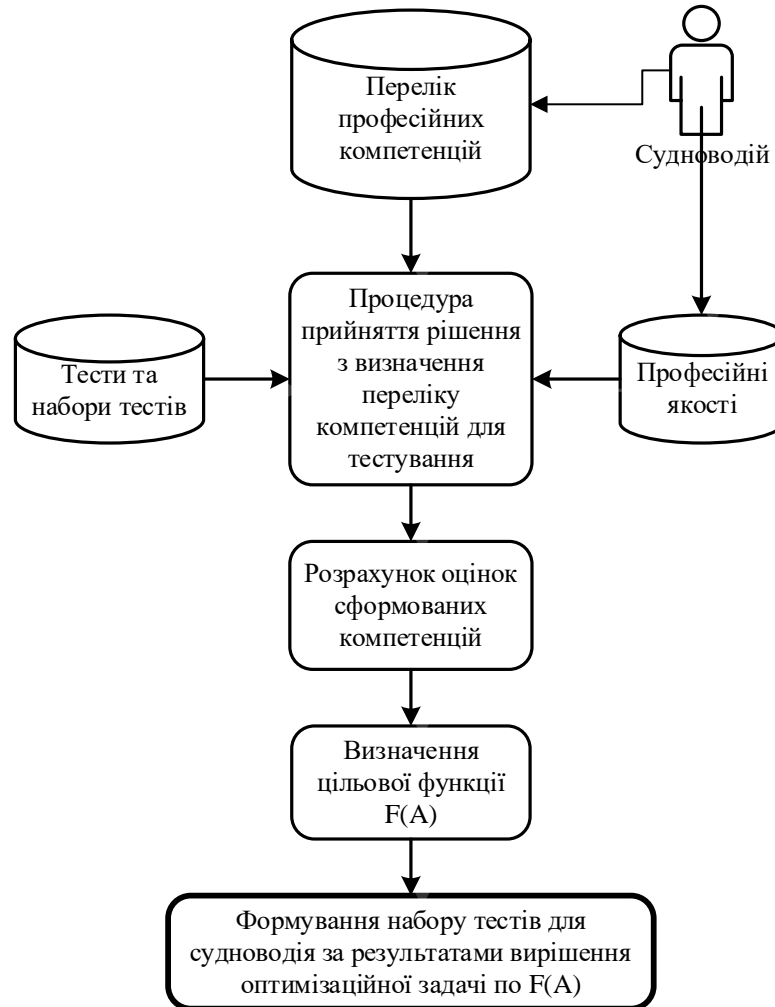


Рисунок 2.3 – Структура методу формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки
Джерело – [розроблено автором]

Для цього в перспективних тренажерах, побудованих із використанням ІТ, створюють інтерактивне та/або адаптивне середовище навчання, що забезпечує практичну підготовку судноводія для всього спектра вирішуваних завдань. Тому подальшим напрямком досліджень є формування інформаційного середовища навчання судноводія на тренажері з включенням модуля модифікації умов на підставі даних фактичного рівня підготовки здобувача освіти.

2.2 Розробка методу відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу

Результатом оцінювання рівня підготовки здобувача освіти і розроблення для нього навчальної стратегії є етап синтезу адаптивного інформаційного оточення для навчання судноводіїв на тренажері. Адаптивність означає врахування особливостей вирішуваних завдань, рівня підготовки та індивідуальних успіхів (невдач) у навчанні.

З набуттям судноводієм необхідних навичок тренажерний комплекс змінює (ускладнює) інформаційне середовище навчання. Зміна параметрів обстановки у широких діапазонах сприяє формуванню у судноводіїв стійких адаптивних навичок, що дають змогу приймати адекватні рішення у складних непередбачуваних умовах обстановки і грамотно виконувати посадові обов'язки на практиці. Також це дозволяє здійснювати еволюційний рух здобувача освіти від порівняно простого до складнішого й оптимізувати обсяг надаваної інформації на різних етапах підготовки [91].

Тому сучасні тренажери мають закладену функцію досить повно відтворювати всі ключові етапи діяльності судноводія під час керування реальними суднами в різних умовах [89, 91, 92]:

- виявлення і розпізнавання об'єкта;
- ідентифікація об'єкта;
- прийняття рішення;
- реалізація рішення;
- перевірка виконання прийнятого рішення.

Ефективне формування та відточування професійних умінь і навичок судноводіїв під час тренажерної підготовки базується на ретельному аналізі всіх етапів їхньої діяльності. Інформаційна модель має відтворювати умови настільки реалістично, щоб візуальні та слухові відчуття, вестибулярні та рухові реакції здобувача освіти повністю відповідали реальним [109, 110].

Тільки це дозволить перенести набуті на тренажері навички керування

справжнім судном у реальних умовах плавання, а тренажерна підготовка стане ефективним інструментом формування справжнього професіоналізму судноводіїв. Отже, необхідно детально відтворювати всі елементи реального судноводіння – від сприйняття навколишньої обстановки до виконання необхідних маніпуляцій на пульті керування. Тому першочерговим завданням тренажерної підготовки судноводіїв є розробка гнучкого інтелектуального середовища, що дає змогу адаптивно керувати освітнім процесом, а саме:

- формувати інформаційне оточення здобувача освіти;
- змінювати ситуації та ускладнювати умови виконання завдань;
- створювати перешкоди і проблеми в управлінні судном;
- вибудовувати вправи за наростаючою складністю.

Навички судноводія необхідно ранжувати за ступенем важливості, а характер практичних завдань – індивідуалізувати з урахуванням рівня підготовки здобувача освіти і націленості на розвиток саме його професійних компетенцій [40, 52, 106].

Досвід розроблення тренажерів для різних предметних областей свідчить, що найкращих результатів під час реалізації адаптивної системи навчання вдається досягти за використання елементів нечіткої логіки [6, 7, 17, 96, 99, 108]. Використання в технічних системах нечіткого моделювання дає змогу більш натуралістично відображати реальні процеси, що протікають, порівняно з традиційними аналітичними моделями керування. Нечіткі моделі дозволяють гнучко керувати інформаційним середовищем тренажера, безперервно підлаштовуючи його складність під поточні можливості здобувача освіти. Це дає змогу максимально ефективно використовувати час тренувань і домагатися формування стійких навичок.

Отже, застосування інтелектуальних адаптивних технологій у тренажерних комплексах для підготовки судноводіїв дає змогу вивести цей процес на якісно новий рівень, забезпечуючи індивідуальний підхід до кожного здобувача освіти, і підвищити ефективність тренувального процесу.

Специфіка діяльності судноводія визначається тим, що він позбавлений

можливості цілком безпосередньо спостерігати за станом керованого об'єкта й елементами обстановки і змушений користуватися інформацією, що надходить до нього різними каналами та лініями зв'язку. Тобто, судноводій має справу зі змішаною інформаційною моделлю об'єкта управління та елементами реальної надводної обстановки [90, 108, 110]. Тому тренажер має забезпечити штучне натуралістичне відтворення умов і чинників у процесі роботи судноводія під час керування реальним об'єктом.

Сучасні ІТ дозволяють створювати реалістичні моделі, що максимально точно імітують реальні процеси керування і забезпечують їхню гнучку адаптацію до рівня підготовки та дій здобувачів освіти. Інтелектуальні тренажерні комплекси задають необхідний склад, темп оновлення і спосіб подання інформації, гнучко підлаштовуючись під індивідуальні або групові особливості здобувача освіти й обрану стратегію навчання [93].

Застосування ІТ у тренажерних комплексах судноводіння дає змогу максимально наблизити віртуальне середовище до реальних умов плавання. Гнучке управління інформаційним наповненням тренажера дозволяє безперервно адаптувати складність вправ під поточний рівень підготовки здобувача освіти, домагаючись стійкого формування необхідних професійних навичок. Таким чином, інтелектуальні тренажерні комплекси стають ефективним інструментом підготовки висококваліфікованих судноводіїв.

Для вибору на навчальному автоматизованому робочому місці (АРМ) початкових умов відображення ІЕ, що імітують надводну обстановку й об'єкт керування, створимо інтелектуальну систему (ІС) (рис. 2.4) [24].

В умовах нестохастичної невизначеності, високої динаміки зміни надводної обстановки прийнятним є використання інтелектуальних ІТ, що являють собою сукупність прийомів, способів і методів виконання функцій зберігання, оброблення, передавання й використання знань. Розглянемо процес формування інформаційного середовища навчання судноводіїв у процесі тренажерної підготовки.

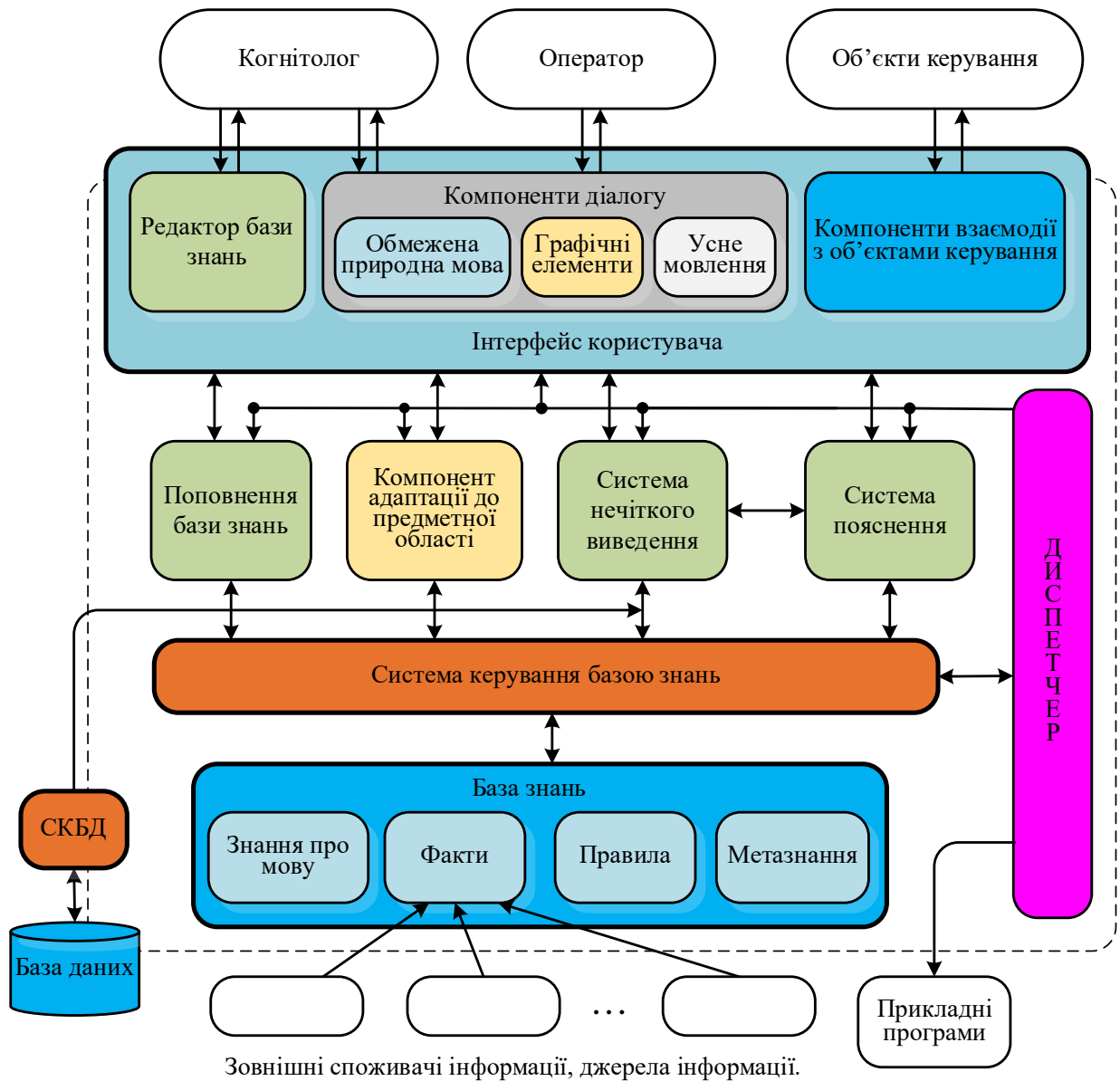


Рисунок 2.4 – Структура інтелектуальної системи

Джерело [розроблено автором]

Початковими даними для ІС є перелік вправ відповідно до програми підготовки, рівень підготовки судноводія і набір підготовлених сценаріїв виконання вправ у вигляді певних значень параметрів судна, силової установки, маневрених характеристик, елементів надводної та навігаційної обстановки. Дані є основою блоків «Основні завдання» і «Фактори ситуації».

На підставі початкових даних ІС формує варіант інформаційної моделі та умови відображення елементів обстановки. Дані з виходу ІС надходять на модуль імітаційного моделювання (блоки моделювання руху судна, роботи

РЛС та елементів навколишнього середовища), де зчитується обраний сценарій вправи та моделюються всі вказані елементи (рис. 2.5) [24].

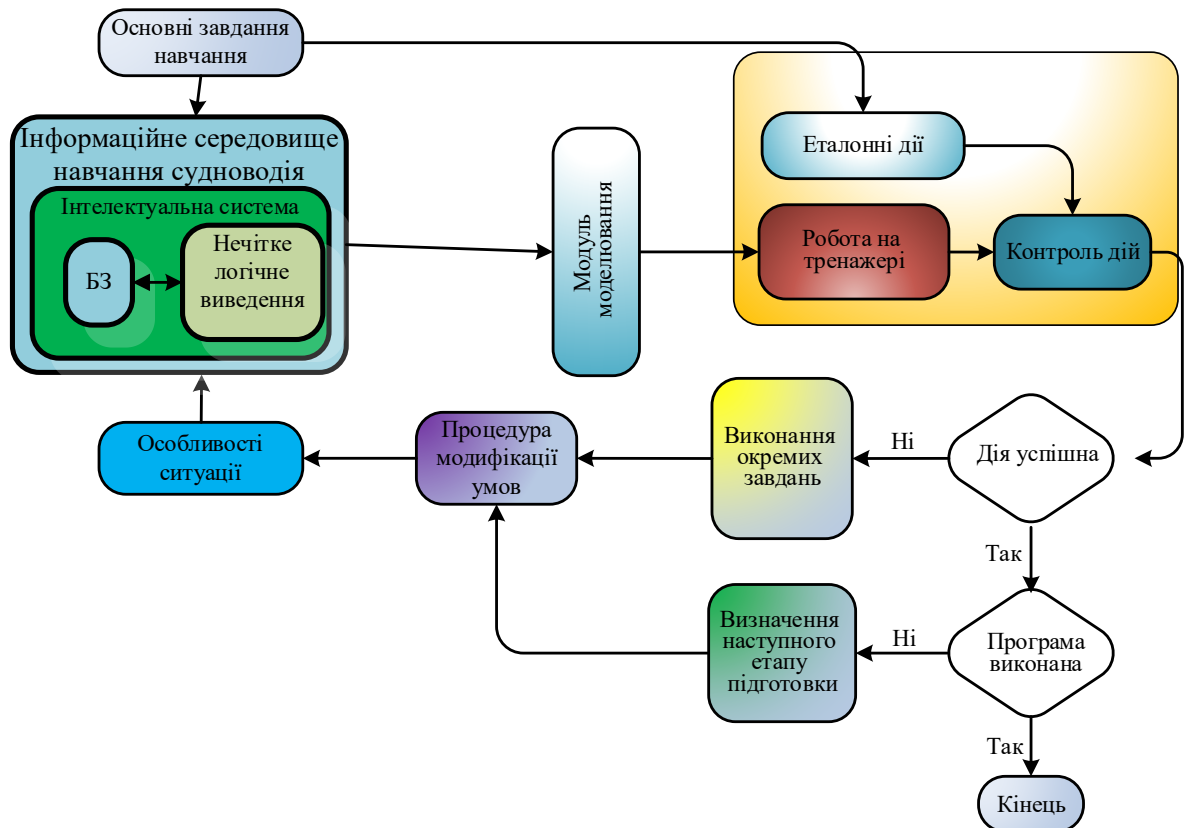


Рисунок 2.5 – Структура системи ситуаційного адаптивного формування інформаційного середовища навчання судноводія в процесі тренажерної підготовки

Джерело – [розроблено автором]

Після відпрацювання дій судноводія на тренажері проводять їхній ретельний контроль і аналіз для оцінювання відповідності його дій вимогам виконаних завдань, виявлення причин помилок або недостатньої підготовки. Такий аналіз також допоможе визначити ступінь готовності того, хто навчається, до роботи в реальних умовах і момент, коли він може переходити до відпрацювання наступного тренувального завдання [80, 81, 83].

Інтелектуальна система формує три варіанти інформаційної моделі – y_1 = «спрощена», y_2 = «проста», y_3 = «складна», які відрізняються порогоми віднесення до кожної ситуації і подаються множиною початкових умов відображення елементів надводного оточення $y_i = \{d_1, d_2, \dots, d_8\}$, $i=1, 2, 3$., де

d_1, d_2 – лінгвістичні значення виходів.

Пороги віднесення відрізняють кожну модель за значення лінгвістичних змінних у результаті обробки яких судноводієві надається інформаційна модель, що відрізняється ступенем складності враховуваних ситуацій, навігаційних та лоцманських умов, щільністю судноплавства, умовами видимості тощо.

Основними компонентами інтелектуальної системи є база знань (БЗ), призначена для формального представлення практичних і нормативних знань або знань експертів, і підсистема нечіткого виведення (НВ).

База знань являє собою кінцеву множину правил нечітких продукцій:

ПРАВИЛО_1:

IF $a_1=A_{1,1}$ AND $a_2=A_{2,1}$ AND $a_3=A_{3,1}$ AND $a_4=A_{4,1}$ AND $a_i=A_{i,1}$ THEN $y=d_1$
ELSE

ПРАВИЛО_2:

IF $a_1=A_{1,2}$ AND $a_2=A_{2,2}$ AND $a_3=A_{3,2}$ AND $a_4=A_{4,2}$ AND $a_i=A_{i,2}$ THEN $y=d_2$

(2.13)

ELSE

...

ПРАВИЛО_n:

IF $a_1=A_{1,n}$ AND $a_2=A_{2,n}$ AND $a_3=A_{3,n}$ AND $a_4=A_{4,n}$ AND $a_i=A_{i,n}$ THEN $y=d_n$
ELSE.

Процес НВ, базуючись на ключових поняттях теорії нечітких множин – функція приналежності (ФП), лінгвістична змінна, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації та нечіткої композиції [97], є алгоритмом отримання підсумкових виведень на основі нечітких умов і правил нечіткої логіки.

В умовах невизначеності, коли початкові дані та правила є неточними, для прийняття рішення з управління складними системами, поведінку яких важко описати точними математичними моделями, використовують НВ. Відомі процедури нечіткого виведення Мамдані, Такагі-Сугено, Ларсена,

Цукамото та ін. [97, 98, 102, 103].

В інтелектуальних тренажерних комплексах нечітке логічне виведення використовується для гнучкого управління інформаційним середовищем навчання у реальному часі. Оптимальні параметри відображуваної ситуації визначаються поточними діями здобувачів освіти, і правилами з БЗ. Безперервна синхронізація складності тренувальних завдань і рівня підготовки кожного судноводія дає змогу досягти максимальної ефективності навчання.

Алгоритми логічних виведень принципово відрізняються наявністю нечіткостей у правих або лівих частинах правил. Так, у нечіткій моделі Мамдані використовують набір лінгвістичних правил, отриманих від експерта, що містять у консеквентах нечіткі змінні [111].

Розглянемо модель Мамдані, що містить правила вигляду

$$\text{IF } a_1=A_{1,1} \text{ AND } a_2=A_{2,1} \text{ THEN } y=d_1 \text{ ELSE,} \quad (2.14)$$

$$\text{IF } a_1=A_{1,2} \text{ AND } a_2=A_{2,2} \text{ THEN } y=d_2, \quad (2.15)$$

де a_1, a_2 – входи;

y – вихід;

$A_{1,1}, A_{2,1}, A_{1,2}, A_{2,2}$ – лінгвістичні значення входів;

d_1, d_2 – лінгвістичні значення виходів.

Перший індекс при лінгвістичних значеннях входів означає номер входу, другий індекс – номер правила. Лінгвістичні значення виходу мають один індекс, який є номером правила. Графічна ілюстрація процедури нечіткого виведення Мамдані наведена на рис. 2.6.

Ступінь виконання правил (w_i) обчислюється як:

$$w_i(a_1, \dots, a_{n_x}) = \bigwedge_{j=1}^{n_a} \mu_{i,j}(a_j), \quad i = \overline{1, n_R}, \quad (2.16)$$

де \wedge – нечітка операція кон'юнкції, що відповідає оператору «І»;

n_a – кількість входів;

$\mu_{i,j}(a_j)$ – ФП на j -му вході в антецеденті i -го правила;

n_R – кількість правил.

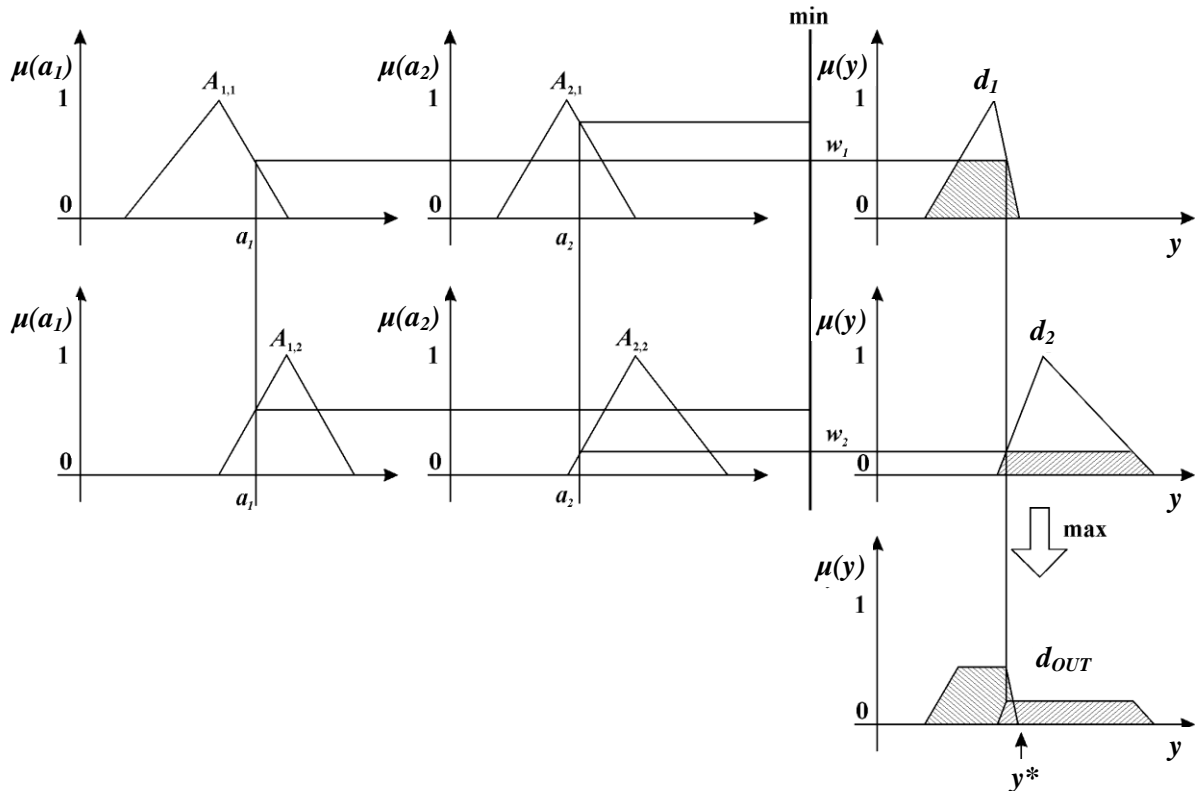


Рисунок 2.6 – Нечітке логічне виведення Мамдані

Джерело – [111]

Після визначення ступеня виконання правил за допомогою операції імплікації обчислюються нечіткі значення консеквентів правил (заштриховані області функцій приналежності для d_1 і d_2 на рис. 2.6).

Нечітке значення виходу з функцією приналежності $\mu_{d_{OUT}}(y)$ знаходиться за допомогою операції агрегації (зазвичай, операції максимуму):

$$\mu_{d_{OUT}}(y) = \bigvee_{i=1}^{n_R} (w_i(a_1, \dots, a_{n_a}) \wedge \mu_{d_i}(y)), \quad (2.17)$$

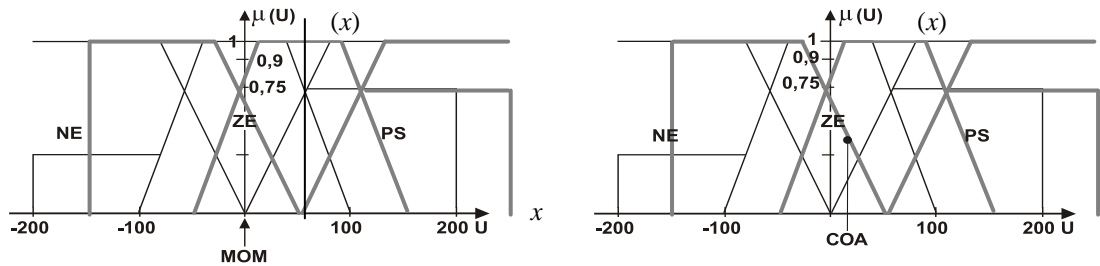
де \bigvee – операція агрегації, що відповідає об'єднанню нечітких правил «ІНАКШЕ» («ELSE»), яка в системі Мамдані еквівалентна диз'юнкції;

\wedge – операція імплікації (у системі Мамдані еквівалентна кон'юнкції);

$\mu_{d_i}(y)$ – функція приналежності консеквента i -го правила.

