

Державний університет інфраструктури та технологій
Міністерство освіти і науки України

Державний університет інфраструктури та технологій
Міністерство освіти та науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОЛОМІЄЦЬ ОКСАНА МИХАЙЛІВНА

УДК 681.515:545

ДИСЕРТАЦІЯ

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ У
РІЗНОМАНІТНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Спеціальність 271 «Річковий та морський транспорт»

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня
доктора філософії

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

_____ О. М. Коломієць

Науковий керівник:
Тимощук Олена Миколаївна,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Коломієць О. М. Моделі та методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт». – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2020.

В сучасних умовах активне виконується державне завдання інтенсивного економічного та соціального розвитку країни та її участі в міжнародній інтеграції. Особа роль в цьому відводиться транспортній галузі, а саме морським та річним перевезенням. Тому перехід на інвестиційно-інноваційний етап розвитку є логічним шляхом підвищення ефективності виконання будь-яких завдань.

На даному етапі водний транспорт України у цілому задовольняє лише базові потреби економіки та населення у перевезеннях. Водний транспортний комплекс є складною структурою, яка, як відоме, охоплює низку завдань та функцій. Варте підкреслити, що рівень безпеки, показники ефективності перевезень пасажирів та вантажів, інші важливі властивості не відповідають сучасним вимогам. На думку фахівців особливу увагу потрібно приділити саме проблемам безпеки судноплавства, надійності технічних засобів та завданню автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації. Дослідження в напрямку автоматизації актуальні у зв'язку зі складністю як самої техніки, так і процесу її експлуатації. Відоме, що більш 70% аварійних ситуації по причині так званого «людського фактору».

Порівняльний аналіз аварійності засобів водного транспорту свідчить про зменшення подібних ситуацій, але це не знижує актуальність наукових досліджень в галузі підвищення ефективності та надійності за рахунок автоматизації. Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду впровадження

систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту свідчить про можливість значного підвищення їх ефективності та якості функціонування.

Таким чином, незважаючи на розвиток транспортної галузі України, водного транспорту зокрема, актуальним є наукове завдання удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації, вирішенню цього завдання і присвячена дисертаційна робота.

Дане наукове завдання має важливе значення для теорії і практики підвищення ефективності контролю технічного стану транспортної техніки, встановлення закономірностей змінювання параметрів технічного стану у процесі експлуатації, впровадження методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану засобів транспорту, що забезпечують високу ефективність їх використання та надійність роботи. Відсутність аналогічних рішень в нашій країні і за кордоном робить результати досліджень пріоритетними.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

удосконалено модель автоматизованого контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка на відміну від існуючих базується на марковських процесах, методі Рунге-Кутта чисельного рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова та апріорної інформації про інтенсивності переходів зі стану в стан. Використання програмної реалізації моделі значно покращує показники оперативності за рахунок ергономічності інтерфейсу та зменшення кількості операцій;

вперше розроблено евристична модель оперативного визначення технічного стану засобів водного транспорту в умовах відсутності достовірної статистичної інформації, відмінною особливістю якої є використання в опису процесу зміни стану ланцюжків причинно-наслідкових зв'язків та продукційної моделі оператору переходу; це дозволяє значно скоротити обчислювальні витрати та час на визначення стану;

удосконалено метод автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту на основі інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів, який на відміну від існуючих використовує математично формалізовані принципи гештальттеорії та ідею мінімізація суми квадратів відхилень утворених точок першого та другого порядку. Застосування методу дозволяє забезпечити компенсацію похибок вимірювань із допустимим індексом розбіжності 0,9-5%.

Практичне реалізація одержаних в роботі результатів доцільна в математичному та програмному забезпеченні, як складової технології автоматизації процесу контролю технічного стану судна в інтегрованої системі навігаційного містка (Integrated Bridge System). Застосування запропонованих моделей і методів дозволяє підвищити якість контролю технічного стану до 12 %. При цьому, за результатами математичного моделювання, можливе підвищення ймовірності виконання безвідмовного судноводіння до 8-10 % за рахунок впровадження на практиці.