Процедура отримання нечіткого значення виходу при використанні максимуму як оператора агрегації та мінімуму як оператора імплікації називається максимінною композицією.

За результатами опрацювання відповідно до алгоритму управління даних, що надходять на вхід системи, отримано нечіткий результат $\mu_{d_{OUT}}(y)$. На етапі дефаззифікації нечіткий набір значень лінгвістичних змінних, що виводяться, згідно з операціями дефаззифікації (2.18, 2.19), перетвориться до точного (чіткого) значення \bar{y} . Найчастіше використовують методи усередненого максимуму (MOM) і центру ваги (COA) (рис. 2.7 а, б).



а) усередненого максимуму

б) центру тяжіння

Рисунок 2.7 – Графічна ілюстрація методів дефаззифікації

Джерело – [111]

За існування кількох елементів області визначення з максимальним значенням ступеня приналежності вихідної лінгвістичної змінної $\mu_{X_{OUT}}(x)$ обирається усереднене значення максимумів (MOM) (див. рис. 2.7 а):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n x_l^{\max}, \quad (2.18)$$

де \bar{x} – дефаззифіковане чітке значення;

x_l^{\max} – значення нечіткої множини x , для якої функції приналежності набувають значень максимуму;

n – кількість функцій приналежності.

Для врахування областей, що перекриваються, множини правил, що

спрацювали, використовується метод СОА (див. рис. 2.7 б). У цьому разі ФП виходу перебуває в центрі ваги виходів кожного з правил, що спрацювали:

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b x \cdot \mu_X(x) dx}{\int_a^b \mu_X(x) dx}, \quad (2.19)$$

де $\mu_X(x)$ – функція приналежності в діапазоні від a до b .

Хоча правила БЗ моделей типу Мамдані прозорі й інтуїтивно зрозумілі, проте мають гірші апроксимувальні властивості [112]. Тому для розв'язання даної задачі скористаємося методом логічного виведення Ларсена.

Незважаючи на схожість основних етапів моделі Ларсена з моделлю Мамдані, між ними є ключова відмінність. У процесі імплікації усічені ФП для розрахунку вихідних термів використовують м'які операції алгебраїчного згортання (prod). Розглянемо основні етапи роботи моделі.

1. На етапі фазифікації вхідних даних (як і в моделі Мамдані) вимірювальна підсистема визначає ступінь приналежності для кожної з передумов у нечітких правилах $\alpha_1(a)$, $\alpha_2(a)$, $\alpha_1(b)$, $\alpha_2(b)$.

2. На етапі логічного виведення (як у моделі Мамдані) на кроці імплікації рівні відсікання визначаються за допомогою операції жорсткого мінімуму: $\alpha_i = \alpha_i(a) \wedge \alpha_i(b)$. Потім усічені ФП для кожного вихідного терму обчислюються за допомогою операції добутку: $B'_i = \alpha_i \bullet B_i$.

Крок композиції також аналогічний моделі Мамдані: $B' = \bigvee_{i=1}^n B'_i = \alpha_i \wedge B_i$.

3. На етапі дефазифікації визначається вихідне значення системи.

Модифікація алгоритму Ларсена полягає в перевірці на кількість повторюваних виведень нечіткого правила для вихідних термів і встановленні рівня відсікання для кожного вихідного терму за допомогою операції жорсткого мінімуму.

Розглянемо реалізацію нечіткого логічного виведення на основі

алгоритму Ларсена (рис. 2.8). Нехай ступені приналежності дорівнюють:

$$\alpha_1(a) = 0,8; \alpha_2(a) = 0,17; \alpha_1(b) = 0,33; \alpha_2(b) = 0,75.$$

$$\alpha_2 = \alpha_{21} \wedge \alpha_{22} = \min\{0,75; 0,17\} = 0,17.$$

$$\alpha_3 = \min\{0,17; 0,75\} = 0,17.$$

Усічені функції приналежності для кожного вихідного терму визначаються з використанням операції добутку:

$$B'_1 = \alpha_1 \cdot B_1; B'_2 = \alpha_{21} \cdot B_2; B'_3 = \alpha_3 \cdot B_3.$$

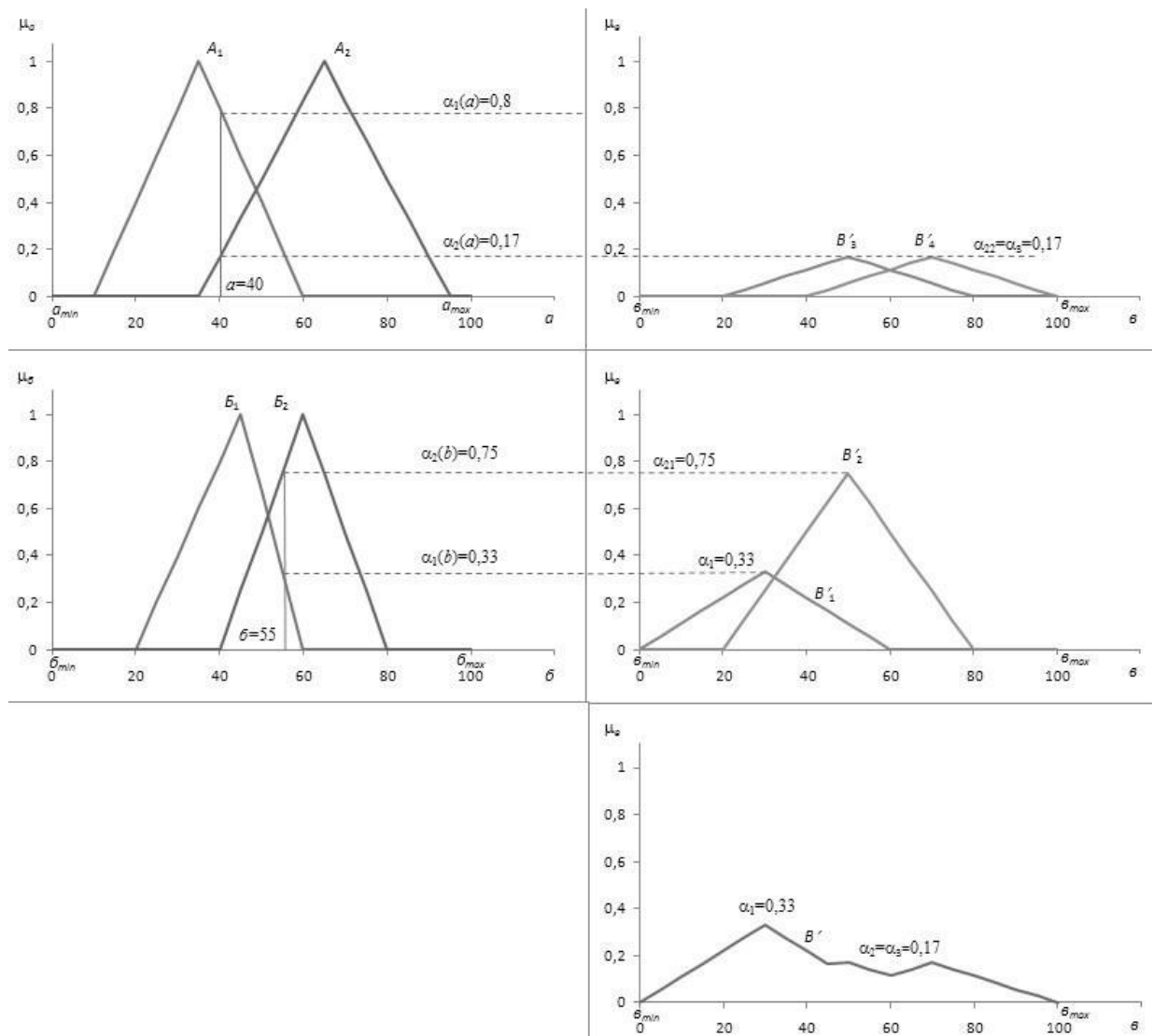


Рисунок 2.8 – Ілюстрація роботи алгоритму Ларсена

Джерело – [112]

На етапі композиції, використовуючи операцію максимуму, усічені ФП об'єднуються в одну:

$$B' = B'_1 \vee B'_2 \vee B'_3.$$

На етапі дефазифікації на основі даних таблиці 2.2 визначається вихідне значення.

Таблиця 2.2 – Представлення вихідних значень

Джерело – [розроблено автором]

b	B'_1	B'_2	B'_3	$B' = B'_1 \vee B'_2 \vee B'_3$	$b \cdot B'$
0	0	0	0	0	0
5	0,055	0	0	0,055	0,275
10	0,11	0	0	0,11	1,1
15	0,165	0	0	0,165	2,475
20	0,22	0	0	0,22	4,4
25	0,275	0,028333	0	0,275	6,875
30	0,33	0,056667	0	0,33	9,9
35	0,275	0,085	0	0,275	9,625
40	0,22	0,113333	0	0,22	8,8
45	0,165	0,141667	0,028333	0,165	7,425
50	0,11	0,17	0,056667	0,17	8,5
55	0,055	0,141667	0,085	0,141667	7,791667
60	0	0,113333	0,113333	0,113333	6,8
65	0	0,085	0,141667	0,141667	9,208333
70	0	0,056667	0,17	0,17	11,9
75	0	0,028333	0,141667	0,141667	10,625
80	0	0	0,113333	0,113333	9,066667
85	0	0	0,085	0,085	7,225
90	0	0	0,056667	0,056667	5,1
95	0	0	0,028333	0,028333	2,691667
100	0	0	0	0	0
				$\Sigma_2 = 2,97$	$\Sigma_1 = 129,78$

Метод центру мас дає змогу знайти остаточне вихідне значення:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{21} B' b}{\sum_{i=1}^{21} B'} = \frac{\sum_1}{\sum_2} = \frac{129,7}{2,97} = 43,6.$$

Для моделювання багатовимірних залежностей типу «входи-виходи», як показав проведений аналіз, доцільно застосовувати ієрархічні системи нечіткого логічного виведення. Основна ідея полягає в тому, що безпосереднє виведення в них здійснюється шляхом передачі результату у вигляді нечіткої множини нижнього рівня ієрархії до машини НВ наступного рівня без виконання операцій дефаззифікації та фаззифікації для проміжних змінних.

Абстрактна нечітка модель Ларсена є розбиттям простору вхідних чинників на нечіткі підобласті за допомогою антецедента (умовної частини правила). Значення функції відгуку в кожній із підобластей є лінійною комбінацією вхідних змінних, а значення виходу обчислюється за лінійною функцією вхідних змінних.

Перевагами моделі Ларсена є простота, інтерпретованість та універсальна апроксимувальна здатність. Це означає, що лінійні функції у виведеннях правил прості в реалізації, нечіткі правила легко піддаються лінгвістичній інтерпретації, і модель Ларсена може з будь-якою точністю наближати довільні нелінійні залежності.

Таким чином, нечітка модель Ларсена є ефективним інструментом для моделювання складних нелінійних систем в умовах невизначеності та нечіткості початкової інформації. Саме цим характеризується розглянутий клас задач створення варіативного інформаційного оточення.

Звісно, методи логічного виведення мають свої недоліки та переваги. Так, модель Мамдані має хороші лінгвістичні можливості під час опису предметної області природною мовою, а нечітка модель Ларсена має універсальні апроксимувальні властивості. Розглянуте завдання оцінювання досягнення компетенцій і набутих знань і навичок інтерпретується як страти,

що перетинаються [102, 103]. Тому, зважуючи плюси і мінуси різних методів логічного виведення стосовно цього завдання, найповніше зазначеним умовам відповідає алгоритм Ларсена. Його застосування дасть змогу визначити оптимальний варіант відображення елементів надводної обстановки в завданні оцінювання досягнення компетенцій і набутих знань і навичок залежно від рівня підготовки судноводія та оцінки його дій.

Нехай вхідними даними для системи нечіткого виведення є 5 початкових значень параметрів руху суден, представлених у вигляді нечітких лінгвістичних змінних: «азимут», «дальність», «курс», «наявність перешкод плаванню», «швидкість», а вихідними – «інформаційні елементи надводної обстановки» (скорочено – «інформаційна модель»).

Для нечіткого моделювання процесу вибору варіантів відображення ІЕ в рамках інформаційної моделі використовується система MATLAB. Ця платформа пропонує спеціалізовані інструменти, пов'язані з розробленням і застосуванням нечітких моделей [104].

Редактор функцій приналежності в MATLAB дає змогу задати їх для різних термів лінгвістичних змінних у графічному режимі.

Визначимо терми та відповідні ФП для вхідних і вихідних лінгвістичних змінних системи нечіткого виведення:

лінгвістична змінна «азимут» має терм-множину: $a_1 = \{\text{«малий»}, \text{«середній»}, \text{«великий»}, \text{«дуже великий»}\}$;

лінгвістична змінна «дальність» представлена термами: $a_2 = \{\text{«мала»}, \text{«велика»}\}$;

лінгвістична змінна «курс» містить терми: $a_3 = \{\text{«малий»}, \text{«середній»}, \text{«великий»}, \text{«дуже великий»}\}$;

лінгвістична змінна «наявність перешкод плаванню» має терм-множину: $a_4 = \{\text{«відсутні»}, \text{«малі»}, \text{«середні»}, \text{«великі»}\}$;

лінгвістична змінна «швидкість» представлена термами: $a_5 = \{\text{«мала»}, \text{«низька»}, \text{«середня»}, \text{«повний хід»}\}$;

вихідна лінгвістична змінна у спрощеній інформаційній моделі (y_1) використовує терм-множину: $d_i = \{\text{«модель 1»}, \text{«модель 2»}, \text{«модель 3»}, \text{«модель 4»}, \text{«модель 5»}, \text{«модель 6»}, \text{«модель 7»}, \text{«модель 8»}\}$, де $i = 1, 2, \dots, 8$.

Результат редактора функцій приналежності вхідних і вихідних лінгвістичних змінних наведено на рис. 2.9, 2.10.

Аналогічним чином можна формалізувати терм-множини для інших лінгвістичних змінних системи: «дальність», «курс», «наявність перешкод плаванню» і «швидкість».

Редактор правил у системі нечіткого виведення MATLAB дає змогу задати правила для моделі, формулювання яких відбувається шляхом вибору відповідних значень термів вхідних і вихідних лінгвістичних змінних.

Наприклад, одне з правил може мати такий вигляд:

«Якщо азимут «малий» І дальність «мала» І курс «малий» І «наявність перешкод плаванню “відсутня” І швидкість “мала”, ТО вихідна модель є “модель І”»

Таким чином здійснюється зв'язок конкретних значень вхідних змінних і відповідної інформаційної моделі на виході. Аналогічно формулюються всі правила системи нечіткого виведення. Перевагою такого підходу є задавання правил природною мовою, що робить модель зрозумілою та прозорою. Крім того, правила можуть бути легко модифіковані експертами предметної області для налаштування моделі під конкретні вимоги.

Приклади правил, заданих для процедури логічного виведення:

85. if (азимут is дуже великий) and (дальність is мала) and (курс is великий) and (наявність перешкод плаванню is середня) and (швидкість is середня) then (ІМ_1 is 4) (1);

86. if (азимут is дуже великий) and (дальність is мала) and (курс is великий) and (наявність перешкод плаванню is велика) and (швидкість is повна) then (ІМ_1 is 4) (1);

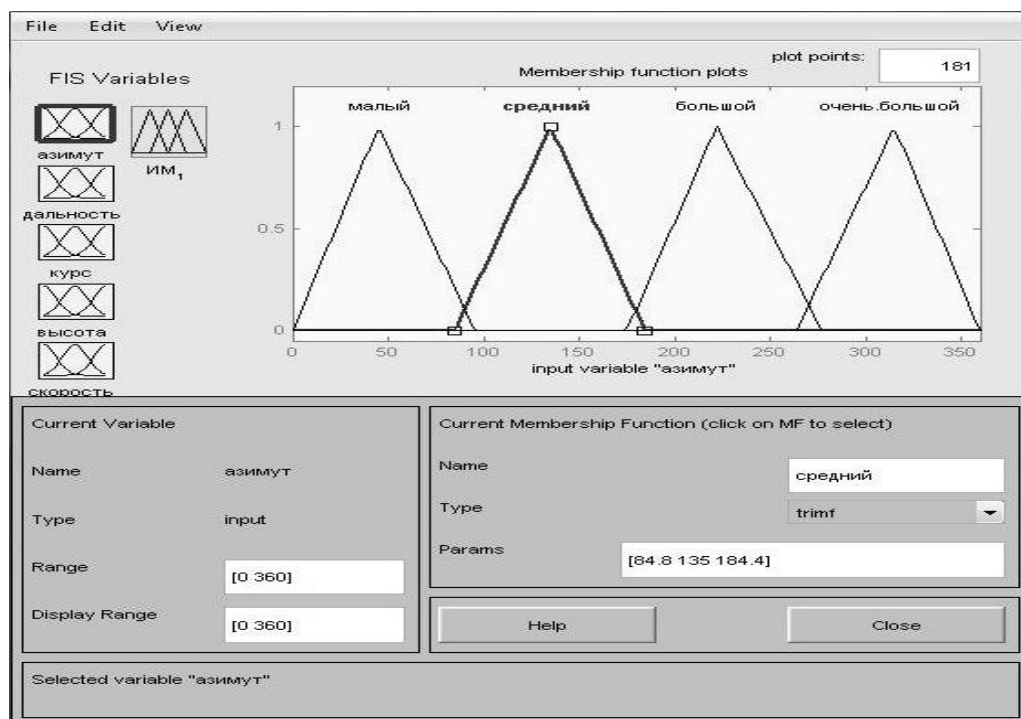


Рисунок 2.9 – Сукупність нечітких змінних лінгвістичної змінної «азимут»
редактора функцій приналежності
Джерело – [розроблено автором]

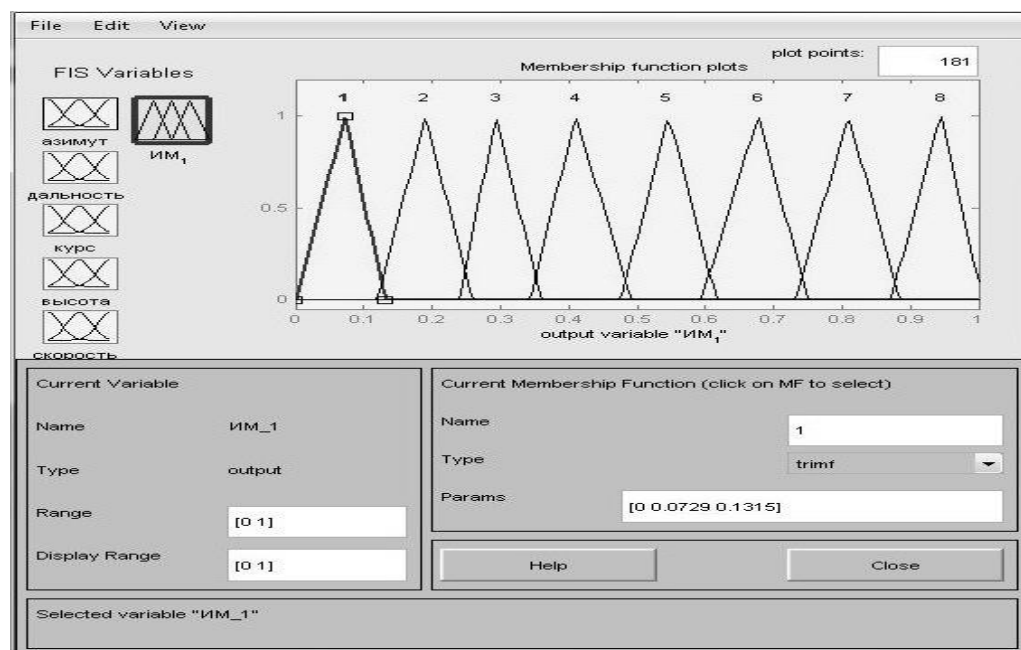


Рисунок 2.10 – Сукупність термів та їхні функції приналежності для вихідних
лінгвістичних змінних системи нечіткого виведення редактора функцій
приналежності
Джерело – [розроблено автором]

87. if (азимут is дуже великий) and (дальність is велика) and (курс is середній) and (наявність перешкод плаванню is мала) and (швидкість is середня) then (ІМ_1 is 8) (1);

...

99. if (азимут is дуже великий) and (дальність is велика) and (курс is дуже великий) and (наявність перешкод плаванню is середня) and (швидкість is середня) then (ІМ_1 is 8) (1);

100. if (азимут is дуже великий) and (дальність is велика) and (курс is дуже великий) and (наявність перешкод плаванню is середня) and (швидкість is повна) then (ІМ_1 is 8) (1).

Програма для перегляду правил дає змогу оцінити результати НВ (значення вихідної лінгвістичної змінної) для заданих значень вхідних лінгвістичних змінних і проаналізувати вплив кожного окремого правила на підсумковий результат. З цією метою спостерігають за автоматичними змінами вихідної лінгвістичної змінної при зміні значень вхідних змінних, що підтверджує адекватність роботи моделі.

Процедуру НВ для спрощеної інформаційної моделі (y_1) з термами вхідних лінгвістичних змінних, що дорівнюють [102–104], проілюстровано на рисунках 2.11 і 2.12.

Отриманий під час аналізу результат дефазифікації відображається у верхній частині стовпчика, позначеного ім'ям вихідної змінної (див. рис. 2.11). Це дає змогу легко ідентифікувати вихідне значення й оцінити його в контексті заданих вхідних параметрів. Аналогічно формалізуються терм-множини лінгвістичних змінних для інших варіантів відображення інформаційної моделі: «простої» (y_2), «складної» (y_3).

Таким чином, у процесі створення інформаційного середовища навчання формуються початкові умови відображення елементів надводної обстановки, які відповідають інформаційній моделі залежно від значень вхідної інформації. Така система дасть змогу сформувати вправи дозовано-прогресуючої складності залежно від рівня підготовки та дій здобувачів освіти.

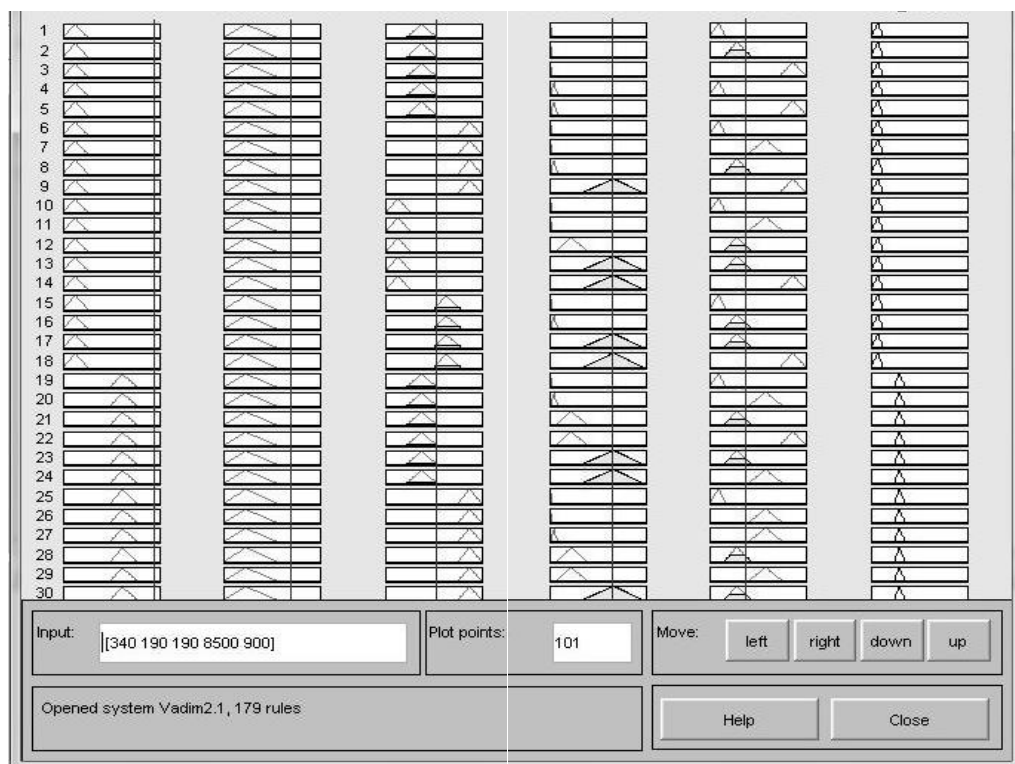


Рисунок 2.11 – Результати нечіткого логічного виведення

Джерело – [розроблено автором на основі [102–104]]

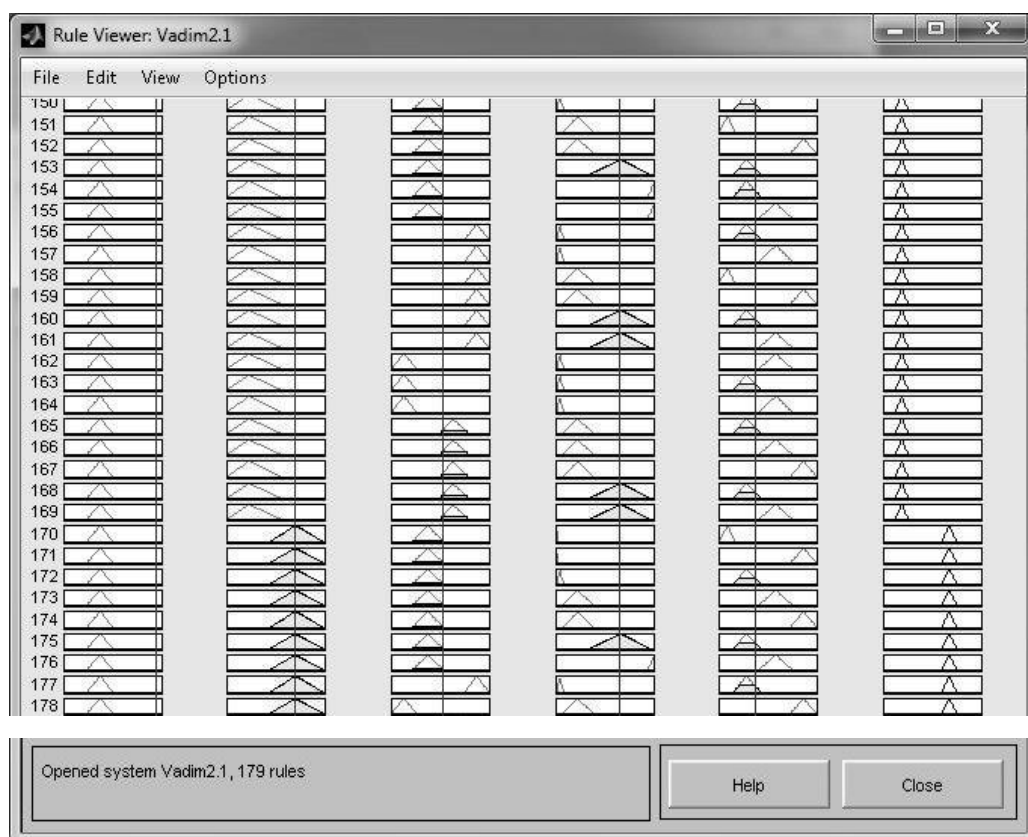


Рисунок 2.12 – Процедура дефаззифікації вихідної змінної

Джерело – [розроблено автором на основі [102–104]]

Приклади формування початкових умов відображення елементів надводної обстановки для трьох варіантів інформаційної моделі (y_1 = спрощена, y_2 = проста, y_3 = складна) наведено на рис. 2.13, 2.14, 2.15.

Інформаційна модель (рис. 2.13) є спрощеною і дає змогу здобувачеві освіти відпрацювати весь алгоритм дій з управління судном або окремими його системами для різних умов. На початковому етапі тренажерної підготовки судноводій може до автоматизму відпрацювати і закріпити необхідні навички та вміння, використовуючи пультове обладнання. Ця інформаційна модель враховує основні психологічні чинники, що впливають на процес керування судном, й адекватно відображає реальні умови плавання. Вона містить мінімально необхідну інформацію, забезпечуючи повний інформаційний супровід, що дає змогу судноводієві ефективно відпрацьовувати весь алгоритм дій з керування судном у різних ситуаціях [24].



Рисунок 2.13 – Приклад відображення елементів надводної обстановки для інформаційної моделі «спрощена»

Джерело – [розроблено автором]

Інформаційна модель (рис. 2.14) надає судноводієві можливість відпрацювати повний алгоритм дій для вирішення завдань керування судном у різних умовах, включно зі складними ситуаціями, плаванням у вузькостях і у складних навігаційних та лоцманських умовах.

Структурно ця модель є простою, забезпечуючи середні значення інформаційних елементів надводної обстановки. Однак в умовах обмеженої видимості, у вузьких акваторіях або в зонах із високою щільністю судноплавства завдання ускладнюється. Судноводій має оцінювати навігаційну ситуацію в денний і нічний час візуально, а також за інформацією, що надходить від РЛС, засобів автоматичної радіолокаційної прокладки (ЗАРП) та АІС.



Рисунок 2.14 – Приклад відображення елементів надводної обстановки для інформаційної моделі «проста»
Джерело – [розроблено автором]

Запропонована модель (рис. 2.15), що враховує особливості маневрування великотоннажних суден і суден з особливими маневреними характеристиками, є складною. Вона передбачає використання обладнання глобальної морської системи зв'язку під час лиха та електронної картографії.



Рисунок 2.15 – Приклад відображення імітаційних елементів інформаційної моделі «складна»

Джерело – [розроблено автором]

Отже, наведена модель є високоефективним інструментом для підготовки судноводіїв до реальних умов роботи у складній обстановці, що дозволяє на етапі тренажерної підготовки сформувати необхідні навички та вміння для:

- управління великотоннажними суднами і суднами з особливими маневреними характеристиками;
- оцінки поведінки суден в умовах мілководдя, впливу вітру і течії, зміни завантаження, а також взаємодії з іншими суднами за малих відстаней і роботи підрулювальних пристроїв;
- ефективного використання навігаційного обладнання в конкретних районах плавання;
- проведення швартовних операцій у морі;
- виконання буксирувальних операцій з різними типами буксирів, враховуючи зовнішні умови та взаємодію між судном і буксиром;
- виконання якірних операцій;
- управління в разі несправностей навігаційного обладнання та органів управління на ходових містках, а також у позаштатних і аварійних ситуаціях.

Таким чином, судноводії на етапі тренажерної підготовки можуть адекватно оцінювати надводну обстановку, характер і умови переміщення динамічних об'єктів, а також відпрацьовувати необхідні навички управління судном у різних умовах плавання.

Висновки за другим розділом

Проведені дослідження з метою побудови інтелектуальних методів управління інформаційним забезпеченням процесу тренажерної підготовки судноводіїв дали змогу отримати такі результати:

1. Розроблено алгоритм формування набору індивідуальних тестових завдань для проведення тестування судноводіїв у процесі тренажерної підготовки. Основу розробленого алгоритму становить розв'язання оптимізаційної задачі зі знаходження максимуму функції, що враховує оцінку надійності набору тестових методик, вектор коефіцієнтів валідностей за кожним із критеріїв та оцінку застосовності кожного тесту (набору тестів). Цей підхід дав змогу сформувати задану кількість тестових методик з обмеженнями за ресурсами та оцінками валідності.

2. Розроблено методику формування індивідуальних тестових завдань з використанням взаємозв'язку характеристик тестових методик в автоматизованій системі управління якістю підготовки судноводіїв. Методика дозволяє оцінювати рівень якості підготовки судноводіїв на кожному з етапів процесу тренажерної підготовки. За результатами порівняння поточного рівня підготовки судноводіїв з виконання різних завдань із заданим система планує подальший перебіг тренування, а саме реалізує стратегію навчання з розрахунком прогнозу здатності до навчання.

3. Одержав подальшого розвитку метод вибору тестових методик з перевірки ступеня вираженості професійних компетенцій діяльності судноводія, який, на відміну від відомих, характеризується адаптивною процедурою вибору заданої кількості тестів із множини тестових методик з визначення рівня професійної підготовки здобувача освіти, що дозволяє мінімізувати час вибору.

4. У результаті проведеного аналізу встановлено, що для вибору початкових умов відображення елементів надводної обстановки відповідної інформаційної моделі найбільш підходящим є метод логічного виведення

Ларсена. Його застосування дає змогу визначити оптимальний варіант відображення елементів надводної обстановки залежно від рівня підготовленості судноводія та оцінки його дій у ході тренажерної підготовки.

5. Удосконалено метод відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу, який, на відміну від відомих, відрізняється застосування процедури нечіткого логічного виведення Ларсена у процесі ситуаційного формування інформаційної моделі під час підготовки судноводіїв, що дозволяє індивідуалізувати відображення елементів надводної обстановки відповідно до вирішуваних завдань і формувати вправи дозовано прогресуючої складності.

6. Вперше розроблено модель формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі, яка базується на використанні інтелектуальних методів управління інформаційним забезпеченням тренажерів і проведенням вхідного, проміжного й підсумкового контролю сформованості навичок судноводіїв з фіксацією логічних, операційних і часових помилок для внесення необхідних змін до програми підготовки.

7. Для нечіткого моделювання процесу вибору початкових умов відображення елементів надводної обстановки, що відповідає інформаційній моделі, обґрунтовано використання системи MATLAB, яка містить спеціальні засоби нечіткого моделювання для оцінювання рівня якості підготовки судноводіїв на кожному з етапів тренажерної підготовки.

Основні результати досліджень, наведені в другому розділі, опубліковано в статтях [22, 24], тезах доповідей [28, 29].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІЯЛЬНОСТІ
СУДНОВОДІЇВ У ХОДІ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ

Для підвищення ефективності підготовки судноводіїв на тренажерах передбачено постійний контроль дій здобувачів освіти під час вирішення ними поставлених завдань [9, 13, 23, 28, 38, 58]. Це дає змогу оцінити дії здобувачів освіти, коригувати програму індивідуального навчання, визначати ступінь їхньої готовності до практичної роботи [58, 61, 71, 81–86]. Зазвичай під час проведення тренажерної підготовки контроль дій судноводіїв здійснюється інструктором на базі засобів пульта контролю й управління на всіх етапах тренування. Оцінка дій при цьому проводиться частково в процесі тренування, частково – після його завершення на основі апостеріорного аналізу зафіксованих у процесі тренування показників [84-96]. Тому актуальним є вдосконалення системи контролю дій здобувачів освіти, що дозволяє інтегрально оцінювати різні показники якості [58, 61, 71, 81, 84-86].

Результати проведеного у розділі 3.1 аналізу особливостей організації та проведення контролю рівня підготовки судноводіїв показали, що для точного оцінювання якості роботи доцільно використовувати часткові показники ефективності. Це зумовлено тим, що традиційні методи оцінювання якості діяльності здобувачів освіти, можуть призводити до дуже відмінних і навіть суперечливих результатів. Оскільки часткові показники можуть вимірюватися в різних одиницях, їх слід перетворювати до єдиного вигляду і нормованого формату. Крім того, необхідно визначити «вагу» кожного з цих показників для більш об'єктивної оцінки [71, 81, 84-86].

Для отримання персональних оцінок діяльності оператора в підрозділі 3.2 запропоновано використання нечітких множин. Визначено нормативи підготовки операторів, раціональну кількість навчальних завдань, складність завдань і шляхи можливого перенесення навичок для скорочення термінів підготовки. Розроблено формальний опис процесу отримання оцінок

як індивідуальної, так і групової діяльності здобувачів освіти, що ґрунтуються на механізмах і процедурах нечіткого логічного виведення. Запропоновано алгоритм спільного використання різного представлення схем розв'язання й оцінювання задач і приведення до єдиної шкали різних варіантів відповідей та їхнього взаємного узгодження між собою.

У підрозділі 3.2 показано, що об'єктивність отриманої інтегральної оцінки діяльності судноводіїв, які навчаються, досягається завдяки використанню статистичних даних, що відображають роботу судноводіїв у різних умовах. Представлено метод формування узагальненої оцінки практичної діяльності, що дає змогу забезпечити раціональну роботу здобувачів освіти та інструкторів над оцінюванням знань.

3.1 Контроль рівня підготовки судноводіїв (групи здобувачів освіти)

Основна мета контролю рівня підготовки судноводіїв полягає в отриманні інформації, необхідної для обґрунтованої оцінки успішності їхнього навчання та прогнозування якості майбутньої роботи [71, 81, 84-86].

Для досягнення об'єктивності контролю рівня підготовки судноводіїв необхідно реалізувати:

- вибір інформативних показників: використання показників, які дійсно відображають якість підготовки;
- реєстрацію вихідних даних: об'єктивна фіксація даних, необхідних для розрахунку та оцінювання обраних показників;
- обґрунтування граничних значень та умов: встановлення або розробка нормативів для визначення оцінок;
- створення реальних умов: забезпечення відповідності умов контролю реальним завданням, з якими стикаються оператори.

Рівень підготовки здобувачів освіти оцінюють за так званими «прямими показниками», які відображають ступінь виконання поставлених завдань

[113]. У випадках, коли помилки здобувачів освіти можуть істотно вплинути на виконання реальних завдань, крім прямих показників, також застосовуються «непрямі показники». Вони оцінюють фізіологічну «ціну» зусиль, витрачених судноводієм для досягнення результатів. Зазвичай непрямі показники спрямовані на оцінку нервово-емоційного напруження здобувачів освіти під час тренувань.

Наприклад, для підготовки судноводіїв найбільш інформативними є частота серцевих скорочень, частота дихання, об'єм легеневої вентиляції та резерви уваги. Використання як прямих, так і непрямих показників дає змогу більш повно оцінити не тільки результати виконання завдань, а й витрачені зусилля. У цій роботі непрямі показники не розглядаються через їхній неоднозначний вплив на діяльність судноводіїв у різних умовах [114–116].

Прямі показники можуть бути частковими або узагальненими.

Часткові показники оцінюють якість виконання окремих операцій здобувачами освіти або колективом здобувачів освіти. До них належать:

1. Імовірність виконання операції в заданий термін – $t_i \leq T_0$.
2. Імовірність виконання операції з помилками, що не перевищують допустимих значень, – $r_i \leq R_0$.
3. Імовірність того, що кількість безпомилкових рішень не менша за задану – $L_i \geq L_0$.
4. Одна із середніх оцінок статистичного оцінювання контрольованого показника.
5. Середнє квадратичне відхилення, а також дисперсія контрольованого показника.

Узагальнений показник – імовірність успішного виконання поставленого завдання.

Для забезпечення інформативності вихідних даних необхідно враховувати такі твердження:

1. Дані мають бути об'єктивними і забезпечувати розрахунок показників із заданою точністю і достовірністю.

2. Контрольовані параметри повинні демонструвати широкий діапазон змін залежно від рівня підготовки операторів.

Обґрунтованість граничних значень показників (нормативів) залежить від дотримання вказаних вимог і застосування методів математичної статистики.

Створення умов, що відповідають реальним умовам діяльності, досягається за допомогою імітаційно-тренувальних комплексів, що характеризуються високою повнотою та якістю відтворення інформаційної моделі. Також важливим є залучення натурних засобів для створення обстановки, максимально наближеної до реальних умов управління судном [117].

Процес визначення ймовірнісних показників виконання завдання P полягає в обчисленні відношення кількості сприятливих подій n до загальної кількості спостережень N :

$$P = \frac{n}{N}, \quad (3.1)$$

де

$$t_i \leq T_0, \quad r_i \leq R_0, \quad L_i \geq L_0. \quad (3.2)$$

При оцінці рівня підготовки можливі два типи помилок:

- помилкове завищення оцінки рівня підготовки (помилка першого роду – α);
- помилкове заниження оцінки рівня підготовки (помилка другого роду – β).

Достовірність контролю визначається ймовірністю виникнення помилок, як першого – α , так і другого роду – β . Оскільки помилки цих типів мають різну значущість, під час проведення контролю підготовки операторів важливо враховувати відповідні умови. Найбільш часто використовуваними методами оцінки рівня підготовки є [118]:

- метод одноразового вимірювання;
- метод постійного контролю.

У першому випадку здійснюють певну обмежену кількість контрольних

замірів результатів діяльності в оцінюваних умовах. За характеристиками цих замірів приймають рішення про те, якому рівню підготовки відповідає контрольований оператор.

За методу послідовного контролю кількість контрольованих замірів заздалегідь не фіксують. Послідовно здійснюють разові заміри і визначають необхідні характеристики, за якими приймають одне з двох рішень:

- результати відповідають певному рівню підготовки;
- остаточне рішення не приймається, контроль триває.

Контроль завершується після прийняття рішення. Для оцінки рівня підготовки, незалежно від використовуваного методу контролю, потрібно встановити граничні значення показника. При одноразовому контролі враховується характер контрольованого показника – дискретний або безперервний.

Для отримання повноцінної інтегральної оцінки необхідно враховувати всі показники якості діяльності здобувача освіти. У цій роботі оцінюються прямі показники діяльності, такі як час реакції, адекватність і загальний час вирішення завдання з усунення наслідків помилкових дій і рішень [117, 119].

Розглянуті показники якості діяльності судноводіїв можуть давати розрізнені оцінки для кожного здобувача освіти, що не завжди достатньо. Потрібно сформувати інтегральну оцінку якості діяльності, що об'єднує різні показники якості навчання і підготовки, отримані під час тренажерної підготовки. Таку сукупність можна визначити як сукупні показники врахування ефективності діяльності здобувача освіти. Під час розрахунку ефективності діяльності здобувача освіти необхідно реалізувати такі підходи.

Під час оцінювання значущості кожного окремого показника, тобто його «важливості» в загальній оцінці, необхідно враховувати різні аспекти роботи судноводія, які мають свої унікальні характеристики [117, 120]. Зокрема, для судноводіїв критично важливими є такі параметри, як час реакції, припустимі помилки та способи їх усунення в процесі управління судном.

Під час формування інтегральної оцінки передбачається, що всі

зазначені показники мають рівну «важливість», оскільки вони однаково значущі для ефективного виконання обов'язків судноводія.

Часткові показники, які використовуються для оцінки рівня підготовки судноводіїв, вимірюються в різних одиницях, що означає наявність різнорідної інформації. До таких даних належать:

- точкові вимірювання та значення параметрів;
- допустимі діапазони змін параметрів, які впливають на оцінку;
- статистичні розподіли окремих величин;
- лінгвістичні критерії та обмеження, надані експертами.

У зв'язку з цим необхідно привести всі показники до безрозмірного та нормованого вигляду відносно певного еталона. Одним із підходів для прийняття рішень щодо оцінювання діяльності судноводія є використання теорії нечітких множин. Вона дає змогу формально описати процес спільного опрацювання даних, що мають різну природу невизначеності [121, 122].

Нечітке лінгвістичне моделювання ґрунтується на наборі правил і використовує концепцію лінгвістичної змінної. Застосування лінгвістичних змінних дає змогу переводити такі абстрактні поняття, як «далекий» або «заборонений», у сувору математичну форму. Лінгвістичні змінні оперують словами, а не числовими значеннями. Наприклад, інтегральна оцінка ефективності роботи судноводія може бути подана як лінгвістична змінна, де її значення будуть виражені словами, такими як «незадовільна», «задовільна» або «добра». Нечітке правило можна записати так: якщо умова $X \in A$ виконується (нечітке посилення), тоді впливає виведення $Y \in B$ – нечітке виведення із посилення.

У процесі автоматизованого поточного і завершального контролю знань (рис. 3.1), використовуються завдання; їхні правила (алгоритми) відповідей (розв'язання); безпосередньо самі відповіді; у більшості випадків, оцінки за виконання завдань; нормативи виконання завдань і рекомендації щодо інтерпретації результатів [23, 117-119].



Рисунок 3.1 – Загальна структура системи автоматизованого контролю діяльності оператора

Джерело – [розроблено автором]

Принципи оцінювання діяльності оператора в системі контролю:

1. Наявність логічної схеми вирішення контрольних завдань.
2. Єдиний підхід до оцінювання знань для різних видів контрольних завдань.
3. Наявність інтегровальних процедур, спрямованих на зменшення часу контролю та кількості запитань.

Логічна схема завдань (ЛСЗ) розробляється викладачем і може бути побудована аналогічно [113]. ЛСЗ має вигляд графа (рис. 3.2) [25].

На нижньому рівні подано дані, що характеризують конкретного здобувача освіти. Після вибору запитань (завдань), визначаються такі, які мають кількісну інтерпретацію. Відповіді на них враховуються при визначенні подальшої структури запитань. Під час контролю запитання нижнього рівня обираються відповідно до програми навчання за принципом від простого до складного [131].

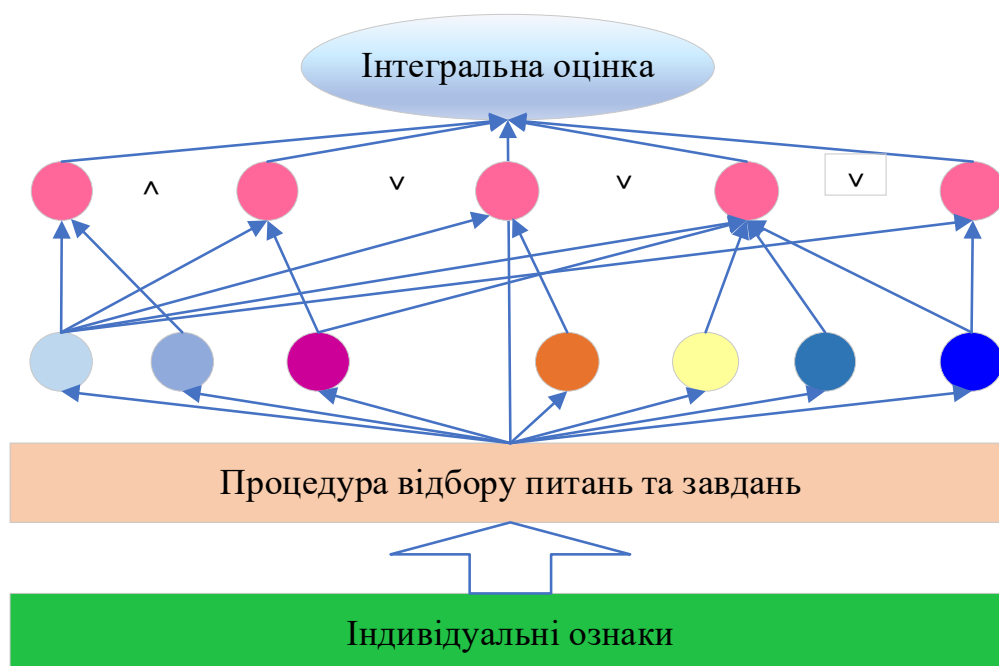


Рисунок 3.2 – Схема формування інтегральної оцінки в системі контролю
Джерело – [розроблено автором]

У графі є вершини, які мають якісне представлення результатів розв'язання. Вони у вигляді предикатної функції визначають перехід до групи запитань іншого завдання в разі набору певної кількості балів. Є вершини, які мають логічне представлення результату, що формується внаслідок виконання певних кон'юнктивних або диз'юнктивних умов. Вони передбачають перехід до простіших завдань у разі неправильного їх вирішення або закінчення тестування (тренування) у разі відмінних знань (успішного виконання плану навчання). Правильне формування структури ЛСЗ та її інформаційне насичення є першим чинником, який визначає ефективне функціонування системи контролю знань.

3.2. Процедура отримання індивідуальних оцінок діяльності

Нормативи підготовки здобувачів освіти індивідуально і в групах, повинні мати [28, 123]:

– чотири градації для точних і часових показників якості роботи, що

відповідають оцінкам підготовки судноводія – «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно»;

– не менше двох рівнів (градацій) для психофізіологічних показників функціонального стану судноводія, що відповідають оцінкам «підготовлений» і «не підготовлений»;

– рівні (градацій) підготовки здобувачів освіти, що відповідають реалізованим рівням ефективності використовуваного зразка автоматизації.

Під час визначення раціональної кількості навчальних завдань спочатку встановлюють кількість найважливіших класифікаційних ознак, що характеризують складність цієї професійної діяльності. До числа таких ознак відносять:

- структуру інформаційної моделі;
- умови сприйняття і переробки вхідної інформації (наприклад, заважаючи впливи, на тлі яких здійснюється ідентифікація корисних сигналів);
- вид прийнятого рішення;
- тип виконавчої дії судноводія та ін.

Далі визначається необхідна кількість градацій кожної ознаки.

Кількість навчальних завдань (N_y) обчислюється за формулою:

$$N_y = \prod_{j=1}^n C_j, \quad (3.3)$$

де n – кількість класифікаційних ознак;

C_j – кількість градацій j -ої класифікаційної ознаки.

Загалом, кількість навчальних завдань має бути такою, щоб судноводії, які пройшли комплексну підготовку, не відчували труднощів у виконанні завдань. Для встановлення послідовності відпрацювання різнотипних навчальних завдань необхідно визначити їхню складність.

Складність завдання є поняттям відносним. Однак у загальному випадку складність завдання можна визначити через складність алгоритму, що реалізує її вирішення [123, 124]:

$$\gamma_j = \gamma_{0j} A_t \frac{A_L}{A_Z}, \quad (3.4)$$

де γ_{0j} – коефіцієнт пропорційності;

A_t – показник, що характеризує потік завдань у часі;

A_L – показник логічної складності алгоритму навчального завдання;

A_Z – показник стереотипності алгоритму навчального завдання.

Послідовність відпрацювання різнотипних завдань встановлюється відповідно до зростання значень показника складності:

$$\gamma_{j1} < \gamma_{j2} < \dots < \gamma_{jn}. \quad (3.5)$$

Під час відпрацювання однотипних завдань формування навичок з одного з них впливає на вдосконалення навичок виконання інших. Тому при визначенні послідовності їх відпрацювання, поряд зі складністю, для активізації процесу навчання і підвищення його якості необхідно дотримуватися принципу позитивного перенесення отриманих навичок для вирішення нових або ускладнених завдань.

Це дасть змогу визначити ступінь збігу елементарних операцій у навчальних завданнях, що описують процес закріплення типових навичок, що можна формально задати у вигляді K_j , який характеризує типовість операцій для j -го завдання:

$$K_j = \frac{\sum_{m=1}^q Z_{mj} S_{mj}}{\sum_{m=1}^q Z_{ij} S_{ij} + \sum_{m=1}^q Z_{mj} S_{mj}}, \quad (3.6)$$

де $q(n)$ – кількість однакових операцій (дій) у базовому та поточному завданні;

$m(i)$ – номер операцій, що збігаються (не збігаються), у завданні;

$S_{mj}(S_{ij})$ – коефіцієнт значущості операції;

$Z_{mj}(Z_{ij})$ – ознака збігу (розбіжності) операції.