Результати дисертаційних досліджень реалізовані при навчанні судноводіїв у ДП «Укрволшлях» (19.02.2019 року №05-18/27); у навчальному процесі ДП «Український науково-дослідний навчальний центр» при підготованні кандидатів в аудитори з сертифікації продукції машинобудування (акт від 19.06.2017 р. №11/а); а також в навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій (акт від 21 жовтня 2019 року №2/а) при створення курсу лекцій з дисциплін «Технічні засоби судноводіння» та «Експлуатація засобів водного транспорту».

Встановлено те, що в умовах інтенсивного розвитку інформаційних технологій, які дозволяють вирішувати будь-які складні завдання за рахунок автоматизації прогресивною є тенденція інтегрування та автоматизації всіх функцій на судні, в тому числі і завдань контролю технічного стану судна. Також в роботі доведена актуальність та важливість існуючої тенденції створення інтегрованого обладнання ходової рубки, яка полягає в розробленні інтегрованої системи навігаційного містка (Integrated Bridge System).

Таким чином, наукове завдання удосконалення та розроблення моделей та методів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації з метою впровадження їх в математичному та програмному забезпеченні автоматизованого робочого міста в Integrated Bridge System є новим та актуальним.

Дослідження принципів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту визначило такі основні принципи: принцип узгодженості, суть якого в тому, що всі дії в процесі, що автоматизується повинні бути узгоджені між собою та зі входами і виходами процесу. У разі неузгодженості дій може статися порушення виконання процесу; принцип інтеграції – процес, що автоматизується повинен мати можливість інтегруватися в загальне середовище; принцип незалежності виконання – процес, що автоматизується повинен виконуватися самостійно, без участі людини, або з мінімальним контролем з боку людини. Людина не повинна втручатися в процес, якщо процес виконується відповідно до встановлених вимог.

Найбільш ефективною є стратегія удосконалення моделі автоматизованого контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка на відміну від існуючих базується на марковських процесах, методі Рунге-Кутта чисельного рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова та апріорної інформації про інтенсивності переходів зі стану в стан. Використання програмної реалізації моделі значно покращує показники оперативності за рахунок ергономічності інтерфейсу та зменшення кількості операцій.

Моделювання технічного стану засобів водного транспорту за допомогою розробленого програмного забезпечення свідчить про те, що розробка є функціональною, програмне забезпечення задовольняє усім потребам користувача. Модель є адекватною, а програмне забезпечення є досить надійним. Інтерфейс програми зручний та ергономічний. Завдяки використанню швидких математичних апаратів для розрахунків та відображення результату програмне забезпечення є ефективне.

Наведені нові науково-обґрунтовані практичні рекомендації щодо перспективної системи автоматизованого контролю технічного стану судна дозволяють розглянути можливість використання даних підходів у інших системах транспортних засобів, а також значно підвищити ефективність процесу безаварійного управління рухом судна за рахунок модернізації.

Ключові слова: автоматизація, відмова, надійність, технічний стан, засіб водного транспорту.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Коломієць О. М., Кучерук Н. В. Оцінювання функціонала в автоматизованих системах водного транспорту. Стандартизація, сертифікація, якість. 2017. Вип. 1 (104). С. 20–23.

2. Коломієць О. М., Тимощук О. М., Данік О. В. Выбор показателей надежности с учетом интенсивности эксплуатации судна. Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy. 2017. №2. С. 90–95.

3. Коломієць О. М., Данік О. В. Оцінювання впливу застосування інтелектуальної системи експлуатації судна на вирішення завдань безпеки. Стандартизація, сертифікація, якість. 2017. Вип. 2 (105). С. 75–78.

4. Коломієць О. М., Богом'я В. І. Методи підвищення ефективності процесу експлуатації судових комплексів. Новітні технології. 2017. Вип. 1(3). С. 42–48.

5. Критерій оптимальності процесу технічного обслуговування судових комплексів/ Коломієць О. М., Тимощук О.М., Дакі О.А., Трофименко І.В. Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України. 2017. №4(29). С.132–136.

6. Коломієць О. М., Данік О. В., Дакі О. А., Горбань А. В. Верифікація технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю системи навігації та управління рухом. Новітні технології. 2018. Вип. 1(5). С. 29–42.