Коефіцієнт ваги операції, що збігається (не збігається) (S_{ij}) , визначають методом експертних оцінок.

Коефіцієнт збігу (розбіжності) операції визначають таким чином:

$Z_{mj} = 1, Z_{ij} = 0$, якщо операції збігаються повністю;

$Z_{mj} = Z_{ij} = 0,5$, якщо операції збігаються частково;

$Z_{mj} = 0, Z_{ij} = 1$, якщо операції не збігаються.

Процедура визначення послідовності відпрацювання завдань, що відбиває перенесення однотипних навичок й операцій, повинна враховувати значення розрахованого коефіцієнта K_j для кожного з однотипних завдань і розташувати їх за спадаючими значеннями. Складений таким чином ряд відповідає шуканій послідовності.

Для використання отриманої оцінки збігу елементарних операцій у загальній оцінці діяльності оператора необхідно провести фазифікацію отриманої оцінки.

Формальний опис процесу узагальнення (реальної інтерпретації) оцінки ступеня та логіки алгоритмічного збігу Γ_j подано з використанням формалізованого методу нечіткої логіки. Базову терм-множину Γ_j складають терми: незадовільно, задовільно, добре. Областю значень лінгвістичних змінних є: $X = [0;100] [\%]$. Функції приналежності $\mu(x)$ для кожної лінгвістичної змінної та її термів подано в трапецієвидній формі [23, 125]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{інші} \end{cases} \quad (3.7)$$

На рис. 3.3 наведено подання Γ_j (сукупність $\mu(x)$ для всіх термів лінгвістичної змінної, представленій у вигляді графічних образів).

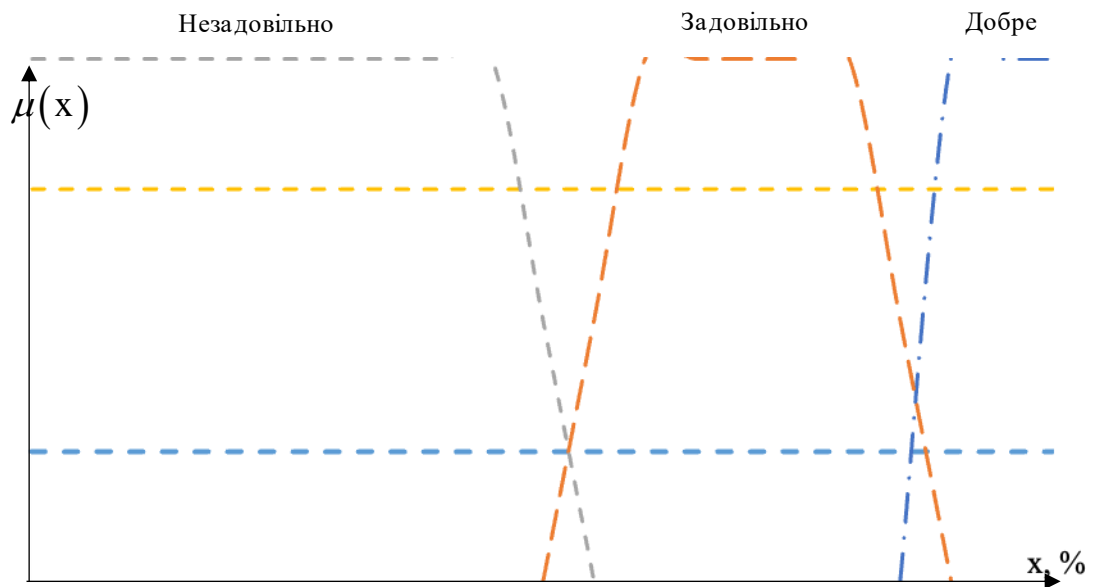


Рисунок 3.3 – Графічне відображення лінгвістичної змінної Γ_j

Джерело – [розроблено автором]

Час відпрацювання навчального завдання встановлюється експериментальним шляхом. Для цього за кожною спеціальністю виділяють контрольну групу з 10 здобувачів освіти, які пройшли психологічний відбір.

Відпрацювання завдання судноводієм підконтрольної групи може проводитися до досягнення кожним із них заданого рівня підготовки ($Q_{\text{зад}}$), або до отримання надійних даних про перебіг підготовки, що дають змогу визначити параметри моделі здатності до навчання – t_0 , Q_0 , $Q_{\text{пр}}$ [126, 127].

Час t_{ij} досягнення i -им здобувачем освіти заданого рівня підготовки за j -им завданням обчислюють за формулою:

$$t_{ij} = t_{0ij} \ln \left(\frac{Q_{прj} - Q_{0ij}}{Q_{прi} - Q_{зadі}} \right), \quad (3.8)$$

де t_{0ij} – коефіцієнт, що характеризує здібності i -го здобувача освіти до навчання j -му завданню (в одиницях часу);

$Q_{пр}$, Q_{0ij} – граничне і вихідне (на початку навчання) значення показника якості роботи здобувача освіти, відповідно.

Час індивідуальної та колективної підготовки залежить від специфічних особливостей діяльності окремих або груп здобувачів освіти для конкретного судна. Час, що відводиться для індивідуальної та колективної підготовки, може бути розподілений таким чином.

Попередньо обчислюють час, необхідний для відпрацювання кожної операції конкретного навчального завдання ($t_{отрi}$), за формулою:

$$t_{отрi} = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^{N_{оп}} S_i} t_{пj}, \quad (3.9)$$

де S_i – коефіцієнт, що враховує вагу i -ої операції;

$N_{оп}$ – кількість відпрацьованих операцій у завданні;

$t_{пj}$ – час, необхідний для відпрацювання j -го завдання, який визначається за допомогою моделі здатності до навчання.

Коефіцієнт, що враховує вагу i -ої операції, розраховують за формулою:

$$S_i = m_i \alpha_i \frac{t_i}{t_{пр}}, \quad (3.10)$$

де m_i – коефіцієнт, що враховує кількість логічних умов у i -ій операції;

α_i – коефіцієнт, що враховує тип зв'язку між логічними умовами в i -ій операції;

t_i – час виконання i -ої операції;

t_{np} – час виконання операції, що вимагає найменших часових витрат.

Час, що відводиться на індивідуальну (колективну) підготовку, обчислюють за формулою:

$$t_{n(k)} = \sum_{j=1}^{N_y} \sum_{i=1}^{M(P)} t_{отр ij}, \quad (3.11)$$

де N_y – кількість навчальних задач;

$M(P)$ – кількість операцій, що відпрацьовуються під час індивідуальної (колективної) підготовки за кожним завданням відповідно;

$t_{отр ij}$ – час відпрацювання i -ої операції в j -му завданні, год;

$$t_{отр ij} = (30 \div 50) t_{ij};$$

t_{ij} – час, необхідний для одноразового виконання i -ої операції в j -му завданні, год.

Тривалість безперервного тренування встановлюють так. Тривалість заняття – 50 хвилин з 10-хвилинною перервою. Встановлюється 7-ми годинний навчальний день. Для узгодження часу тренувань і занять з вивчення інших дисциплін тривалість тренувань має бути кратною одній годині та з урахуванням перерви не повинна перевищувати 4 год [80, 84, 127].

За необхідності проведення тестування розробка єдиної методології оцінювання знань в автоматизованій системі базується на класифікації запитань залежно від варіантів відповідей. Як зразок, можна використовувати варіанти запитань із можливими відповідями, запропонованими [123], типу:

– «так – ні»;

- «один із кількох»;
- «кілька з багатьох»;
- «число»;
- «інтервал»;
- «нечіткий інтервал»;
- «слово»;
- «одне або кілька речень».

На сьогоднішній день, така класифікація є надлишковою. Але задля зручності розрахунків та збереження структурованості схеми контролю знань у роботі питання вдосконалення даної класифікації не розглядаються. Зосередимо свою увагу на проблемі приведення оцінок за контрольними запитаннями різної природи до єдиної шкали.

Очевидно, що відповіді на запитання типу «так – ні» оцінюються за шкалою $\{0,1\}$. Оцінка відповіді на запитання інших типів теж має належати відрізьку $[0,1]$, при цьому абсолютно правильна відповідь має оцінку «1», а неправильна – «0». Для запитань типу «один із кількох» – за єдино правильну відповідь оцінка «1», за неправильні – «0». Розглянемо запитання типу «кілька з багатьох». Для вірного оцінювання кожній правильній відповіді визначається бал так, щоб сума всіх балів дорівнювала одиниці. Кожен бал визначається, виходячи з правильності та важливості відповіді.

Для адекватного оцінювання відповідей-чисел викладач має задати ймовірне значення результату m та середнє квадратичне відхилення σ в разі симетричного розподілу можливого результату або m і σ_1, σ_2 , якщо розподіл асиметричний.

Тоді інтегральний бал за відповідь розраховується за такими виразами:

$$p = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{m-x_0}^{m+x_0} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx \right) / 0,9973, \quad (3.12)$$

якщо $p \in (-3\sigma, 3\sigma)$ і $p = 0$ в іншому випадку.

Для асиметричного розподілу $p = \frac{p_1}{p_2}$ при $x_0 \in (m - 3\sigma_1, m)$ отримуємо:

$$p_1 = \int_{x_0}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad p_2 = \int_{m-3\sigma}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx. \quad (3.13)$$

Якщо $x_0 \in (m, m + 3\sigma_2)$, то отримуємо:

$$p_1 = \int_m^{x_0} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad p_2 = \int_m^{m+3\sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx. \quad (3.14)$$

Для $x_0 \in (m - 3\sigma_1, m)$:

$$p_1 = \int_{x_0}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad p_2 = \int_{m-3\sigma}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx. \quad (3.15)$$

Для $x_0 \in (m, m + 3\sigma_2)$:

$$p_1 = \int_m^{x_0} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad p_2 = \int_m^{m+3\sigma_2} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad (3.16)$$

і $p = 0$ в інших випадках. При визначенні міри правильності відповіді скористаємося правилом 3σ .

Розглянемо такий різновид відповідей – у вигляді інтервалів. Якщо здобувач освіти подає відповідь у вигляді інтервалу (α, β) , а еталонна відповідь (a, b) , то бал за відповідь визначається таким чином:

$$\begin{aligned}
p &= 0, \text{ якщо } (\beta \leq a) \vee (\alpha \geq b); \\
p &= 1, \text{ якщо } (\alpha \leq a) \wedge (\beta \leq b); \\
p &= \frac{b - \alpha}{b - a}, \text{ якщо } (a < \alpha) \wedge (\beta > b); \\
p &= \frac{\beta - a}{b - a}, \text{ якщо } \alpha < a < \beta < b.
\end{aligned} \tag{3.17}$$

Найскладнішою щодо оцінювання є відповідь у вигляді нечіткого інтервалу [126]. Нехай здобувач освіти вказує на інтервал $(\underline{m}, \overline{m}, \alpha, \beta, h)$ як правильний, а еталонним є інтервал $(\underline{M}, \overline{M}, A, B, H)$. Уявімо, що $h = H = 1$, яке свідчитиме про те, що здобувач освіти повністю впевнений у своїй відповіді. Тоді будемо вважати, що оцінка $p = 0$, якщо:

$$(\overline{m} + \beta < \underline{M} - A) \vee (\overline{M} + B < \overline{m} + \beta); \tag{3.18}$$

і $p = p_1 + p_2$, де

$$p_1 = \frac{\text{len}([\underline{m}, \overline{m}] I [\underline{M}, \overline{M}])}{\text{len}([\underline{M}, \overline{M}])}; \tag{3.19}$$

$$p_2 = \frac{k_1 \text{len}(\text{пр}([\underline{m} - \alpha, \underline{m}] I [\underline{M} - A, \overline{M} + B])) + k_2 \text{len}(\text{пр}([\overline{m}, \overline{m} + \beta] I [\underline{M} - A, \overline{M} + B]))}{\text{len}([\underline{M} - A, \underline{M}] Y [\overline{M}, \overline{M} + B])}, \tag{3.20}$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти, які відображають міру перетину та скошеності графіків функцій приналежності;

$\text{len}(\ast)$ – функція довжини.

Запитання з відповідями типу «слово» оцінюється за синонімічною

ознакою. Прикладом таких запитань є таке: «Якщо об'єкт має зазначені властивості, то, як він називається?» Кожному слову-синоніму призначається бал – оцінка семантичної відповідності правильній відповіді. Єдина абсолютно правильна відповідь оцінюється «1», неправильна – «0». Решта відповідей, що відповідають синонімічному ряду, отримують оцінку в інтервалі $(0,1)$.

Якщо запитання передбачає розширену відповідь у вигляді одного або кількох речень, то оцінити її автоматизованою системою на сучасному рівні розвитку можливо тільки з використання великих мовних моделей, які не завжди є досяжними. Тоді таку відповідь може оцінити лише інструктор. Тому використання цього методу контролю для критичних систем, до яких можна віднести систему управління судном, не виправдане і надалі не розглядається.

Однією з найбільш важливих є оцінка за час виконання операцій. Позначимо цей показник як - «виконання часових нормативів» Q_t [119].

ФП є ключовим елементом у теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Використані у даній роботі трапецієвидні ФП дають змогу кількісно оцінювати ступінь приналежності елементів до певних категорій (термів), що особливо важливо під час роботи з лінгвістичними змінними. Розглянемо види функцій приналежності, пороги приналежності значень, а також області значень аргументів під час оцінювання ступеня приналежності, необхідних для прийняття рішень на основі нечіткої логіки.

Поріг (П) приналежності визначає мінімальне значення, за якого елемент може вважатися таким, що належить до нечіткої множини. Це значення критично важливе для прийняття рішень й оцінювання, оскільки воно допомагає встановити межі між різними категоріями.

Область значень аргументів охоплює діапазон значень, які можуть бути використані для оцінки лінгвістичних змінних.

Таким чином можна подати такі процедури дій.

1. Формується таблиця відповідності між значенням оцінюваного параметра та його лінгвістичним термом (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Співвідношення значень параметрів і лінгвістичних термів
Джерело – [розроблено автором]

Терм	Незадовільно	Задовільно	Добре
Межі t_k, c	$t_k > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < t_k \leq \Gamma_2$	$t_k < \Gamma_1$

Існує два основні методи визначення порогів приналежності:

а) метод експертних оцінок, в якому порогові встановлюються на основі думок експертів у відповідній галузі. Експерти аналізують дані, спостереження і свій досвід, щоб визначити найбільш підходящі порогові для конкретного завдання. Цей метод особливо корисний, коли кількісні дані обмежені або недоступні;

б) використання даних, отриманих на контрольних групах, коли порогові визначаються на основі аналізу даних, зібраних із контрольних груп, які представляють цікаву для вас популяцію. Наприклад, у системі оцінювання рівня рідини в баку, дані про фактичні рівні рідини можна зібрати та проаналізувати, щоб визначити оптимальні порогові для класифікації значень як «низькі», «середні» або «високі».

Формально порогові можна задати таким чином [121]:

$$\Gamma_j = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \Theta_{ij}}{\sum_{i=1}^n \alpha_{ij}}, \quad (3.21)$$

де $i \in [1, m]$;

$j = 1, 2$;

m – кількість експертів;

Θ_{ij} – значення j -го порога, що задається i -им експертом;

α_{ij} – ваговий коефіцієнт, що відображає ступінь довіри i -му експерту.

2. Визначення відсотка квітування, що відповідає кожному терму, є

важливим завданням у межах нечіткої логіки та теорії нечітких множин. Цей відсоток можна інтерпретувати як норматив часу, необхідний для виконання певного завдання або досягнення результату. У цьому контексті відсоток квітування відображає ступінь упевненості в тому, що певний лінгвістичний термін адекватно описує реальний стан процесу навчання (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Приклад розподілу квітування за термами

Джерело – [розроблено автором]

Оцінка	Незадовільно	Задовільно	Добре
% квітування	5	6	89

Відсоток квітування може бути визначений різними методами:

- аналіз історичних даних: збір та аналіз даних про виконання конкретних операцій;

- експертні оцінки: у випадках, коли дані недостатні або відсутні, можна звернутися до експертів у цій галузі. Підкласом такого підходу буде використання нормативної та технічної документації;

- статистичні методи, використовувані для обробки зібраних даних. Наприклад, можна використовувати методи регресійного аналізу для виявлення залежності між різними змінними і термами.

3. Отримання значень функцій приналежності.

Правило виведення (конкретизація значення) лінгвістичної змінної O_t формалізовано методом нечіткої логіки. Базову терм-множину O_t складають терми: незадовільно, задовільно, добре. Область міркувань $X = [0;100] [\%]$. Функції приналежності $\mu(x)$ для кожного терма задано у вигляді трапеції:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{інше.} \end{cases} \quad (3.22)$$

Результати опису лінгвістичної змінної O_i (сукупність $\mu(x)$ для всіх термів, виділених як рівні даної лінгвістичної змінної) наведено на рис. 3.4.

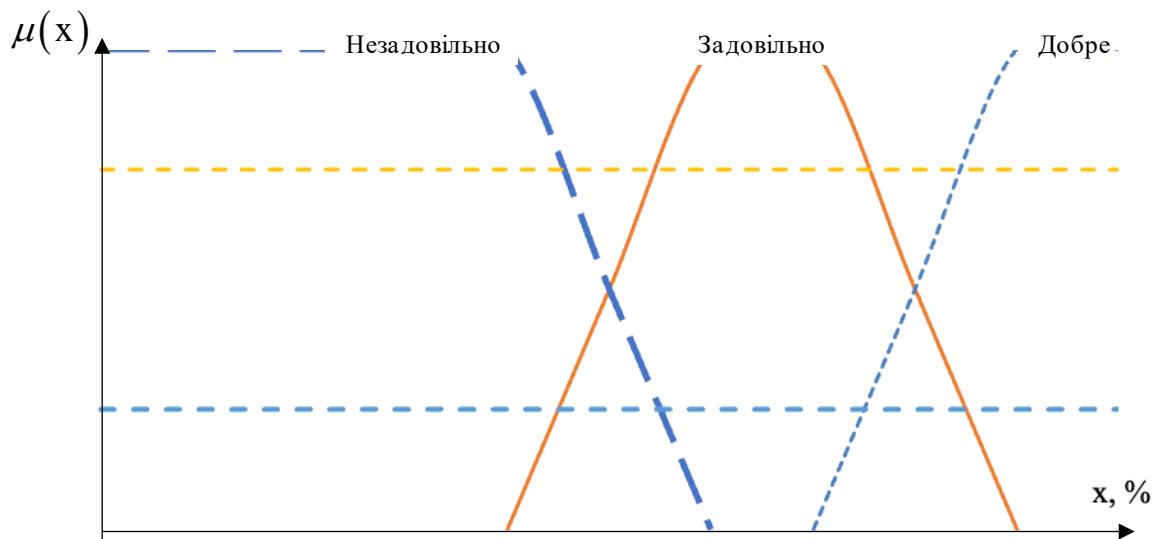


Рисунок 3.4 – Графічне відображення лінгвістичної змінної O_i

Джерело – [розроблено автором]

Прийняття рішення демонструє такий приклад.

Для $x = 85\%$: $\mu_2(x) = 0,25$ – ступінь приналежності терму «Незадовільно», $\mu_2(x) = 0,25$ – ступінь приналежності терму «Задовільно», $\mu_3(x) = 0,75$ – ступінь приналежності терму «Добре». Підсумковий результат має такий вигляд: $X(0,75)$, $Y(0,25)$, $H(0)$.

4. Розрахунок значення O_i виконується таким чином.

Правило 1. Визначаємо терм з найбільшим значенням функції

приналежності $\mu_i(x) = \max(i)$. Як видно з результатів розрахунку, в даному випадку – це терм «Добре».

Правило 2. Задамо правило, згідно з яким у разі, якщо значення одного з термів і функції приналежності $\mu_i(x)$ менше за поріг $\mu_i(x) < K$, де K – заданий поріг, то значення лінгвістичної змінної O_t дорівнює тому терму, що набуває максимального значення з двох, що залишилися $O_t \Leftarrow \max(j \neq i) \mu_j(x)$. В іншому разі лінгвістична змінна набуває значення того терму, значення функції приналежності якого $\mu_j(x) \geq K$ і максимальне.

Показник – «Час реалізації дій оператором, спрямованих на усунення наслідків помилкових дій (Т) (O_T)».

Задаються вид ФП термів лінгвістичної змінної, порогові значення порогу функції приналежності для прийняття рішення про значення лінгвістичної змінної, а також області допустимих значень лінгвістичної змінної, які відповідають описуваному реальному процесу практичної діяльності.

1. Розробляється таблиця для оцінювання значення оцінюваного параметра і його терму у лінгвістичній змінній для всієї множини помилкових дій під час виконання практичних завдань здобувачами освіти (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Відповідності між значенням оцінюваного параметра і його лінгвістичним термом

Джерело – [розроблено автором]

Терм	Незадовільно	Задовільно	Добре
Помилкова дія 1			
Межі T, c	$T > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < T < \Gamma_2$	$T \leq \Gamma_1$
Помилкова дія 2			
Межі T, c	$T > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < T < \Gamma_2$	$T \leq \Gamma_1$
...			
Помилкова дія n			
Межі T, c	$T > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < T < \Gamma_2$	$T \leq \Gamma_1$

2. Обчислюється частка невірних або помилкових операцій і дій, однак при цьому здобувач освіти вклався в часові нормативи і відповідні їм часові інтервали, кожному з яких відповідає певний терм (таблиця 3.4):

Таблиця 3.4 – Приклад розподілу T за термами

Джерело – [розроблено автором]

Оцінка	Незадовільно	Задовільно	Добре
% помилкових дій	5	6	89

3. Отримання значень функцій приналежності.

У цьому прикладі розглянемо, як за допомогою нечіткої логіки можна формалізувати правило виведення для лінгвістичної змінної O_T із заданою терм-множиною і функціями приналежності. Нехай базову терм-множину (область значень) лінгвістичної змінної O_T складають терми: «Незадовільно», «Задовільно», «Добре». Область значень лінгвістичної змінної позначимо як

X , де $X = [0; 100] [\%]$. ФП для кожного терму задано трапецеїдально:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{інші.} \end{cases} \quad (3.23)$$

На рис. 3.5 наведено графічне відображення O_T . Наведений приклад демонструє, як за допомогою нечіткої логіки можна визначити, до якого терму належить конкретне значення лінгвістичної змінної, що є важливим для прийняття рішень в умовах невизначеності.

4. Визначення значення O_T за сукупністю правил, аналогічних O_t .

Показник – «адекватність» (O_A).

Задано: вид функцій приналежності термів, поріг значень ФП для прийняття рішення про значення лінгвістичної змінної, область значень лінгвістичної змінної (аргументів ФП).

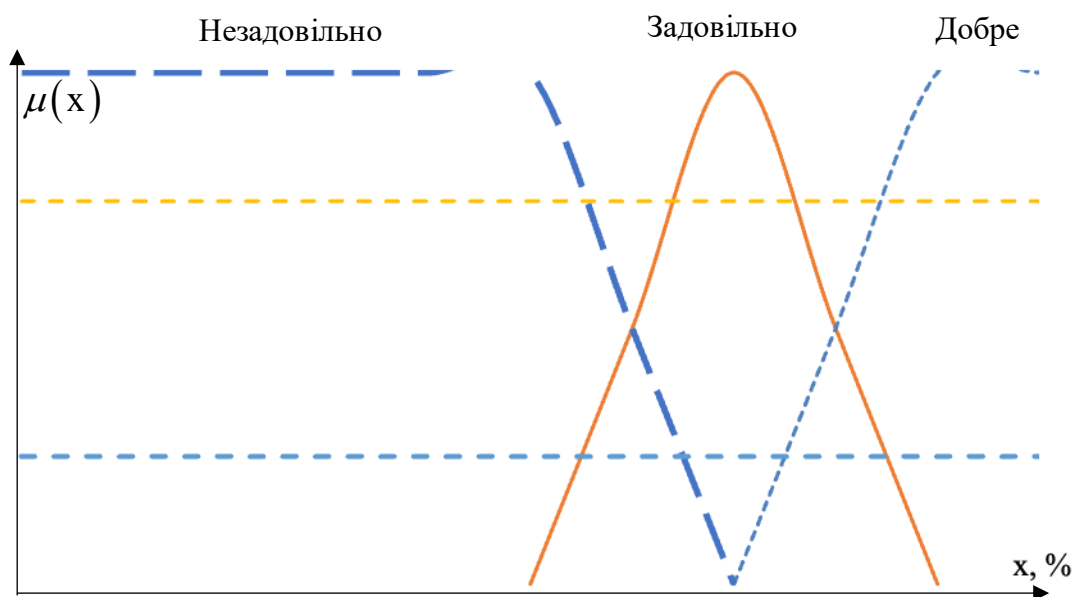


Рисунок 3.5 – Графічне відображення лінгвістичної змінної O_T

Джерело – [розроблено автором]

Визначити відсоток помилок, під час ліквідації яких оператор діяв адекватно щодо кожного введеного терму лінгвістичної змінної (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Співвідношення значень параметра та лінгвістичних термів

Джерело – [розроблено автором]

Оцінка	Незадовільно	Задовільно	Добре
% помилкових дій	$A < \Gamma_2$	$\Gamma_2 < A < \Gamma_1$	$A > \Gamma_1$

Сумарний бал підраховується з використанням уже відомих адитивних чи мультиплікативних процедур, оскільки всі оцінки приведені до шкали $[0,1]$.

Таким чином, об'єднання двох способів побудови логічної схеми задач оцінювання та приведення до єдиної шкали всієї множини відповідей – дає змогу ефективного проєктування та створення автоматизованих систем контролю знань у тренажерних комплексах.

Будь-яка автоматизована система контролю знань є ефективною лише, коли вона здатна адаптивно реагувати на кожного здобувача освіти під час проведення тестування. Така адаптація має передбачати самоорганізацію як структури логічної схеми задач, так і наповнення інформаційної бази. Ефект, який буде досягнуто в результаті цих процедур, забезпечить оптимальну роботу здобувачів освіти і викладачів над оцінюванням знань [123, 126, 127].

Запропонований метод дає змогу отримувати інтегральну оцінку ефективності діяльності здобувачів освіти на підставі декількох способів отримання оцінок:

- інтервали оцінок, отриманих на підставі знань експертів;
- аналіз результатів реальної тривалості здобувачів освіти під час тренажерної підготовки;
- статистичні методи обробки результатів тестування (оцінювання) діяльності операторів [128, 129].

3.3 Формування інтегральної оцінки операторської діяльності

Результати оцінювання діяльності здобувачів освіти під час тренажерної підготовки можуть бути представлені різними способами. У цій роботі буде використано підхід отримання підсумкового або інтегрального оцінювання різних видів діяльності з використанням лінгвістичних змінних і положення теорії нечітких мір і множин для їхнього опису.

Для представлення результатів інтегрального оцінювання введемо такі терми значення лінгвістичної змінної: Незадовільно (Незадов.), Задовільно (Задов.), Добре (Добре). Загальна (інтегральна) оцінка є функцією оцінок часткових показників:

$$M = F(O_t, O_A, O_T, \Gamma_j). \quad (3.24)$$

Для кожної лінгвістичної змінної N , Y , або X отримано оцінки значень їхніх термів. Для спільного оцінювання розроблено формальний алгебраїчний процес, що описує взаємодію лінгвістичних змінних термів, заданих за допомогою операцій, наведених у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Правила додавання в алгебрі лінгвістичних термів

Джерело – [розроблено автором]

Складові	Незадов.	Задов.	Добре
Незадов.	Незадов.	Незадов.	Незадов.
Задов.	Незадов.	Задов.	Задов.
Добре	Незадов.	Задов.	Добре

У цьому випадку Незадов.+Задов.+Добре=Незадов.; Добре+Добре+Задов.=Задов. тощо. Ця оцінка може бути отримана як за окреме завдання, набір операцій, або за інтервал часу чи вирішення комплексу

завдань. На рис. 3.6 наведено структуру методу формування узагальненої оцінки тренажерної підготовки оператора [23].

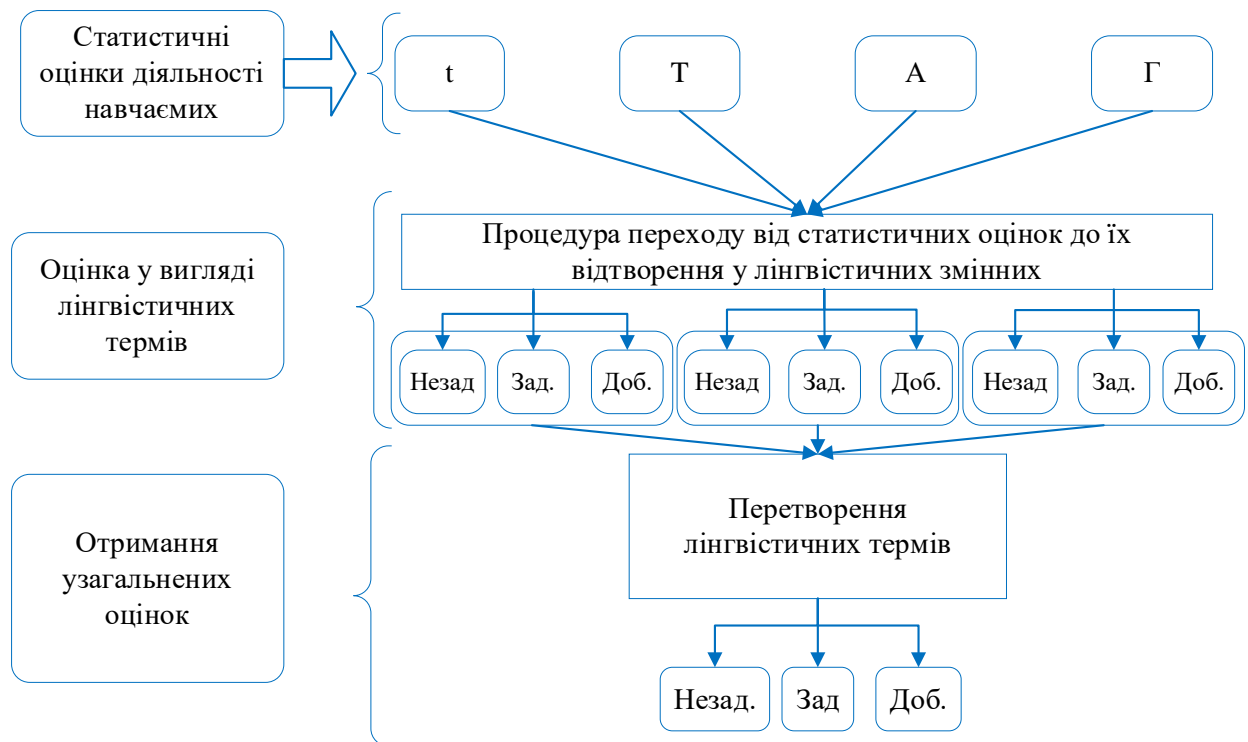


Рисунок 3.6 – Метод отримання узагальненої оцінки діяльності оператора з використанням нечітких термів

Джерело – [розроблено автором]

Узагальнену структуру методу оцінювання діяльності оператора наведено на рис. 3.7 [23].

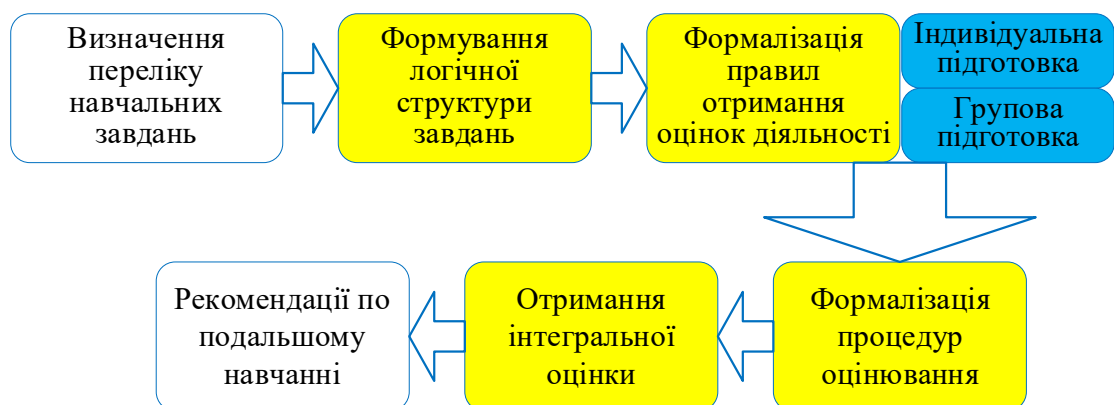


Рисунок 3.7 – Структура методу оцінки діяльності оператора

Джерело – [розроблено автором]

Висновки за третім розділом

1. Обґрунтовано використання часткових показників ефективності діяльності здобувачів освіти на тренажерному комплексі:

- імовірність виконання операції (або всього алгоритму вирішення завдання) за час t , що не перевищує заданого T_0 ;
- ймовірність виконання операції (або всього алгоритму вирішення завдання) з помилками Γ , що не перевищують заданої величини R_0 ;
- імовірність того, що кількість безпомилкових рішень L_i , прийнятих у процесі практичної діяльності, не менша за задану величину L_0 ;
- середнє значення (математичне сподівання) контрольованого показника;
- середнє квадратичне відхилення (дисперсія) контрольованого показника;
- сукупність середнього значення і середньоквадратичного відхилення контрольованого показника тощо.

2. Останніми роками спостерігається значний інтерес до розроблення методів та інструментів, що дають змогу точніше й об'єктивніше оцінювати як індивідуальну, так і групову діяльність здобувачів освіти. У зв'язку з цим було створено апарат формалізації правил, який ґрунтується на теорії нечітких множин. Ця методологія являє собою інноваційний підхід, що дає змогу інтегрувати оцінки різної природи в єдину формальну систему, що значно спрощує процес аналізу та інтерпретації результатів.

Розроблений апарат формалізації правил оцінювання містить кілька ключових компонентів:

- система термів, у рамках якої визначаються лексичні одиниці, які використовуються для опису рівня досягнень здобувачів освіти. Кожен з цих термів матиме свою функцію приналежності, яка визначає, наскільки конкретне значення (наприклад, бал або відсоток) відповідає цьому терму;
- функції приналежності, розроблювані для кожного терму, дають змогу кількісно оцінити ступінь відповідності між оцінкою і термом. Ці функції

можуть набувати різних форм, включно з трикутними, трапецеїдальними або гаусовими функціями, залежно від специфіки оцінювання;

– правила виведення, які формулюються на основі заданих функцій приналежності, які дають змогу перетворювати вхідні дані (оцінки) у вихідні значення (оцінки за термами). У роботі реалізовано алгебраїчний підхід до розв'язання цієї задачі.

3. Розроблено методику інтегральної оцінки діяльності здобувачів освіти. Об'єктивність отриманої оцінки досягається за рахунок використання статистичних даних, що відображають роботу судноводіїв у різних умовах під час тренувань. Розроблена методика дає змогу отримати інтегральну якісну оцінку й оцінку за кожним окремим показником за будь-який період часу.

4. Отримані інтегральні оцінки забезпечують об'єктивність контролю діяльності судноводіїв і рекомендації щодо їх подальшого навчання.

Основні результати досліджень, наведені в третьому розділі, опубліковано в статтях [23, 26], тезах доповіді [28], звіті з науково-дослідної роботи [131]

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ.

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОВОДІВ

Розроблені методи дають змогу оцінити ефективність підготовки судноводіїв і надати рекомендації щодо вдосконалення їх тренажерної підготовки. Крім того, вони дозволяють оцінити витрати на впровадження цих методів і розробку спеціального програмного забезпечення для тренажерів. Це питання докладно розглядається в розділі 4 даної роботи.

У підрозділі 4.1 розглядається вплив розроблених методів на інформаційне забезпечення тренажерного комплексу. Результати показують, що використання інтелектуальної системи у тренажері дає змогу отримати більш точні результати, ніж традиційні методи. Також наведено приклади формування початкових умов для різних рівнів складності інформаційної моделі. Доведено, що поступове збільшення складності вправ в залежності від рівня підготовки судноводія дає можливість розвивати творчі здібності й уникати монотонного повторення стандартних дій при керуванні судном.

Зокрема, використання інтелектуальної системи дозволяє тренажеру адаптуватися до рівня підготовки судноводія та забезпечувати більш ефективне навчання. Це досягається шляхом створення вправ, які поступово ускладнюються в міру зростання досвіду здобувача освіти. Такий підхід дозволяє судноводіям розвивати свої навички та вміння в нестандартних ситуаціях, а не просто повторювати стандартні дії.

У підрозділі 4.2 проаналізовано вплив розроблених методів на швидкість і точність прийняття рішень при управлінні судном в різних умовах під час тренажерної підготовки. Для цього була модифікована модель діяльності судноводія, що дозволило скоротити час на виконання всіх видів операцій на 9-32% і кількість помилок на 8-40%.

У підрозділі 4.3 оцінюється ефективність роботи тренажера в реалізації

запропонованих методів. Було визначено, що тренажер для підготовки судноводіїв має бути ефективним не тільки з функціональної точки зору, а й з методичної та економічної. Встановлено, що ефективність роботи тренажера залежить від вимог кваліфікаційної характеристики та факторів, що визначають відповідність тренажера конкретним завданням підготовки судноводіїв.

Запропонований тренажер був вивчений за кожним з цих факторів, і було виявлено, що його можливості в повноті вирішуваних завдань зросли на 7% і 43% для середніх і складних умов відповідно. Доведено, що запропонований тренажер забезпечує навчання за 11 компетентностями з 17 зазначених у кваліфікаційних характеристиках, що на 61% більше, ніж існуючий тренажер.

Також було встановлено, що якість оцінювання діяльності здобувачів освіти на запропонованому тренажері дозволяє автоматизованим засобам оцінювати їх дії за 8 критеріями з 12, що вдвічі перевищує існуючий тренажер.

Таким чином, отримані оцінки ефективності тренажера дозволяють стверджувати, що розроблені методи забезпечують досягнення сформульованої мети дослідження.

4.1 Розробка рекомендацій щодо вдосконалення інформаційного середовища тренажерного комплексу для підготовки судноводіїв

При управлінні судном судноводій спирається на інформацію про стан керованого об'єкта та елементів його оточення, яка надходить до нього по різних каналах зв'язку. Ця інформація формує в його свідомості інформаційну модель об'єкта управління й елементів надводної обстановки, декодовану у вигляді концептуальної моделі. Така модель дає йому змогу орієнтуватися у складному динамічному середовищі і приймати обґрунтовані рішення [78, 89].

Сучасні інформаційні технології надають можливості для розробки навчальних інформаційних моделей, що забезпечують повноту й якість імітації реальних процесів. В основі цих моделей лежать методичні принципи,

що забезпечують їх адаптивність до рівня підготовки і дій здобувачів освіти. Це означає, що моделі можуть бути налаштовані на різні рівні складності і динаміки залежності від рівня підготовки здобувачів освіти [120].

Однак існуючі тренажери для навчання судноводіїв мають обмежені можливості у створенні адаптивного інформаційного середовища, яке б імітувало різні ситуації і варіанти відображення елементів обстановки. Сценарії, що формуються на тренажерах, часто однотипні і не дозволяють задавати різні рівні складності і динаміки залежно від рівня підготовки здобувачів освіти. Це може привести до стереотипних дій оператора, коли одна і та ж ситуація при формуванні початкових умов для навчання породжує у нього звичні, але малоефективні дії.

Тому важливо забезпечити оператору такі умови діяльності, при яких не відбувалося б трансформацій сприйняти, що призводять до неефективних дій. Для цього необхідно розробити більш досконалі тренажери, які можуть моделювати різні ситуації і варіанти відображення елементів обстановки, а також забезпечувати адаптивність до рівня підготовки і дій здобувачів освіти. Це дозволить судноводіям розвивати більш ефективні навички та стратегії керування суднами в різних умовах.

Для інформаційного забезпечення процесу тренажерного навчання судноводіїв сформуємо початкові умови відображення елементів інформаційного оточення та варіанти відображення інформаційної моделі.

Тренажер, в якому використовується інтелектуальна система, побудована на основі нечіткої логіки, дозволяє отримати більш обґрунтовані і реалістичні результати в порівнянні з системами з використанням традиційних аналітичних моделей та алгоритмів управління [23, 26, 30, 125].

Для вибору початкових умов відображення елементів оточення відповідної інформаційної моделі використовувався алгоритм логічного виведення Ларсена. Приклад формування початкових умов відображення елементів інформаційного оточення для трьох варіантів інформаційної моделі (y_1 = спрощена, y_2 = проста, y_3 = складна) наведений на рис. 4.1, 4.2, 4.3.



Рисунок 4.1 – Приклад відображення елементів обстановки для інформаційної моделі «спрощена»
Джерело – [розроблено автором]



Рисунок 4.2 – Приклад відображення елементів обстановки для інформаційної моделі «проста»
Джерело – [розроблено автором]



Рисунок 4.3 – Приклад відображення імітаційних елементів "складної" інформаційної моделі «складна»
Джерело – [розроблено автором]

Вхідними даними для системи нечіткого виведення служать початкові значення параметрів обстановки і характеристик руху суден. Вони представлені у вигляді нечітких лінгвістичних змінних, наприклад «азимут», «дальність», «курс», «швидкість» та ін., що описують стан судна і навколишнього середовища. Ці змінні є нечіткими, оскільки вони можуть набувати невизначених значень, які важко описати точними числовими значеннями.

Вихідними параметрами системи НВ є нечітка лінгвістична змінна «інформаційна модель». Ця змінна є комплексною моделлю обстановки і характеристик руху суден, яка формується на основі вхідних даних.

Таким чином, запропоновано метод формування інформаційного середовища для навчання судноводія на базі інтелектуальної системи. Цей метод дозволяє сформувати набір початкових умов відображення елементів обстановки відповідної інформаційної моделі в залежності від значень вхідної інформації. У такій системі вправи динамічної складності генеруються залежно від рівня підготовки здобувачів освіти.

Такий підхід дозволяє здобувачам освіти розвивати вміння креативно

мислити в нестандартних ситуаціях, набувати навичок і вмінь управління суднами й екіпажами на тлі різноманітних форм і методів моделювання елементів обстановки. Крім того, такий підхід дозволяє уникнути монотонного повторення рутинних елементів діяльності, що сприяє підвищенню ефективності навчання і вдосконаленню майстерності судноводіїв.

Використання нечіткої логіки та інтелектуальних систем у навчанні судноводіїв дає змогу створити реалістичніше й динамічніше середовище навчання, яке імітує реальні умови керування суднами. Це дає змогу здобувачам освіти розвивати навички та вміння, які необхідні для ефективного керування суднами в різних ситуаціях, і підвищує безпеку судноплавства.

Основні результати моделювання початкових умов відображення елементів інформаційної моделі в наявних тренажерах і за використання запропонованого методу формування інформаційного середовища навчання наведено в табл. 4.1 [26, 30]

Таким чином, запропонований підхід дає змогу більш повно формувати початкові умови відображення інформації для проведення тренажерної підготовки.

4.2 Оцінка ефективності вирішення завдань управління суднами й екіпажами у процесі тренажерної підготовки

Оцінка ефективності діяльності судноводія в умовах мінливого інформаційного забезпечення є найважливішим аспектом підвищення безпеки та ефективності судноплавства. Для досягнення цієї мети пропонується використовувати модель орієнтованого графа, що дає змогу аналізувати процес прийняття рішень судноводієм у різних ситуаціях.

Таблиця 4.1 – Порівняльна характеристика основних результатів моделювання вихідних умов відображення елементів обстановки в існуючих тренажерах і при використанні запропонованого методу

Джерело – [розроблено автором]

Можливості тренажерів	Тренажно-моделювальний комплекс «Kongsberg Gruppen's K-Sim»	Тренажно-моделювальний комплекс «Wärtsilä's Voyage Simulation»	Перспективний тренажер на основі запропонованих методів
Рівень складності формованих вправ залежно від рівня підготовки судноводія	не передбачено	може задаватися	задається автоматично
Індивідуалізація умов проведення тренажу	ні	ні	є
Визначення рівня підготовки оператора	ні	ні	є
Можливість формувати радіолокаційне поле	ні	є	є
Повнота вирішуваних завдань	обмежено	не обмежено	не обмежено
Можливість формувати вихідні дані та параметри руху різних суден	обмежено	не обмежено	не обмежено, формується інтелектуальною системою
Контроль дій здобувачів освіти на всіх етапах тренування	здійснює інструктор	здійснює інструктор	Здійснюється системою управління якістю підготовки оператора та інструктором
Обробка даних об'єктивного контролю та оцінка діяльності: формування часткових і комплексних оцінок якості діяльності	здійснює інструктор	здійснює інструктор	Здійснюється системою управління якістю підготовки оператора
Гнучкість управління тренуванням: зупинка, повернення, повтор, варіювання масштабом часу, управління ситуаціями	обмежено	є	є

Модель, наведена на рисунках 4.4 і 4.5, відображає зміни в імовірностях переходів між подіями та інтервалах часу, що витрачаються на перехід від однієї події до іншої, залежно від ступеня підготовленості судноводія. Це дає змогу враховувати вплив проблемного навчання на зниження ймовірності помилок під час виконання різних операцій [28].

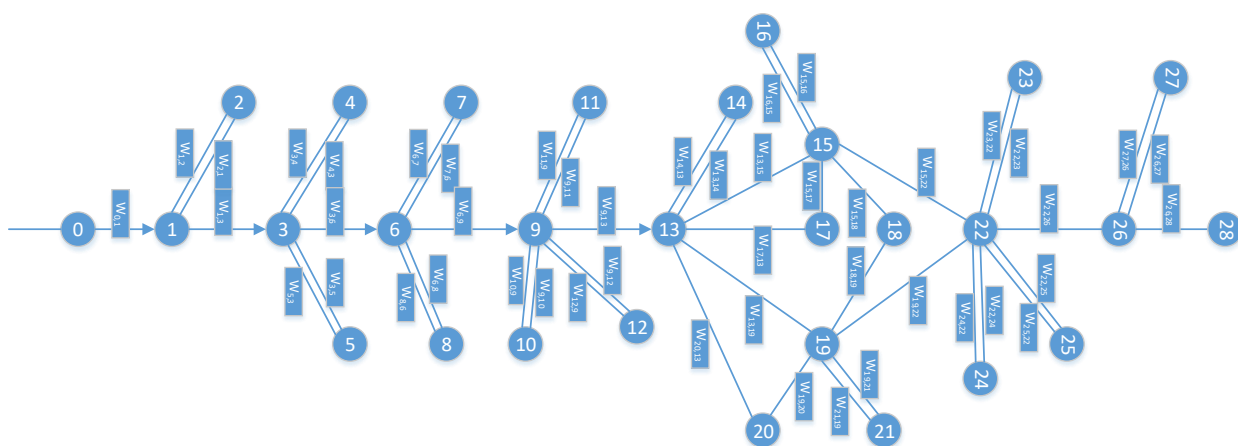


Рисунок 4.4 – Модель діяльності судноводія

Джерело – [розроблено автором]

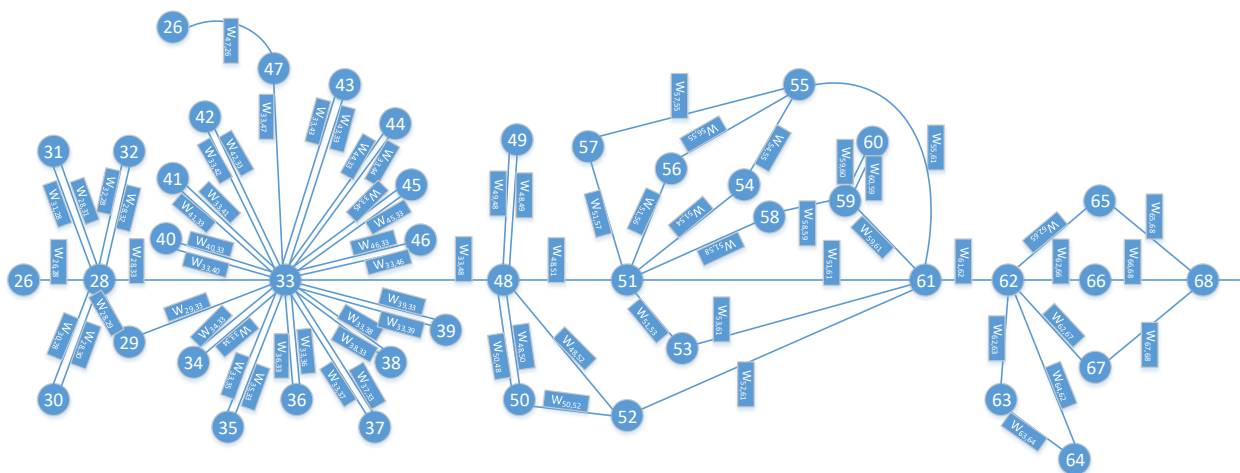


Рисунок 4.5 – Зміни у моделі діяльності судноводія залежно від ступеня його підготовленості

Джерело – [розроблено автором]

У результаті дослідження запропонованої моделі було отримано оцінки часових витрат на виконання різних операцій, пов'язаних з окремими діями

здобувачів освіти. Результати досліджень діяльності судноводіїв наведено на рисунках 4.6 і 4.7.



Рисунок 4.6 – Діаграма розподілу часу (с), витраченого судноводієм після завершення тренажерної підготовки у процесі вирішення практичних завдань

Джерело – [розроблено автором]



Рисунок 4.7 – Відносні витрати часу (с) судноводія після завершення тренажерної підготовки у процесі вирішення практичних завдань
Джерело – [розроблено автором]

Аналіз результатів показує, що використання орієнтованого графа дає змогу ефективно оцінювати діяльність судноводія в умовах мінливого інформаційного забезпечення. Модель дає змогу виявляти найбільш критичні моменти у процесі прийняття рішень й оптимізувати процес навчання судноводіїв для зниження ймовірності помилок.

Крім того, результати дослідження дають змогу зробити висновок про те, що проблемне навчання є ефективним способом зниження ймовірності помилок під час виконання різних операцій. Це підтверджується зниженням

імовірностей помилок у результаті проблемного навчання, що відображено в моделі орієнтованого графа.