7. Коломієць О. М. Методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту. Новітні технології. 2019. Вип. 1(8). С. 30–42.

8. Коломієць О. М. (2019). Особливості автоматизації контролю технічного стану морського транспорту. World Science. Warsaw: RS Global Sp. z O.O. Вип. 3(43). С. 19–25.

9. Коломієць О. М. Розроблення моделей автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту. Наукоємні технології. 2019. Вип. 1(41). С.134–139.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

10. Коломієць О. М., Тимошук О. М., Данік О. В. Вибір критерію оптимальності системи відновлення суднових комплексів. Економіка та держава. 2017. № 4. С. 102–104.

11. Разработка методов сжатия сообщений о воздушных объектах и управления дискретностью их выдачи от источников радиолокационной информации. Коломієць О. М., Воробьєв Е. С., Шевченко А. П., Мазур А. М. та ін. Новітні технології. 2018. Вип. 3(7). С. 217–230.

12. Коломієць О. М., Тимошук О. М., Дакі О. А. Обґрунтування застосування сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних приладів засобів водного транспорту. Новітні технології. 2018. Вип. 2(6). С. 39–45.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Коломієць О.М., Данік О.В., Дакі О.А. Верифікація технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю. Наукова-технічна конференція «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу»: тези доповідей. Київ : ДЕА, 2018. С.59–60.

14. Коломієць О.М., Данік О.В. Методи аналізу системи навігації та управління рухом суден. III Міжнародна науково-практична конференція

«Стандартизація, сертифікація, метрологія та менеджмент»: тези доповідей. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2017. С.16.

15. Коломієць О.М. Моделі автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації. Міжнародна науково-практична конференція «Водний транспорт: сучасний стан та перспективи розвитку»: тези доповідей, 16-17 травня 2019 року. – К.: ДУІТ, 2019.– С.23.

ANOTATION

Kolomiets O. M. Models and methods of automation of the technical condition of water transport facilities in various conditions of operation. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the Doctor of Philosophys in the specialty 271 "River and marine of transport". - State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2020.

In today's conditions, the state task of intensive economic and social development of the country and its participation in international integration is being actively pursued. The role of the person in this is given to the transport industry, namely the sea and annual transportation. Therefore, the transition to the investment and innovation stage of development is a logical way to improve the efficiency of any tasks.

At this stage, the water transport of Ukraine as a whole satisfies only the basic needs of the economy and the population in transportation. The water transport complex is a complex structure, which is known to cover a number of tasks and functions. It should be emphasized that the level of safety, efficiency indicators of passenger and cargo transportation, other important properties do not meet modern requirements. According to experts, particular attention should be paid to the safety problems of navigation, the reliability of technical facilities and the task of automating the control of the technical state of water transport vehicles in various conditions of operation. Research in the direction of automation are relevant in

connection with the complexity of both the technique itself and the process of its exploitation. It is known that more than 70% of emergencies due to the so-called "human factor".

A comparative analysis of the accident rate of water resources indicates a decrease in such situations, but this does not reduce the relevance of scientific research in the field of increasing the efficiency and reliability through automation. The analysis of foreign and domestic experience in the implementation of automation systems for monitoring the technical condition of water transport vehicles indicates that they can significantly improve their efficiency and quality of operation.

Thus, despite the development of the transport industry in Ukraine, water transport in particular, the scientific task of improving existing and developing new models and methods for automation of the technical condition of water transport facilities in various conditions of exploitation, the solution of this problem and a dissertation work is relevant.

This scientific task is important for the theory and practice of improving the efficiency of control of the technical condition of transport equipment, establishing regularities of changing the parameters of the technical condition in the process of operation, the introduction of methods and means of diagnosing and predicting the technical condition of means of transport, which ensure high efficiency of their use and reliability. The absence of similar solutions in our country and abroad makes research results a priority.