Загалом, запропонована модель і результати дослідження дають змогу зробити висновок про те, що орієнтований граф є ефективним інструментом для оцінки діяльності судноводія в умовах мінливого інформаційного забезпечення. Це дає змогу оптимізувати процес навчання судноводіїв і підвищити безпеку та ефективність судноплавства.

Опрацювання результатів моделювання показало, що в усіх типах операцій оператор може припускатися помилок. При цьому результати порівняльної оцінки розподілу часу, що витрачається на виявлення і виправлення помилок за типами операцій, наведено на рис.4.8. Так, у модифікованій моделі на помилки сприйняття і декодування знакової інформації витрачається 11...20 с, помилки ідентифікації інформації – 8...19 с, помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах – 25...33 с, на помилки прийняття рішення – 9...12 с, помилки ведення радіообміну – 8...14 с.

Таким чином, використання розроблених методів дало змогу підвищити якість роботи судноводіїв, а саме скоротити час вирішення завдання прийняття рішень і виконання керуючих впливів за мінімізації помилок у його роботі. Так, час на помилки сприйняття і декодування знакової інформації скоротився на 40%, на помилки ідентифікації інформації – на 39%, на помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах – на 18-24%, на помилки прийняття рішення – на 8-10%, на помилки ведення радіообміну – на 22-33%.

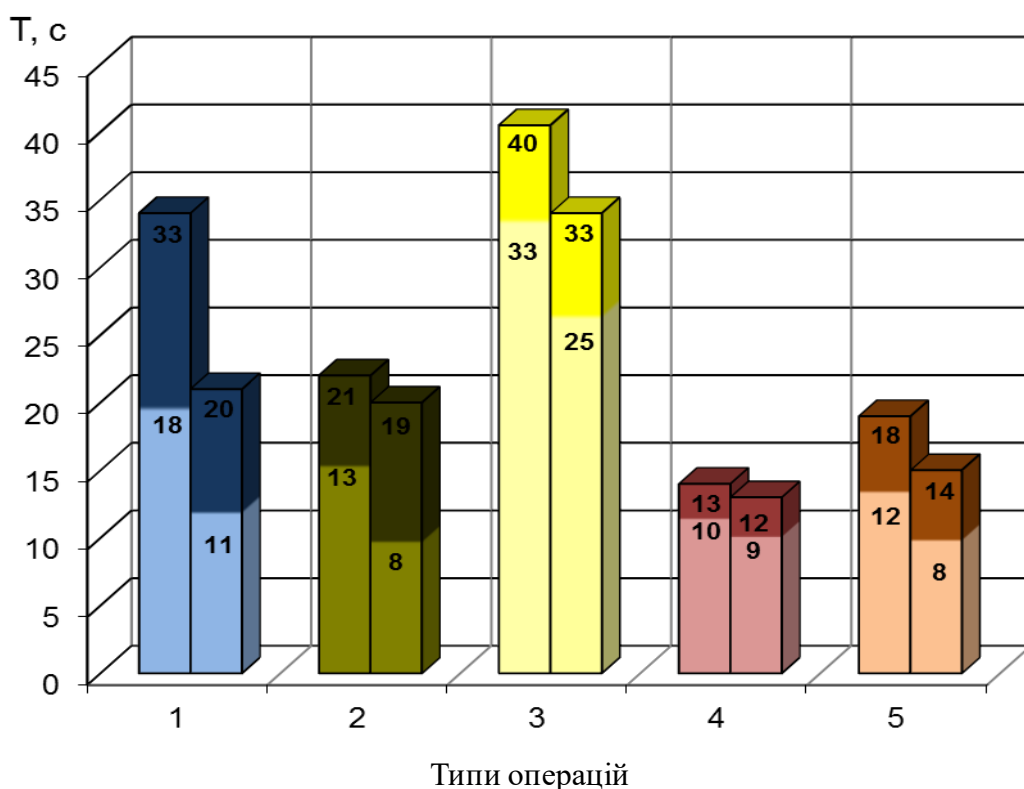


Рисунок 4.8 – Результати порівняльної оцінки розподілу часу, що витрачається на виявлення та виправлення помилок за типами операцій

- 1 – помилки сприйняття і декодування знакової інформації;
- 2 – помилки ідентифікації інформації про надводну обстановку;
- 3 – помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах;
- 4 – помилки прийняття рішення;
- 5 – помилки ведення радіообміну

Джерело – [розроблено автором]

4.3 Оцінка ефективності розробки тренажера для підготовки судноводіїв

Навчання судноводіїв за допомогою тренажерів є найважливішим аспектом їхньої підготовки до управління суднами та екіпажами. Основним завданням застосування тренажерів у навчанні судноводіїв є прищеплення певних знань, умінь і навичок, а також їхня автоматизована або автоматична перевірка та оцінка їхніх дій. Для досягнення цієї мети необхідно визначити

основні вимоги до судноводія, незалежно від його рівня кваліфікації.

До основних вимог до судноводія належать [9, 47, 49, 52, 58]:

- вироблення навичок правильного прийняття управлінських рішень в умовах складного інформаційного середовища. Це передбачає вміння аналізувати складні ситуації, виявляти проблеми та приймати ефективні рішення;

- вироблення навичок і вмінь операторської роботи з обладнанням. Це передбачає вміння працювати з різним обладнанням, включно з навігаційними системами, системами зв'язку та іншими;

- уміння застосовувати знання правил і процедур для управління суднами та екіпажами, а також прийняття рішень, як у штатних, так і в позаштатних ситуаціях. Це передбачає вміння застосовувати теоретичні знання на практиці та приймати рішення, виходячи з конкретних обставин.

Вироблення навичок управління судном і екіпажем є найважливішим завданням тренажерної підготовки. Для досягнення цієї мети використовуються вправи, сценарії яких поєднують у собі функціональні можливості тренажера і методику, що застосовується інструктором для вирішення поставлених у програмі навчання завдань. Ці вправи дають змогу судноводієві розвинути навички оперативної діяльності в нормальних, нестационарних і аварійних ситуаціях.

Метою операторської підготовки є оволодіння навичками оперативної діяльності, що забезпечують задані показники роботи. Сформовані при цьому навички повинні служити завданню прийняття найкращих рішень під час управління екіпажами. Для досягнення цієї мети використовують різні методи і підходи, включно із симуляцією різних ситуацій, тренінгом зі зворотним зв'язком та ін.

Загалом, навчання судноводіїв за допомогою тренажерів є найважливішим аспектом їхньої підготовки до управління суднами та екіпажами. Воно дає їм змогу розвинути необхідні навички та вміння, а також автоматизовано або автоматично перевірити й оцінити їхні дії. Це, своєю чергою, забезпечує підвищення безпеки та ефективності судноплавства.

Тренажер для підготовки судноводія має бути ефективним не тільки з функціонального, а й з методологічного та економічного погляду, тобто він має забезпечувати досягнення показників навчання за такими критеріями [57-67, 80-96]:

- повнота охоплення навчальних завдань, орієнтованих на кожного здобувача освіти;
- адекватність навчальної програми цілям і змісту курсу підготовки судноводіїв;
- витрати на тренажерне забезпечення підготовки.

Перераховані критерії дають змогу оцінити ефективність тренажерної підготовки, порівняти тренажери і забезпечити динамічну оцінку їхнього розвитку [80-96].

Для визначення ефективності використання тренажера в навчальному процесі необхідно враховувати вимоги кваліфікаційних характеристик і факторів, що визначають відповідність тренажера конкретним завданням підготовки судноводіїв [80]. Для цього введемо показник адекватності кваліфікаційної характеристики (F) і сформуємо склад чинників (K), що впливають на оцінювання адекватності та ефективності використання тренажера в процесі підготовки [106].

Таким чином, запропоновані оцінки тренажерів визначають відповідність даного тренажера вимогам підготовки. А саме, здатність вирішувати конкретні завдання тренажерної підготовки та забезпечити необхідний рівень компетентності.

Для оцінки ефективності тренажера треба визначити:

1. Які завдання і вправи можуть бути відпрацьовані на тренажері.
2. Які компетентності, із зазначених у кваліфікаційній характеристиці, можуть бути забезпечені тренажером.
3. Які функції обладнання реалізовані в тренажері.
4. Які методи оцінювання реалізовані в тренажері.

Розглянемо оцінку адекватності тренажера для підготовки судноводія.

Адекватність кваліфікаційній характеристиці визначається чотирма факторами.

1. Повнота вирішуваних завдань (K_1), тобто відношення кількості забезпечуваних тренажером завдань до повного числа завдань курсу підготовки:

$$K_1 = \frac{K_{p_1}}{K_{\text{необх}_1}}, \quad (4.1)$$

де K_{p_1} – кількість завдань, які дозволяє реалізувати тренажер;

$K_{\text{необх}_1}$ – кількість завдань, які необхідно вивчити судноводієві з повної кількості завдань (компетентностей) кваліфікаційної характеристики.

Першим слід розглянути той варіант, коли тренажер дає змогу вирішувати всі завдання, тобто забезпечується повнота їхнього вирішення, а отже, $K_1 = 1$.

Другий варіант – тренажер дає змогу вирішувати частину поставлених програмою завдань $0 \leq K_1 \leq 1$.

Третій можливий варіант – тренажер не дає змоги вирішити жодного завдання з кваліфікаційної характеристики фахівця, $K_1 = 0$. Це означає, що відсутня повнота вирішуваних тренажером завдань.

2. Конфігурація тренажера K_2 .

Відповідність конфігурації тренажера завданням тренажерної підготовки. Конфігурацію визначають як сукупність програмного забезпечення та апаратних засобів, що забезпечують вирішення певного переліку завдань. Стосовно тренажерів для підготовки судноводіїв цей параметр визначає можливість навчання процедур, методик і практики управління під час вирішення різних завдань. Таким чином, фактор конфігурації визначає можливість створення тренажером інтегрованого інформаційного середовища для відпрацювання дій у реальному часі:

$$K_2 = \frac{K_{p_2}}{K_{\text{необх}_2}}, \quad (4.2)$$

де K_{p_2} – кількість конфігураційних елементів об'єкта управління, які дає змогу реалізувати тренажер (пультове обладнання, інформаційна модель, зв'язок, засоби відображення тощо);

$K_{\text{необх}_2}$ – кількість реалізованих елементів реального об'єкта управління.

Якщо $K_2 = 0$, то конфігурація тренажера не відповідає вимогам забезпечення кваліфікаційної характеристики.

Якщо $0 < K_2 < 1$, то конфігурація тренажера дозволяє забезпечити відпрацювання завдань для набуття необхідних умінь і навичок тією чи іншою мірою.

3. Ступінь забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики K_3 .

Цей фактор характеризує те, наскільки в кількісному вираженні виконано вимоги щодо прищеплення навичок, умінь і знань у тренажері:

$$K_3 = \frac{K_{p_3}}{K_{\text{необх}_3}}, \quad (4.3)$$

де K_{p_3} – кількість компетенцій, зазначених у кваліфікаційній характеристиці, які забезпечуються тренажером;

$K_{\text{необх}_3}$ – кількість усіх компетенцій, зазначених у кваліфікаційній характеристиці.

Під час оцінювання фактору K_3 «Ступінь забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики» слід врахувати, що, чим вищий результат підсумкового оцінювання компетентності після закінчення навчання, тим вища ефективність тренажера.

Тоді маємо: $K_3 = 1$ – тренажер повністю забезпечує рівень

компетентності здобувача освіти;

$K_3 = 0$ – тренажер не забезпечує рівень компетентності здобувача освіти;

$0 < K_3 < 1$ – тренажер частково забезпечує рівень компетентності здобувача освіти.

4. Якість оцінювання діяльності оператора K_4 .

Під час оцінювання фактору K_4 мають враховувати положення регламентувальних документів:

– тренажер повинен забезпечувати можливість перевірки досягнення рівня підготовки судноводія;

– тренажер повинен мати встановлені й явно виражені критерії оцінювання для того, щоб забезпечити надійність та одноманітність оцінки;

– тренажер повинен забезпечувати можливість здобувачеві освіти продемонструвати здатність виконувати завдання безпечно й ефективно;

– тренажер повинен задовольняти конкретним цілям оцінювання та навчання.

$$K_4 = \frac{K_{p_4}}{K_{\text{необх}_4}}, \quad (4.4)$$

де K_{p_4} – кількість критеріїв оцінювання дій здобувача освіти (час виконання операцій, алгоритм дій, правильність виконання операцій та ін.), які забезпечуються тренажером;

$K_{\text{необх}_4}$ – кількість усіх критеріїв оцінки дій оператора, зазначених у регламентувальних документах.

Отже, якщо тренажер володіє автоматичними або автоматизованими засобами оцінки діяльності здобувача освіти, що використовують чіткі критерії та методику оцінювання, то $K_4 = 1$. Якщо тренажер не дозволяє здійснити оцінку діяльності оператора, то $K_4 = 0$. Якщо тренажер не володіє автоматичними або автоматизованими засобами оцінювання діяльності

здобувача освіти, але дає змогу здійснити оцінювання його знань, умінь, навичок, коли інструктор застосовує критерії та методику оцінювання, то $0 < K_4 < 1$.

Для оцінки ефективності тренажера необхідно об'єднати часткові чинники в узагальнений показник ефективності тренажера.

За показник ефективності визначимо функціонал Q , що залежить від часткових чинників K_i :

$$Q = Q(W_i \cdot K_i), i = 1 \dots M, \quad (4.5)$$

де M – кількість чинників показника адекватності кваліфікаційної характеристики;

W_i – вагові коефіцієнти, що враховують важливість окремих чинників у загальній оцінці ефективності.

Вагові коефіцієнти приймають значення від одиниці (дуже важливий параметр) до нуля (параметр не враховується). Вибір значень W_i залежить від призначення системи. Таким чином, для визначення ефективності тренажера необхідно ранжувати параметри $K_1 \dots K_n$.

Слід зазначити, що наведені нами фактори показника адекватності кваліфікаційної характеристики тренажера не рівноважні. Кожен із них має певне вагове значення, що відрізняється один від одного.

Таким чином, у разі, якщо показник Q (ефективність тренажера) дорівнює одиниці або потрапляє в інтервал значень $0,8-1,0$, то тренажер можна віднести до найвищого класу відповідності, що означає таке:

1) тренажер відповідає цілям і завданням підготовки, на ньому можна забезпечити навчання та оцінку за всіма компетентностями, зазначеними у кваліфікаційній характеристиці фахівця;

2) тренажер має достатню і необхідну функціональну повноту, реалізує всі важливі функції обладнання автоматизованого робочого місця і забезпечує

виконання всього необхідного переліку завдань навчання, тобто є повний набір баз даних, необхідних для виконання функціональних завдань і завдань, що формують вихідну інформацію.

У разі, якщо показник Q потрапляє в інтервал значень 0-0,5, то тренажер можна віднести до нижчого класу відповідності, що означає таке:

1) тренажер не повною мірою відповідає цілям і завданням підготовки, з його допомогою неможливо повністю забезпечити необхідну кваліфікаційну характеристику;

2) тренажер не має достатньої та необхідної функціональної повноти, тобто не забезпечує виконання всього необхідного переліку завдань навчання, при цьому набір баз даних з необхідною для виконання функцій і завдань інформацією відсутній або не актуалізований.

Під час розгляду показника адекватності кваліфікаційної характеристики було визначено відповідний набір чинників. Очевидно, що кількісна сумарна оцінка цього показника адекватності також визначатиметься кількісними значеннями кожного з цих факторів.

Для визначення чисельного значення кожного фактору, для визначення ефективності тренажера, необхідно скласти словесні описи та визначити відповідні можливі діапазони кількісних значень оцінок факторів.

Сформуємо словесні описи факторів показника адекватності. Словесна характеристика чинника містить у собі лише загальні риси та опис. Словесні описи і можливі чисельні значення за кожним фактором наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Адекватність кваліфікаційної характеристики F

Джерело – [розроблено автором]

Найменування критерію	Позначення фактору	Опис фактору	Чисельне значення фактору
Адекватність кваліфікаційній характеристики F	K ₁	Повнота вирішуваних завдань – тренажер дає змогу вирішувати всі завдання, тобто забезпечується повнота вирішуваних, або тренажер дає змогу вирішувати частину поставлених програмою завдань (розраховується, яку кількість завдань із потрібної кількості тренажер дає змогу вирішувати), або тренажер не дає змоги вирішувати жодного завдання з кваліфікаційної характеристики фахівця	0-1
	K ₂	Відповідність конфігурації – тренажер дає змогу створити інтегроване інформаційне середовище для відпрацювання всіх важливих завдань, усіх умінь і навичок, які вимагаються кваліфікаційною характеристикою та програмою навчання, або конфігурація тренажера не відповідає вимогам забезпечення кваліфікаційної характеристики, або конфігурація тренажера дає змогу забезпечити опрацювання частини важливих завдань для набуття умінь і навичок, які вимагаються кваліфікаційною характеристикою та програмою навчання.	0-1

Продовження таблиці 4.2

Найменування критерію	Позначення фактору	Опис фактору	Чисельне значення фактору
Адекватність кваліфікаційній характеристики F	K_3	<p>Ступінь забезпечення вимог:</p> <ul style="list-style-type: none"> – $K_3 = 1$ – тренажер повністю забезпечує рівень компетентності здобувача освіти; – $K_3 = 0$ – тренажер не забезпечує рівень компетентності здобувача освіти; – $0 < K_3 < 1$ – тренажер частково забезпечує рівень компетентності здобувача освіти 	0-1
	K_4	<p>Якість оцінювання діяльності оператора – тренажер має автоматичні або автоматизовані засоби оцінювання діяльності оператора, що використовують чіткі критерії та методику оцінювання, $K_4 = 1$, або тренажер не дає змоги здійснити оцінювання діяльності оператора, $K_4 = 0$, або тренажер не має автоматичних або автоматизованих засобів оцінювання діяльності оператора, але дає змогу здійснити оцінювання знань, умінь, навичок того, хто навчається, коли інструктор застосовує критерії та методику оцінювання $0 < K_4 < 1$.</p>	0-1

Проведемо дослідження розробленого тренажера за кожним із запропонованих факторів.

1. Повнота вирішуваних завдань.

Аналізуючи наведені результати, можна зробити такі висновки (рис. 4.9).

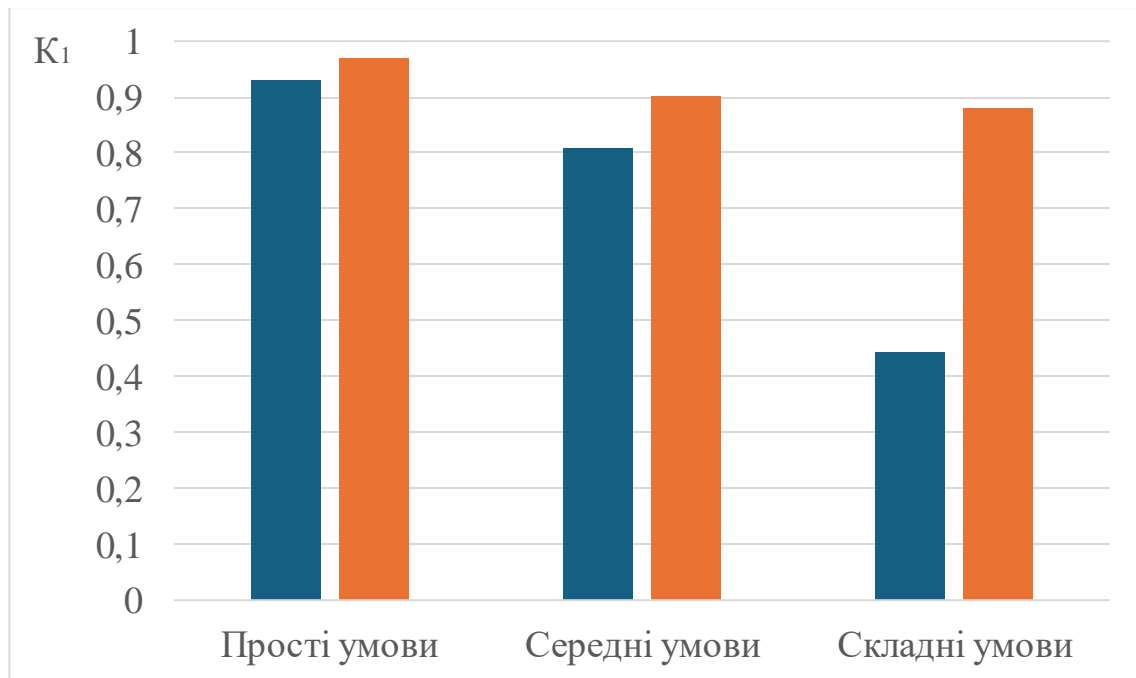


Рисунок 4.9 – Оцінка повноти вирішуваних завдань розробленого тренажера
Джерело – [розроблено автором]

Для простих умов проведення тренажерної підготовки підійдуть обидва тренажери. Для проведення тренажу в умовах середньої складності і, особливо, в складних умовах перевага за повнотою вирішуваних завдань становить 7% і 43% відповідно. Настільки значної переваги вдалося досягти завдяки використанню інформаційних технологій і адекватніших математичних методів урахування чинників, що впливають на формування інформаційного середовища навчання.

2. Конфігурація тренажера під час проведення дослідження не змінювалася. Тому вважатимемо, що параметр K_2 однаковий для кожного з розглянутих тренажерів.

3. Ступінь забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики K_3 .

Цей параметр відображає можливість підготовки судноводіїв відповідно до вимог кваліфікаційної характеристики до рівня його кваліфікації.

До фахівців з управління надводними суднами пред'являються 18 компетенцій, зазначених у вимогах кваліфікаційної характеристики. Наявний тренажер забезпечує підготовку за 6 компетенціями, зазначеними у кваліфікаційній характеристиці, відповідно $K_3 = 0,33$. Запропонований тренажер забезпечує підготовку за 11 компетенціями. Для цього випадку забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики $K_3 = 0,61$. Представимо отримані дані графічно (рис. 4.10).

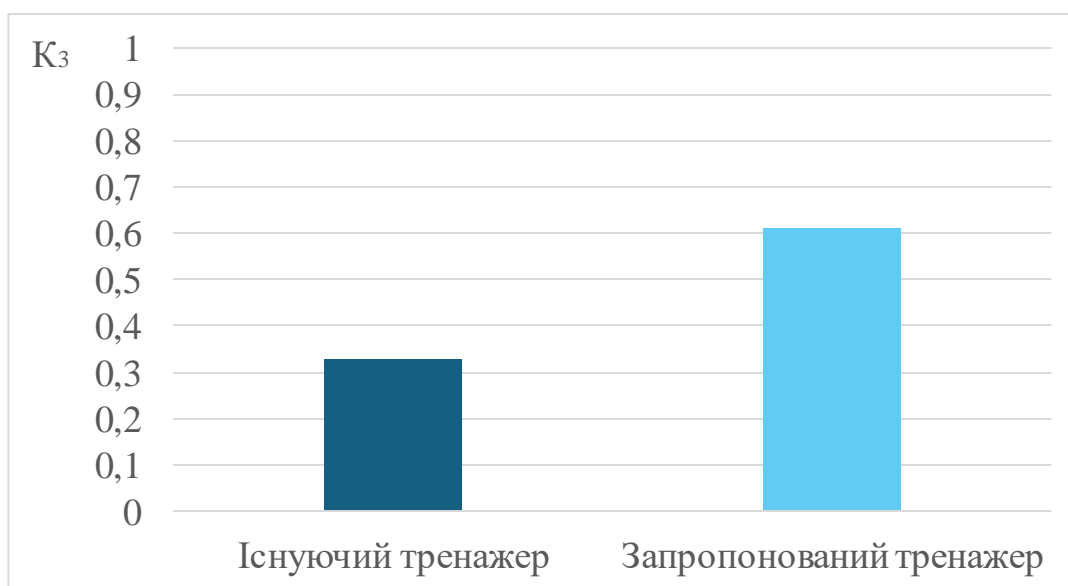


Рисунок 4.10 – Забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики в тренажерах

Джерело – [розроблено автором]

4. Якість оцінки діяльності судноводія K_4 . Людина-оператор посідає провідне місце в системі «людина-машина». Тому під час оцінювання ефективності тренажера однією з найважливіших складових є оцінка його діяльності.

Цей параметр відображає здатність тренажера забезпечувати оцінку дій людини за обраними критеріями для перевірки вмінь і навичок.

Судноводії оцінюються за 12 критеріями. Наявний тренажер не володіє автоматичними або автоматизованими засобами оцінювання діяльності, проте дає змогу інструкторові здійснити оцінювання вмінь і навичок за 4 критеріями. Відповідно $K_4 = 0,33$. Запропонований тренажер забезпечує оцінку дій автоматизованими засобами за 8 критеріями. Для даного випадку якість оцінювання діяльності оператора $K_4 = 0,66$. Представимо отримані дані графічно (рис. 4.11).

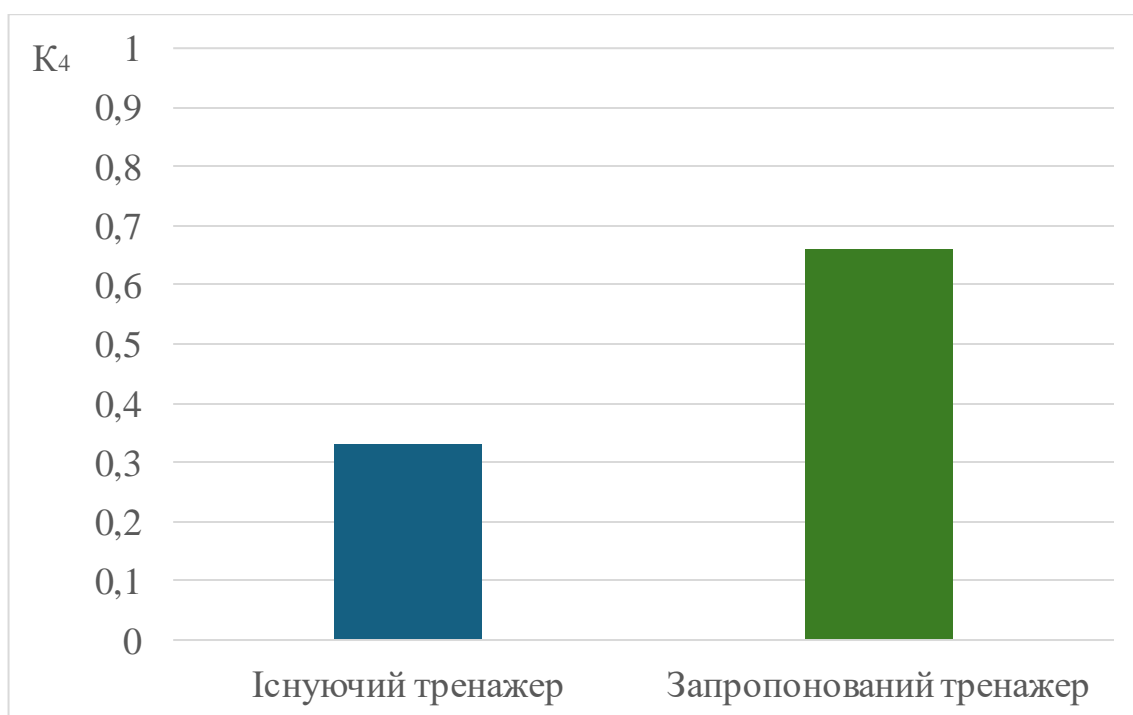


Рисунок 4.11 – Якість оцінювання діяльності оператора

Джерело – [розроблено автором]

Отримані результати свідчать про ефективність розроблених методів і самого тренажера і можуть бути використані для побудови перспективних і створення нових тренажерів.

Висновки за четвертим розділом

1. Отримані дані дають змогу зробити висновок, що використання методів формування інформаційного середовища навчання та модифікованої моделі діяльності судноводія дає можливість формувати множину початкових умов відображення елементів обстановки відповідної інформаційної моделі залежно від значень вхідної інформації.

2. Застосування запропонованого підходу дає змогу розвивати у здобувачів освіти здатність креативно мислити в нестандартних ситуаціях, набувати вмінь і навичок дій з управління суднами та екіпажами на тлі різноманіття форм і методів моделювання елементів обстановки. Крім того, цей підхід дає змогу відійти від одноманітного багаторазового повторення шаблонних елементів діяльності, що робить процес навчання більш ефективним і цікавим.

3. Для оцінки ефективності розроблених методів було запропоновано модифіковану модель діяльності судноводія, що враховує особливості підготовки під час використання тренажерів. Отримані результати показують, що використання розроблених методів дало змогу підвищити оперативність роботи судноводія, скоротивши час вирішення завдань шляхом мінімізації помилок у його роботі.

Так, час на помилки сприйняття і декодування знакової інформації скоротився на 40%, на помилки ідентифікації інформації про навколишнє оточення – на 39%, на помилки виконання типового алгоритму діяльності на технічних засобах – на 18-24%, на помилки прийняття рішення – на 8-10%, на помилки ведення радіообміну – на 22-33%. Загалом, отримані результати дають змогу скоротити час виконання всіх типів операцій судноводієм на 9-32%, а кількість помилок у його роботі – на 8-40%.

4. Дослідження щодо ефективності запропонованого тренажера показало, що він має низку переваг перед наявним тренажером. Так, для простих умов проведення тренажерної підготовки підійдуть обидва

тренажери, але для проведення тренажеру в умовах середньої складності та складних умовах перевага за повнотою розв'язуваних завдань становить 7% і 43% відповідно.

Крім того, наявний тренажер забезпечує підготовку за 6 компетенціями з 18, зазначених у кваліфікаційній характеристиці, тоді як запропонований тренажер забезпечує підготовку за 11 компетенціями. Це означає, що запропонований тренажер дає змогу підвищити рівень підготовки за кількістю забезпечуваних компетенцій до 61%.

Також параметр, що характеризує якість оцінки діяльності оператора в запропонованому тренажері, дає змогу автоматизованими засобами оцінити дії судноводія за різними критеріями. Запропонований тренажер дав змогу підвищити кількість оцінюваних критеріїв у 2 рази.

5. Загалом, отримані оцінки ефективності тренажера дають змогу стверджувати, що розроблені методи забезпечують досягнення сформульованої мети дослідження, а саме підвищення ефективності підготовки судноводіїв та покращення їхніх навичок і вмінь в управлінні суднами та екіпажами.

Основні результати досліджень, наведені в четвертому розділі, були опубліковані в статтях [24 – 26], тезах доповіді [28, 30].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання розробки методу синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок управління судном. При цьому отримано такі наукові та практичні результати.

1. Результати проведеного аналізу сучасного стану і тенденцій розвитку тренажерних комплексів свідчать про перспективи впровадження знанняорієнтованих систем для генерації можливих сценаріїв роботи тренажерів підготовки судноводіїв. Системи штучного інтелекту дають змогу ефективно оцінювати дії здобувачів залежно від їхнього рівня підготовки, темпу засвоєння матеріалу та специфіки виконуваних завдань. А можливості штучного інтелекту моделювати різні ситуації, у тому числі екстрені випадки і непередбачувані обставини, підвищують продуктивність системи і дають змогу підготувати екіпажі до дії в умовах стресу і невизначеності.

2. Сформульовано типові завдання розроблення методу синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок управління судном:

- аналіз моделі діяльності судноводія під час управління судном у різних умовах для оцінювання часу виконання окремих операцій і виниклих помилок у його роботі;
- розроблення методу формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки;
- розроблення методу відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу;
- розроблення моделі формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі;
- оцінювання ефективності розроблених методів під час їх реалізації в тренажері.

3. *Одержав подальшого розвитку метод* формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінки рівня підготовки судноводія під час тренажерної підготовки, який, на відміну від відомих, відрізняється адаптивною процедурою вибору заданої кількості тестів із множини тестових методик з визначення рівня професійної підготовки здобувача освіти, що дозволяє мінімізувати час вибору.

4. *Удосконалено метод* відбору інформаційних елементів для синтезу інформаційного середовища тренажерного комплексу, який, на відміну від відомих, відрізняється застосуванням процедури нечіткого логічного виведення Ларсена у процесі ситуаційного формування інформаційної моделі під час підготовки судноводіїв, що дозволяє індивідуалізувати відображення елементів надводної обстановки відповідно до вирішуваних завдань і формувати вправи дозовано прогресуючої складності.

5. *Вперше розроблено модель* формування інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі, яка базується на використанні інтелектуальних методів управління інформаційним забезпеченням тренажерів і проведенням вхідного, проміжного й підсумкового контролю сформованості навичок судноводіїв з фіксацією логічних, операційних і часових помилок для внесення необхідних змін до програми підготовки.

6. *Реалізація запропонованого в дисертаційній роботі підходу* щодо синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв дає змогу формувати набір індивідуальних тестових завдань, інформаційне середовище тренажерного комплексу та оцінити діяльність судноводіїв.

За допомогою методу формування набору індивідуальних тестових завдань здійснюється оцінювання рівня підготовки судноводія.

Метод формування інформаційного середовища навчання в тренажерному комплексі для підготовки судноводіїв дає змогу формувати індивідуальні вправи дозовано прогресуючої складності з відображенням

елементів навколишнього середовища відповідно до вирішуваних завдань.

Для отримання інтегральної оцінки діяльності здобувачів освіти та рекомендації щодо їх подальшого навчання розроблено апарат формалізації правил отримання оцінок індивідуальної та групової діяльності.

Отримані результати дають змогу скоротити час вирішення завдання управління судном на 9-32%, а кількість помилок у його роботі – на 8-40%.

Коректний опис предметної області великою кількістю значущих чинників водночас дозволив підвищити обґрунтованість отриманих рішень.

7. Значення вирішеного у дисертації завдання для науки полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ побудови та застосування тренажерних комплексів для підготовки судноводіїв.

8. Практичне значення отриманих результатів полягає у подальшому удосконаленні елементів спеціального математичного та програмного забезпечення судових тренажерних комплексів на базі розроблених моделей і методів, що дозволяють зменшити помилки при управлінні судном під час вирішення завдань підготовки судноводіїв.

9. Методи дослідження базуються на методах системного аналізу, теорій графів, множин, нечітких множин, ергономічного проектування, математичного моделювання.

10. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується результатами експериментів для оцінювання впливу розроблених методів на оперативність і безпомилковість вирішення завдання управління судном у різних умовах; коректним використанням методів системного аналізу, теорії множин, графів, нечітких множин, ергономічного проектування на етапах теоретичних досліджень, моделювання й аналізу одержаних результатів, а також залученням широкого наукового загалу до апробації результатів роботи на наукових конференціях.

11. Наукові та прикладні результати досліджень, отримані в дисертації, доцільно використовувати при розробці судових тренажерних комплексів й елементів їхнього спеціального математичного та програмного

забезпечення у процесі підготовки здобувачів освіти для зменшення помилок при управлінні судном; у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків удосконалення суднових тренажерних комплексів; у вищих навчальних закладах – для вдосконалення системи підготовки фахівців зі спеціальності морський та внутрішній водний транспорт.

12. *Теоретичні результати дисертаційних досліджень впроваджені у ТОВ НТЦ "ФЛАГМАН" під час виконання етапів науково-методичних досліджень з питань удосконалення форм і методів підготовки судноводіїв у тренажерному комплексі, акт від 10.12.2024 р., а також у навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій, Херсонської державної морської академії та Вільнюського технічного університету Литовської морської академії.*

Таким чином, мета дослідження, яка полягає у зменшенні помилок при управлінні судном під час вирішення завдань підготовки судноводіїв на тренажерних комплексах, є досягнутою, а дисертаційна робота – завершеною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Álvarez, N. G., Adenso-Díaz, B., & Calzada-Infante, L. (2021). Maritime traffic as a complex network: A systematic review. *Networks and Spatial Economics*, 21(2), 387-417.
2. Yang, D., Wu, L., Wang, S., Jia, H., & Li, K. X. (2019). How big data enriches maritime research—a critical review of Automatic Identification System (AIS) data applications. *Transport Reviews*, 39(6), 755-773.
3. Sardain, A., Sardain, E., & Leung, B. (2019). Global forecasts of shipping traffic and biological invasions to 2050. *Nature Sustainability*, 2(4), 274-282.
4. Sherehiy, B., Karwowski, W., & Layer, J. K. (2007). A review of enterprise agility: Concepts, frameworks, and attributes. *International Journal of industrial ergonomics*, 37(5), 445-460.
5. Martelli, M., Viridis, A., Alberto, G., Casarra, P., & Di Summa, M. (2022). An outlook on the future marine traffic management system for autonomous ships. *IEEE Access*, 9, 157316–157328.
6. Uyà Juncadella, À. (2022). Vessel Traffic Services, towards e-Navigation: the role of Oceanic VTS in global maritime surveillance.
7. Hebbar, A. A., Schröder-Hinrichs, J. U., & Yildiz, S. (2024). Vessel Traffic Management in the Era of Maritime Autonomous Surface Ships and Digitalization: Experiences in European Waters. In *Area-Based Management of Shipping: Canadian and Comparative Perspectives* (pp. 185-205). Cham: Springer Nature Switzerland.
8. Li, Z., Yao, C., Zhu, X., Gao, G., & Hu, S. (2022). A decision support model for ship navigation in Arctic waters based on dynamic risk assessment. *Ocean Engineering*, 244, 110427.
9. Yang, X., Lin, Z. Y., Zhang, W. J., Xu, S., Zhang, M. Y., Wu, Z. D., & Han, B. (2024). Review of risk assessment for navigational safety and supported decisions in arctic waters. *Ocean & Coastal Management*, 247, 106931.
10. Wennink, C. J. (1992). Collision and grounding risk analysis for ships

navigating in confined waters. *The Journal of Navigation*, 45(1), 80-90.

11. Jia, S., Li, C. L., & Xu, Z. (2019). Managing navigation channel traffic and anchorage area utilization of a container port. *Transportation Science*, 53(3), 728-745.
12. Andersson, P., & Ivehammar, P. (2016). Cost benefit analysis of dynamic route planning at sea. *Transportation Research Procedia*, 14, 193-202.
13. Xu, H., Yin, Z., Jia, D., Jin, F., & Ouyang, H. (2011). The potential seasonal alternative of Asia–Europe container service via Northern sea route under the Arctic sea ice retreat. *Maritime Policy & Management*, 38(5), 541-560.
14. Martelli, M., Viridis, A., Gotta, A., Cassarà, P., & Di Summa, M. (2021). An outlook on the future marine traffic management system for autonomous ships. *IEEE Access*, 9, 157316-157328.
15. Danylenko, O. B., Soroka, O. M., Dukov, D. F., Soshnikov, S. G., & Kramarenko, V. V. (2021). Application of information and communication technologies and simulators to train future specialists in navigation and ship handling. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1031, No. 1, p. 012117). IOP Publishing.
16. Bernardo, A. (2017). Virtual reality and simulation in neurosurgical training. *World neurosurgery*, 106, 1015-1029.
17. Alonso, F., Faus, M., Riera, J. V., Fernandez-Marin, M., & Useche, S. A. (2023). Effectiveness of driving simulators for drivers' training: a systematic review. *Applied Sciences*, 13(9), 5266.
18. Baldauf, M., Dalaklis, D., & Kataria, A. (2016). Team training in safety and security via simulation: A practical dimension of maritime education and training. In *INTED2016 Proceedings* (pp. 8519-8529). IATED.
19. Costa, N. A., Jakobsen, J. J., Weber, R., Lundh, M., & MacKinnon, S. N. (2018). Assessing a maritime service website prototype in a ship bridge simulator: navigators' experiences and perceptions of novel e-Navigation solutions. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 17(4), 521-542.
20. Lisowski, J. (2021). Computational intelligence in marine control

engineering education. Polish Maritime Research, 28(1), 163-172.

21. Vagale, A., Osen, O. L., Brandsæter, A., Tannum, M., Hovden, C., & Bye, R. T. (2022, July). On the use of maritime training simulators with humans in the loop for understanding and evaluating algorithms for autonomous vessels. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2311, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.

22. Сокол А.О. Метод формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінювання рівня підготовки судноводія у процесі тренажерної підготовки / А.О. Сокол // Судноводіння, - 2024. - Випуск № 36. С. 171-180. URL: <https://navjournal-nuoma.learnmarine.com/project/vipusk-v36/> (<https://doi.org/10.31653/2306-5761.36.2024.171-180>)

23. Сокол А.О. Метод оцінювання результатів діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2024. – №3(41). – С. 23-32. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/364> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41>)

24. Сокол А.О. Метод автоматизації процесу синтезу інформаційного середовища навчання в тренажерному комплексі підготовки судноводіїв / А.О. Сокол // Розвиток транспорту. – 2024. – Випуск №4(23). – С. 42-54. URL: <https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/387> (<https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.04>)

25. Сокол А.О. Людський елемент, як складова ризику виникнення небажаної події на морському судні / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2023. – №2(38). – С. 49-54. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/281> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.3>)

26. Сокол А.О. Вплив тривалості рейсу на психоемоційний стан членів екіпажу судна / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2021. – №3(34). – С. 117-122. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/195> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34>)

27. Сокол А.О., Пролазов О. С. Контроль, оцінка та запобігання ризикам при роботі у замкненому просторі : XI Всеукраїнська студентська наукова

конференція – Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства: тези доп., 18 листопада 2021 р., м. Херсон, 2021. С. 125-126.

28. Бойко С.О., Сокол А.О. Дослідження методів оцінювання результатів діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки: Дніпровські читання – 2024. V міжнародна науково-практична конференція: тези доп., 5 грудня 2024 р., м. Київ, 2024. С. 179-183.

29. Сокол А.О., Воробйов Я.О. Використання інформаційного середовища задля безпеки і менеджменту судноплавства : XIV Всеукраїнська студентська наукова конференція – Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства: тези доп., 21 листопада 2024 р., м. Херсон, 2024. С. 34-41.

30. Рева О. М., Кириченко К. В., Мащенко П. П., Сокол А. О., Савьолов Д. І. Пілотна оцінка ставлення курсантів-судноводіїв до недисциплінованості: III Міжнародна науково-практична конференція – Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2023): тези доп., 22 листопада 2023 р., м. Херсон, 2023. С. 71-75.

31. Darbra, R. M., & Casal, J. (2004). Historical analysis of accidents in seaports. *Safety science*, 42(2), 85-98.

32. Häkkinen, J., & Posti, A. (2015). Port accidents involving hazardous substances based on FACTS database analysis. In *Proc., Paper Presented at the Proc., 38th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response* (pp. 372-384).

33. Marino, M., Cavallaro, L., Castro, E., Musumeci, R. E., Martignoni, M., Roman, F., & Foti, E. (2023). Analysis on a database of ship accidents in port areas. *Data in brief*, 48, 109127.

34. Chen, Q., Qi, X., Pang, S., Meng, X., Hu, H., & Liu, Z. (2015, November). Analysis of Current Status and Causes of Maritime Accidents. In *2015 International Conference on Economics, Management, Law and Education* (pp. 279-283). Atlantis Press.

35. Akten, N. (2006). Shipping accidents: a serious threat for marine environment. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 12(3), 269-304.

36. Stingeru, C., Rusu, E., & Gasparotti, C. (2018). The Cause-Effect Method Used in Highlighting the Main Causes and Implications of Maritime Accidents in the Black Sea. ICTTE Belgrade, Serbia, International Journal for Traffic and Transport Engineering, 283-289.
37. Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J. P., & Langard, B. (2013). Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS. Accident Analysis & Prevention, 59, 26-37.
38. van Manen, S. E., & Frandsen, A. G. (2017). Ship collision with bridges, review of accidents. In Ship Collision Analysis (pp. 3-12). Routledge.
39. Danielsen, B. E. (2022). The contribution of ship bridge design to maritime accidents. Human Factors in Transportation.
40. Macrae, C. (2009). Human factors at sea: common patterns of error in groundings and collisions. Maritime Policy & Management, 36(1), 21-38.
41. Yildiz, S., Uğurlu, Ö., Wang, J., & Loughney, S. (2021). Application of the HFACS-PV approach for identification of human and organizational factors (HOFs) influencing marine accidents. Reliability Engineering & System Safety, 208, 107395.
42. Ma, L., Ma, X., Lan, H., Liu, Y., & Deng, W. (2022). A data-driven method for modeling human factors in maritime accidents by integrating DEMATEL and FCM based on HFACS: A case of ship collisions. Ocean Engineering, 266, 112699.
43. França, J. E., Hollnagel, E., dos Santos, I. J. L., & Haddad, A. N. (2021). Analysing human factors and non-technical skills in offshore drilling operations using FRAM (functional resonance analysis method). Cognition, Technology & Work, 23(3), 553-566.
44. Bhardwaj, U., Teixeira, A. P., & Soares, C. G. (2022). Casualty analysis methodology and taxonomy for FPSO accident analysis. Reliability Engineering & System Safety, 218, 108169.
45. Бігун, С. В., Сіманенков, А. Л., Іванов, А. А., Житник, Д. В., & Поливода, В. В. (2023). Analysis of the current state of ship monitoring systems

and ways to their improving. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки, (47), 287-296.

46. Budashko, V., Vlasov, V., Zdrozis, K., & Shafiq, B. Design of power plants, propulsion complexes and control systems for ships of the future. Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика, 85.

47. Schubert, A. U., Damerius, R., Rethfeldt, C., Kurowski, M., Jeinsch, T., & Gluch, M. (2023, June). Concepts and System Requirements for Automatic Ship Operations. In OCEANS 2023-Limerick (pp. 1-8). IEEE.

48. Sibali, A. (2024). The Important Role of Shipboard Maritime Correspondents for Officers. Journal of Indonesian Scholars for Social Research, 4(2), 138-143.

49. Fulconis, F., & Lissillour, R. (2021). Toward a behavioral approach of international shipping: a study of the inter-organisational dynamics of maritime safety. Journal of Shipping and Trade, 6(1), 10.

50. Wan, S., Yang, X., Chen, X., Qu, Z., An, C., Zhang, B., ... & Bi, H. (2022). Emerging marine pollution from container ship accidents: Risk characteristics, response strategies, and regulation advancements. Journal of Cleaner Production, 376, 134266.

51. Öztürk, O. B., Kartal, Ş. E., & Aydin, M. (2024). Investigating the influence of human errors in master-pilot information exchange on maritime accident risk during pilotage. Ocean Engineering, 305, 118051.

52. Demirci, S. E., Canımoğlu, R., & Elçiçek, H. (2023). Analysis of causal relations of marine accidents during ship navigation under pilotage: A DEMATEL approach. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 237(2), 308-321.

53. Adhita, I. G. M. S., Fuchi, M., Konishi, T., & Fujimoto, S. (2023). Ship navigation from a Safety-II perspective: A case study of training-ship operation in coastal area. Reliability Engineering & System Safety, 234, 109140.

54. Trygg Mansson, K. J. C. (2022). Beyond teamwork: joint activity during the navigation and manoeuvring of a ship in port waters (Doctoral

dissertation, University of Tasmania).

55. af Geijerstam, K., & Svensson, H. (2008). Ship collision risk-an identification and evaluation of important factors in collisions with offshore installations. LUTVDG/TVBB--5275--SE.

56. Duan, M., Wang, Y., Fan, A., Yang, J., & Fan, X. (2023). Comprehensive analysis and evaluation of ship energy efficiency practices. *Ocean & Coastal Management*, 231, 106397.

57. Bichou, K., Lai, K. H., Lun, Y. V., & Cheng, T. C. E. (2007). A quality management framework for liner shipping companies to implement the 24-hour advance vessel manifest rule. *Transportation Journal*, 46(1), 5-21.

58. Zhang, P., & Tang, L. (2021). *Ship Management: Theory and Practice*. Routledge.

59. Wagenaar, W. A., & Groeneweg, J. (1987). Accidents at sea: Multiple causes and impossible consequences. *International Journal of man-machine studies*, 27(5-6), 587-598.

60. Łozowicka, D., & Kaup, M. (2015). Analysis of the cause and effect of passenger ship accidents in the Baltic Sea. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*.

61. Fan, L., Wang, M., & Yin, J. (2019). The impacts of risk level based on PSC inspection deficiencies on ship accident consequences. *Research in Transportation Business & Management*, 33, 100464.

62. Pike, D. (2013). *Disasters at Sea*. A&C Black.

63. Soares, C. G., Garbatov, Y., Zayed, A., & Wang, G. (2009). Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere. *Corrosion science*, 51(9), 2014-2026.

64. Andersson, K., Baldi, F., Brynolf, S., Lindgren, J. F., Granhag, L., & Svensson, E. (2016). *Shipping and the Environment* (pp. 3-27). Springer Berlin Heidelberg.

65. Briggs, J. N. (2004). Target detection by marine radar (Vol. 16). Iet.

66. Горбулін, В. П. (2020). Щодо захисту морського узбережжя

України. Вісник Національної академії наук України, (9), 30-40.

67. Canul-Macario, C., Salles, P., Hernández-Espriú, A., & Pacheco-Castro, R. (2021). Numerical modelling of the saline interface in coastal karstic aquifers within a conceptual model uncertainty framework. *Hydrogeology Journal*, 29(7), 2347-2362.

68. Kiefer, M., & Pulvermüller, F. (2012). Conceptual representations in mind and brain: Theoretical developments, current evidence and future directions. *cortex*, 48(7), 805-825.

69. Nakamura, J., & Ohsawa, Y. (2009). A shift of mind—Introducing a concept creation model. *Information Sciences*, 179(11), 1639-1646.

70. Ponomaryova, V., Nosov, P., Ben, A., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., ... & Sokol, I. (2024). Devising an approach for the automated restoration of shipmaster's navigational qualification parameters under risk conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.

71. Rossi, G. (2019). The barratry of the shipmaster in early modern law: polysemy and *mos Italicus*. *Tijdschrift voor Rechtsgeschiedenis/Revue d'histoire du droit/The Legal History Review*, 87(1-2), 65-85.

72. Iordanoaia, F. (2010). Master of the ship, manager and instructor. *Management & Marketing-Craiova*, (1s), 133-155.

73. Kijowski, M. (2019). On the competences of the shipmaster of the Polish seagoing vessel in terms of the prevention of fatal accidents of seafarers on board and the actions taken in the case of death. *Studia Maritima*, 32(1), 231 -258.

74. Reason, J. (2000). Human error: models and management. *Bmj*, 320(7237), 768-770.

75. Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge university press.

76. Armitage, G. (2009). Human error theory: relevance to nurse management. *Journal of nursing management*, 17(2), 193-202.

77. Reason, J. (1995). Understanding adverse events: human factors. *BMJ Quality & Safety*, 4(2), 80-89.

78. Graziano, A., Teixeira, A. P., & Soares, C. G. (2016). Classification of

human errors in grounding and collision accidents using the TRACEr taxonomy. *Safety science*, 86, 245-257.

79. Lee, B. C., & Duffy, V. G. (2015). The effects of task interruption on human performance: A study of the systematic classification of human behavior and interruption frequency. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 25(2), 137-152.

80. Stanesby, N. (1997). Acceptable merchant navy deck officer education and training systems for Asia Pacific ship owners/managers (Doctoral dissertation, University of Tasmania).

81. Takimoto, T., Hirono, K., Rooks, M., & Furusho, M. (2013). Human Resources and Crew Manning STCW, Maritime Education and Training (MET), Human Resources and Crew Manning, Maritime Policy, Logistics and Economic Matters-Marine Navigation and Safety of Sea Transportation-Weinrit & Neumann (Eds) *The Problem of the Human Resource Supply Chain on the Social Network at Maritime Education and Training. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation: STCW, Maritime Education and Training (MET), Human Resources and Crew Manning, Maritime Policy, Logistics and Economic Matters*, 95.

82. Tingmai, T. (1998). The development of training and practice of navigation for advanced ships: application to merchant marine training centre programmes in Thailand.

83. Manuel, M. E. (2005). Beyond rules, skills and knowledge: Maritime education and training for optimised behaviour.

84. Dewan, M. H., & Godina, R. (2023). Effective training of seafarers on energy efficient operations of ships in the maritime industry. *Procedia Computer Science*, 217, 1688-1698.

85. Day, S. M. (1923). Sea-Training of the Merchant Service Executive Officer. Royal United Services Institution. *Journal*, 68(471), 405-433.

86. Bertram, V., & Plowman, T. (2020). Digital training solutions in the maritime context: Options and costs. *Maritime Technology and Research*, 2(2), 52-68.

87. Hamed-Ahmed, M. H., Fraga-Lamas, P., & Fernández-Caramés, T. M.

(2024, September). Towards the Industrial Metaverse: A Game-Based VR Application for Fire Drill and Evacuation Training for Ships and Shipbuilding. In *Proceedings of the 29th International ACM Conference on 3D Web Technology* (pp. 1-6).

88. Shaoyang, Q., & Hongxiang, R. (2018, August). Ship life-saving training system based on virtual reality technology. In *2018 IEEE 4th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)* (pp. 559-563).

89. Qiu, S., Ren, H., Wang, D., Qu, Y., & Sun, J. (2024). Research on an educational virtual training system for ship life-saving appliances. *Computer Applications in Engineering Education*, 32(2), e22708.

90. Kobayashi, H. (2005). Use of simulators in assessment, learning and teaching of mariners. *WMU Journal of maritime affairs*, 4, 57-75.

91. Tsoukalas, V. D., Papachristos, D. A., Tsoumas, N. K., & Mattheu, E. C. (2008). Marine engineers' training: educational assessment for an engine room simulator. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 7, 429-448.

92. Nie, Y., Luan, X., Gan, W., Ou, T., & Song, D. (2020, October). Design of marine virtual simulation experiment platform based on Unity3D. In *Global Oceans 2020: Singapore-US Gulf Coast* (pp. 1-5). IEEE.

93. Chen, J., & Chen, T. (2011, May). Research on standardization of marine simulator training and assessment. In *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks* (pp. 111-114). IEEE.

94. Li, T., Liu, J., & Chen, T. (2024, July). Application Prospect of Cloud Model in the Development of New Marine Simulator. In *2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Autonomous Robot Systems (AIARS)* (pp. 806-809). IEEE.

95. Shen, H., Zhang, J., Zeng, H., & Feng, J. (2015, December). Development of a virtual training system for marine engineers. In *2015 4th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)* (Vol. 1, pp. 28-32). IEEE.

96. Serrano-Guerrero, J., Romero, F. P., & Olivas, J. A. (2021). Fuzzy logic applied to opinion mining: a review. *Knowledge-Based Systems*, 222, 107018.

97. Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*, 21(4), 83-93.
98. Hájek, P. (2013). *Metamathematics of fuzzy logic* (Vol. 4). Springer Science & Business Media.
99. Wahl, A. M. (2020). Expanding the concept of simulator fidelity: the use of technology and collaborative activities in training maritime officers. *Cognition, Technology & Work*, 22(1), 209-222.
100. Nosov, P., Popovych, I., Zinchenko, S., Cherniavskyi, V., Plokhikh, V., & Nosova, H. (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly's graph. *Revista Inclusiones*, 7, 90-103.
101. Burgess, C. (2007). *Valid analytical methods and procedures: a best practice approach to method selection*. Royal Society of Chemistry.
102. Larsen, K. G., & Mardare, R. (2014). Complete proof systems for weighted modal logic. *Theoretical Computer Science*, 546, 164-175.
103. Bacci, G., Bacci, G., Larsen, K. G., & Mardare, R. (2018). A complete quantitative deduction system for the bisimilarity distance on markov chains. *Logical Methods in Computer Science*, 14.
104. Oliveira, I., Amazonas, J., & Andrade, M. (2010). Evaluation of fuzzy computing as a technique to provide learning objects adaptability in an m-learning architecture. In *EDULEARN10 Proceedings* (pp. 6406-6415). IATED.
105. Le Deist, F. D., & Winterton, J. (2005). What is competence?. *Human resource development international*, 8(1), 27-46.
106. Brownell, J. (2008). Leading on land and sea: Competencies and context. *International Journal of Hospitality Management*, 27(2), 137-150.
107. Pidpala, I. (2017). Legal requirements for the professional and qualification qualities of seafarers. *Journal of Education, Health and Sport*, 7(11), 465-480.
108. Sailors, M., & Price, L. R. (2010). Professional development that supports the teaching of cognitive reading strategy instruction. *The elementary school Journal*, 110(3), 301-322.
109. Dewan, M. H., Godina, R., Chowdhury, M. R. K., Noor, C. W. M., Wan

Nik, W. M. N., & Man, M. (2023). Immersive and non-immersive simulators for the education and training in maritime domain—A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(1), 147.

110. Bačnar, D., Barić, D., & Ogrizović, D. (2024). Exploring the Perceived Ease of Use of an Immersive VR Engine Room Simulator among Maritime Students: A Segmentation Approach. *Applied Sciences*, 14(18), 8208.

111. Luchyk, V., & Koroliuk, Y. (2019). Fuzzy Logic Modeling of Regional Economy Development Scenarios. Luchyk V. FUZZY LOGIC MODELING OF REGIONAL ECONOMY DEVELOPMENT SCENARIOS/V. Luchyk, Y. Koroliuk//Global Imperatives for Business and Law Development: II International Scientific and Practical Conference, October, 10–11, 2019, Kyiv/KNUTE.–Kyiv: KNUTE.–P.380–388.–DOI: <http://doi.org/10.31617/Lknote.2019-10-10.44>.

112. Hu, Z., & Koroliuk, Y. (2020). A Hierarchical Fuzzy Model for Assessing Student's Competency. In *Advances in Artificial Systems for Medicine and Education III* (pp. 380-393). Springer International Publishing.

113. Sellberg, C. (2017). Training to become a master mariner in a simulator-based environment: The instructors' contributions to professional learning.

114. Saastamoinen, K., Rissanen, A., & Linnervuo, R. (2019). Usage of simulators to boost marine corps learning. *Procedia Computer Science*, 159, 1011-1018.

115. Dimitrakiev, D., Stankov, V., & Atanasova, C. (2023). Simulator Training—Unique Powerful Instrument for Educating, Skills Creating, Mitigating Skills and Resilience Creating. *Strategies for Policy in Science & Education/Strategii na Obrazovatelna i Nauchna Politika*, 31.

116. Jensen, S., Lützen, M., Mikkelsen, L. L., Rasmussen, H. B., Pedersen, P. V., & Schamby, P. (2018). Energy-efficient operational training in a ship bridge simulator. *Journal of Cleaner Production*, 171, 175-183.

117. Albayrak, T., & Ziarati, R. (2010, June). Training: Onboard and simulation based familiarisation and skill enhancement to improve the performance

of seagoing crew. In Human Performance At Sea (HPAS)-2010 Conference Proceedings (p. 586).

118. Kraiger, K., Salas, E., & Cannon-Bowers, J. A. (1995). Measuring knowledge organization as a method for assessing learning during training. *Human factors*, 37(4), 804-816.

119. Abosalem, Y. (2016). Assessment techniques and students' higher-order thinking skills. *International Journal of Secondary Education*, 4(1), 1-11.

120. Demirel, E., & Bayer, D. (2016). A Study on the assessment of sea training as an integral part of maritime education and training. *The Online Journal of Quality in Higher Education*, 3(3), 12.

121. Shapiro, S. (1998). Logical consequence: Models and modality (pp. 131-156). na.

122. Howarth, S., Handley, S., & Polito, V. (2022). Uncontrolled logic: intuitive sensitivity to logical structure in random responding. *Thinking & Reasoning*, 28(1), 61-96.

123. Weintrit, C. A., & Frin, F. (2016). International Standardization of Maritime Education, Training, Scientific Research and Technological Advances related to Development of e-Navigation Strategy in Order to Enhance the Cooperation for Maritime Safety and Security and Protection of Ocean Environment. *IAMU AGA 17*, 8.

124. Zenil, H. (2020). A review of methods for estimating algorithmic complexity: options, challenges, and new directions. *Entropy*, 22(6), 612.

125. K Drager, K. (2015). Linguistic variation, identity construction and cognition (p. 244). *Language Science Press*.

126. Li, Y., & Chen, L. (2016). Peer-and self-assessment: A case study to improve the students' learning ability. *Journal of Language Teaching and Research*, 7(4), 780.

127. Siriwongs, P. (2015). Developing students' learning ability by dint of self-directed learning. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 197, 2074-2079.

128. Gacula Jr, M. C. (2013). Statistical methods in food and consumer

research. Elsevier.

129. Tai, Y. C., & Speed, T. P. (2005). Statistical analysis of. DNA Microarrays, 257.

130. Звіт з науково-дослідної роботи «Кваліметрія та діагностика негативного прояву людського чинника в процесі підготовки та професійної діяльності судноводіїв» ДР № 0123U104977, – відповідно до планів наукової та науково-технічної діяльності Херсонської державної морської академії, Херсон, 2023 р.

131. Звіт з науково-дослідної роботи «Ідентифікація людської помилки судноводія під час прийняття рішень в процесі боротьби за живучість судна» ДР № 0124U004508, - відповідно до планів наукової та науково-технічної діяльності Херсонської державної морської академії, Херсон, 2024р.

132. Livingston, S. A., Carlson, J., & Bridgeman, B. (2018). Test reliability- basic concepts. Research Memorandum No. RM-18-01). Princeton, NJ: Educational Testing Service, 8.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові результати

1. Сокол А.О. Метод формування набору індивідуальних тестових завдань для оцінювання рівня підготовки судноводія у процесі тренажерної підготовки / А.О. Сокол // Судноводіння, - 2024. - Випуск № 36. С. 171-180. URL: <https://navjournal-nuoma.learnmarine.com/project/vipusk-v36/> (<https://doi.org/10.31653/2306-5761.36.2024.171-180>)
2. Сокол А.О. Метод оцінювання результатів діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2024. – №3(41). – С. 23-32. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/364> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41>)
3. Сокол А.О. Метод автоматизації процесу синтезу інформаційного середовища навчання в тренажерному комплексі підготовки судноводіїв / А.О. Сокол // Розвиток транспорту. – 2024. – Випуск №4(23). – С. 42-54. URL: <https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/387> (<https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.04>)
4. Сокол А.О. Людський елемент, як складова ризику виникнення небажаної події на морському судні / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2023. – №2(38). – С. 49-54. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/281> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.3>)
5. Сокол А.О. Вплив тривалості рейсу на психоемоційний стан членів екіпажу судна / А.О. Сокол // Водний транспорт. – 2021. – №3(34). – С. 117-122. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/195> (<https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34>)




Апробація наукових результатів

1. Сокол А.О., Пролазов О. С. Контроль, оцінка та запобігання ризикам при роботі у замкненому просторі : XI Всеукраїнська студентська наукова конференція – Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства: тези доп., 18 листопада 2021 р., м. Херсон, 2021. С. 125-126.
2. Бойко С.О., Сокол А.О. Дослідження методів оцінювання

результатів діяльності судноводіїв під час тренажерної підготовки: Дніпровські читання – 2024. V міжнародна науково-практична конференція: тези доп., 5 грудня 2024 р., м. Київ, 2024. С. 179-183.

3. Сокол А.О., Воробйов Я.О. Використання інформаційного середовища задля безпеки і менеджменту судноплавства : XIV Всеукраїнська студентська наукова конференція – Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства: тези доп., 21 листопада 2024 р., м. Херсон, 2024. С. 34-41.

4. Рева О. М., Кириченко К. В., Маменко П. П., Сокол А. О., Савьолов Д. І. Пілотна оцінка ставлення курсантів-судноводіїв до недисциплінованості : III Міжнародна науково-практична конференція – Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2023): тези доп., 22 листопада 2023 р., м. Херсон, 2023. С. 71-75.

<p>ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «НАВЧАЛЬНО-ТРЕНАЖЕРНИЙ ЦЕНТР «ФЛАГМАН»»</p> <p>65074, Україна, м. Одеса вул. Акішкіна, буд. 18 код: 43110000 web: www.flagman.education e-mail: center@flagman.education</p>	 <p>FLAGMAN EDUCATION TRAINING CENTER</p>	<p>LIMITED LIABILITY COMPANY «EDUCATION AND TRAINING CENTER «FLAGMAN»»</p> <p>65074, Ukraine, Odessa 18 Akishkina St. code: 43110000 web: www.flagman.education e-mail: center@flagman.education</p>
<p>АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ</p> <p>результатів дисертаційної роботи СОКОЛ Альони Олександрівни на тему «Метод синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок при управлінні судном» на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 271 – Морський та внутрішній водний транспорт</p>		
<p>Результати дослідження Сокол А.О. на тему «Метод синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок при управлінні судном» є актуальними в частині підготовки та перепідготовки осіб командного та рядового складу.</p> <p>Впровадження наукових рекомендацій, запропонованих в дисертаційній роботі Сокол А.О., а саме формування моделі інформаційного середовища навчання для тренажерного комплексу підготовки судноводіїв у тренажерно-імітаційному комплексі, базуються на використанні інтелектуальних методів управління інформаційним забезпеченням тренажерів для внесення необхідних змін до програми підготовки здобувачів та є актуальними.</p> <p>Апробація результатів дисертаційної роботи Соколо А.М., підтверджує їх практичну значущість та актуальність і визначає доцільність їх подальшого впровадження у процес підготовки, перепідготовки осіб командного та рядового складу.</p>		
<p>Директор ТОВ НТЦ «ФЛАГМАН» _____ Анна КУПРАШВІЛІ</p> <p>«10» грудня 2024 р.</p>		
		
		

вих. № 01-34/1930 від 31.12.2024

ЗАТВЕРДЖУЮ

проректор ХДМА з НГПР

к.т.н., професор

Бень А.П.

30.12.2024 р.



Акт

про використання результатів дисертаційної роботи
здобувачки ступеня доктора філософії (PhD) Альони СОКОЛ на тему
«Метод синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів
підготовки судноводіїв для зменшення помилок при управлінні судном»
в освітньому процесі Херсонської державної морської академії

Ми, що нижче підписалися, Нагрибельний Я.А., Носов П.С., Онишко Д.М., склали цей акт в тому, що результати наукових досліджень дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії здобувачки Сокол А.О. на тему «Метод синтезу інформаційно-технічної системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок при управлінні судном» впроваджені в освітній процес кафедри судових комп'ютерних систем та мереж, а саме:

Застосування розробленої моделі формування інформаційного середовища для відпрацювання повного алгоритму дій щодо розв'язання завдань керування судном у різних умовах, включно зі складними ситуаціями, вузьким водним простором і складними навігаційними та лоцманськими умовами – при викладанні освітніх компонент: «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» та «Навігаційні інформаційні системи» (для здобувачів освітнього рівня бакалавр освітньо-професійної програми «Навігація і управління морськими суднами»).

Декан факультету

судноводіння, д.п.н, професор

Ярослав НАГРИБЕЛЬНИЙ

Завідувач кафедри

судових комп'ютерних
систем та мереж, к.т.н., доцент

Павло НОСОВ

Старший викладач кафедри

судових комп'ютерних
систем та мереж

Дмитро ОНИШКО



**VILNIUS
TECH**

Lietuvos jūreivystės
akademija

Viešoji įstaiga, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, tel.: (0 5) 274 5000, (0 5) 274 5030, faks. (0 5) 270 0112, el. p. vilniustech@vilniustech.lt
Duomenys kaupiami ir saugomi Juridinių asmenų registre, kodas 111950243, PVM mokėtojo kodas LT119502413
Fakulteto duomenys: I. Kanto g. 7, 92123 Klaipėda, tel. (0 46) 397 240, el. p. lja@vilniustech.lt
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania, tel. +370 5 274 5000, +370 5 274 4809, e-mail vilniustech@vilniustech.lt
Faculty: I. Kanto g. 7, LT-92123 Klaipėda, Lithuania, tel. +370 46 397 240, e-mail lja@vilniustech.lt

To Whom it May Concern

January 7, 2025

No. 10.6-85-10.21-2

To

No.

**ACT ON THE USE OF THE RESULTS OF THE DISSERTATION WORK OF THE
CANDIDATE FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PHD) ALONA SOKOL
ON THE TOPIC "METHOD FOR SYNTHESIZING AN INFORMATION-TECHNICAL
SYSTEM OF SIMULATORS COMPLEXES FOR NAVIGATORS TRAINING TO REDUCE
ERRORS IN SHIP HANDLING" IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF VILNIUS
GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY LITHUANIAN MARITIME ACADEMY**

We, the undersigned Vytautas Dubra and Rima Mickienė, have drawn up this act stating that the results of scientific research of the dissertation work for the degree of Doctor of Philosophy of the candidate Alona Sokol on the topic "Method for Synthesizing an Information- Technical System of Simulators Complexes for Navigators Training to Reduce Errors in Ship Handling" have been introduced into the educational process of the Department of Marine Navigation, namely:

Application of the developed method for selecting test methods for checking the degree of expression of professional competencies of the navigator's activities and the developed methodology for the integrated assessment of the activities of education seekers – when teaching the educational components:

"International Safety Management Code", "Bridge Resources Management", "Ship's Handling and Manoeuvring in Difficult Conditions" of the higher education study programme "Marine Navigation" of the Vilnius Gediminas Technical University Lithuanian Maritime Academy.

Head of the Marine Navigation Department

assoc. prof. dr. Vytautas Dubra

Vice Dean for Studies, Alumni and Strategic Partnership

Rima Mickienė



Rima Mickienė, +37069911245, rima.mickiene@vilniustech.lt

Lietuvos jūreivystės akademijos veikla sertifikuota pagal ISO 9001:2015 standarto reikalavimus.

The activities of the Lithuanian Maritime Academy are certified in accordance with the requirements of the ISO 9001:2015 standard.



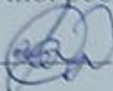
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
 (ДУІТ)

Вул. Кирилівська, 9 м. Київ, 04071 тел./факс: (044) 463-74-70, 482-51-26
 E-mail: duit@duit.edu.ua Код ЄДРПОУ 41330257

«04» 01 2015 № 02/01-11

УЗГОДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної роботи

 **Юрій ДУДНИК**



ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова Комісії з реорганізації
 ДУІТ

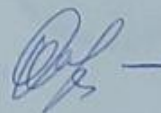
 **Олександр ГРИЩУК**

АКТ

про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи
СОКОЛ Альони Олександрівни на тему «Метод синтезу інформаційно-технічної
 системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок при
 управлінні судном»

Цей акт складено про те, що наукові дослідження за темою дисертаційної роботи
СОКОЛ Альони Олександрівни на тему «Метод синтезу інформаційно-технічної
 системи тренажерних комплексів підготовки судноводіїв для зменшення помилок
 при управлінні судном», а саме метод вибору тестових методик з перевірки ступеня
 вираженості професійних компетенцій діяльності судноводія, використовуються в
 навчальному процесі факультету судноводіння на кафедрі навігації і управління
 суднами при викладанні дисциплін «Забезпечення навігаційної безпеки плавання» та
 «Управління морехідними якістьми судна» для здобувачів другого (магістерського)
 рівня вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт.

В.о. директора Київського інституту водного
 транспорту імені гетьмана
 Петра Конашевича-Сагайдачного,
 доктор технічних наук, професор



Олена ТИМОЩУК

Декан факультету судноводіння,
 кандидат юридичних наук, доцент



Олександр СЛІСАЗАРОВ

Таблиця В1 – Основні категорії помилок (за документами ІМО)

Типи помилок	Види помилок
Помилки типу Active	<p>Категорія 1: Помилки управління судном <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне управління судном в умовах поганої видимості • Неправильне використання навігаційних приладів • Неправильне виконання маневрів <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Невикористання радара в умовах туману – Неправильне використання даних GPS – Неадекватне управління судном при вході в порт <p>Категорія 2: Помилки в області безпеки <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне використання засобів безпеки • Неправильне використання процедур безпеки • Неправильне зберігання небезпечних вантажів <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Невикористання рятувальних жилетів під час тренування – Неправильне використання вогнегасників – Неадекватне зберігання вибухових речовин <p>Категорія 3: Помилки в області технічного обслуговування <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне виконання технічного обслуговування судна • Неправильне використання інструментів і обладнання • Неправильне зберігання запчастин і матеріалів <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Невикористання рекомендованих виробником запчастин – Неправильне виконання електроінструментів – Неадекватне зберігання палива та мастил <p>Категорія 4: Помилки в області зв'язку <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне використання засобів зв'язку • Неправильне розуміння повідомлень • Неправильне передавання інформації <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Невикористання радіообладнання під час шторму – Неправильне тлумачення повідомлень про погоду – Неадекватне повідомлення про проблеми із судном <p>Категорія 5: Помилки в області управління екіпажем <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне управління екіпажем • Неправильний розподіл завдань • Неправильне виконання процедур екіпажу <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Неадекватне управління екіпажем під час кризи – Неправильний розподіл завдань серед членів екіпажу – Невикористання процедур екіпажу під час тренування

Типи помилок	Види помилок
Помилки типу Latent	<p>Категорія 1: Помилки в області організації й управління</p> <p><i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне визначення цілей і завдань • Неправильний розподіл ресурсів • Неправильно управління ризиками <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Неадекватне визначення цілей і завдань для екіпажу – Неправильний розподіл ресурсів для виконання завдань – Невикористання системи управління ризиками на судні <p>Категорія 2: Помилки в області навчання і підготовки</p> <p><i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне навчання і підготовка екіпажу • Неправильне використання тренувальних програм • Неправильне оцінювання кваліфікації екіпажу <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Неадекватне навчання екіпажу щодо використання нової техніки – Неправильне використання тренувальних програм для екіпажу – Невикористання системи оцінювання кваліфікації екіпажу <p>Категорія 3: Помилки в області технічного обслуговування і ремонту</p> <p><i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне виконання технічного обслуговування і ремонту • Неправильне використання запчастин і матеріалів • Неправильне зберігання технічної документації <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Неадекватне виконання технічного обслуговування судна – Неправильне використання запчастин і матеріалів для ремонту – Невикористання системи зберігання технічної документації <p>Категорія 4: Помилки в області безпеки й охорони праці</p> <p><i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне визначення небезпек і ризиків • Неправильне використання засобів безпеки • Неправильне виконання процедур безпеки <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Неадекватне визначення небезпек і ризиків на судні – Неправильне використання засобів безпеки, таких як рятувальні жилети – Невикористання процедур безпеки під час виконання робіт на висоті <p>Категорія 5: Помилки в області комунікації та координації</p> <p><i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Неправильне використання засобів комунікації • Неправильне розуміння повідомлень • Неправильне координування дій <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Неадекватне використання радіообладнання для комунікації – Неправильне розуміння повідомлень про погоду – Невикористання системи координування дій екіпажу

Типи помилок	Види помилок
Помилки типу Violations	<p>Категорія 1: Порушення безпеки <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Порушення правил безпеки • Порушення процедур безпеки • Порушення вимог безпеки <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Невикористання рятувальних жилетів під час тренування – Порушення процедур безпеки під час виконання робіт на висоті – Неадекватне зберігання небезпечних вантажів <p>Категорія 2: Порушення правил мореплавства <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Порушення правил мореплавства • Порушення вимог до судна • Порушення правил навігації <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Невикористання радара в умовах туману – Порушення вимог до судна під час входу в порт – Неадекватне використання карт і навігаційних приладів <p>Категорія 3: Порушення правил охорони праці <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Порушення правил охорони праці • Порушення вимог до умов праці • Порушення правил використання обладнання <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Невикористання засобів індивідуального захисту під час роботи з небезпечними матеріалами – Порушення вимог до умов праці на судні – Неадекватне використання обладнання для підйому важких предметів <p>Категорія 4: Порушення правил охорони навколишнього середовища <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Порушення правил охорони навколишнього середовища • Порушення вимог до скидання відходів • Порушення правил використання хімічних речовин <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Неадекватне зберігання та скидання відходів на судні – Порушення вимог до використання хімічних речовин на судні – Невикористання системи очищення води на судні <p>Категорія 5: Порушення правил документації та звітності <i>Види помилок:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Порушення правил документації • Порушення вимог до звітності • Порушення правил зберігання документів <p><i>Приклади:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Неадекватне ведення суднового журналу – Порушення вимог до звітності про безпеку на судні – Невикористання системи зберігання документів на судні