Scientific novelty of the obtained results is that:

the model of automated control of the technical state of water transport vehicles is improved, which, unlike the existing, is based on Markov processes, the Runge-Kutta method of numerical solution of the system of Kolmogorov differential equations and a priori information about the intensity of transitions from state to state. Using the software implementation of the model significantly improves the efficiency due to the ergonomics of the interface and reduce the number of transactions;

for the first time a heuristic model of the operational determination of the

technical condition of water transport vehicles was developed in the absence of reliable statistical information, the distinctive feature of which is the use in describing the process of changing the state of the chain of causation links and the production model for the transition operator; this allows you to significantly reduce computing costs and time to determine the state;

the method of automation of control of the technical state of water transport means is improved on the basis of an intellectual model of equalization of dynamic rows, which, unlike existing ones, uses the mathematically formalized principles of geostart theory and the idea of minimizing the sum of squares of deviations of formed points of the first and second order. The application of the method allows to provide compensation for measurement errors with an acceptable difference index of 0.9-5%.

The practical realization of the results obtained in the work is expedient in mathematical and software provision as a component of the automation technology of the ship's technical condition monitoring process in the Integrated Bridge System. Application of the proposed models and methods can improve the quality of monitoring up to 12%. At the same time, according to the results of mathematical modeling, it is possible to increase the probability of a non-stop shipping navigation to 8-10% due to implementation in practice.

The results of the dissertation researches are realized in State Enterprise "Ukrvodchlyah" when preparing navigators (Act of 19.02.2019 poky №05-18/27); in the educational process of the State Enterprise "Ukrainian Research and Training Center" in preparing candidates for auditors for certification of machine building products (Act of 19.06.2017 №11 / a); as well as in the educational process of the State University of Infrastructure and Technologies (Act of 21.10.2019. No. 2/a.) during the course of lectures on disciplines "Technical means of navigation".

It is established that in the conditions of intensive development of information technologies, which allow to solve any complex tasks due to progressive automation, there is a tendency to integrate and automate all functions on the vessel, including its tasks of control of the technical condition of the vessel. The paper also proves the relevance and importance of the existing tendency to create integrated wheelhouse

equipment, which consists in the development of an integrated navigation system (Integrated Bridge System). Thus, this scientific task is new and relevant.

The study of the principles of automation of the control of the technical condition of water transport vehicles has identified the following basic principles: the principle of consistency, the essence of which is that all actions in the automated process must be consistent with each other and with the inputs and outputs of the process. In the event of inconsistency, the process may be disrupted; the principle of integration - an automated process must be able to integrate into the general environment; the principle of independence of execution - a process that is automated must be performed independently, without human participation, or with minimal control by the person.

The most effective is the strategy of improving the model of automated control of the technical state of water transport, which, unlike the existing ones, is based on Markov processes, the Runge-Kutta method of the numerical solution of the Kolmogorov differential equation system, and the a priori information on the intensity of state-to-state transitions.

Modeling of technical condition of water transport means with the help of the developed software shows that the development is functional, the software meets all the needs of the user. The model is adequate and the software is quite reliable. The application interface is comfortable and ergonomic.

The new scientifically grounded practical recommendations for a perspective system of automated control of the technical condition of a ship allow us to consider the possibility of using these approaches in other systems of vehicles, as well as significantly improve the efficiency of the process of trouble-free control of vessel movement through modernization.

Keywords: automation, failure, reliability, technical condition, means of maritime transport.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	14
ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРАКТИЧНИХ ТА НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ.....	21
1.1. Аналіз технічного стану засобів водного транспорту України.....	21
1.2. Визначення напрямків підвищення ефективності контролю технічного стану суден.....	24
1.3. Дослідження сучасних та перспективних систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту	28
1.4. Постановка наукового завдання	37
Висновки до розділу 1	41
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ У РІЗНОМАНІТНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	43
2.1. Дослідження принципів автоматизації та факторів впливу на контроль технічного стану засобів водного транспорту	43
2.2. Модель автоматизації на основі марковських процесів	50
2.3. Моделювання контролю технічного стану за допомогою розробленого програмного забезпечення	63
Висновки до розділу 2	69
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДЕН.....	70
3.1. Евристична модель оперативного визначення технічного стану ЗВТ в умовах відсутності достовірної статистичної інформації	70
3.2. Метод оцінки ефективності моделей автоматизації.....	77
3.3. Метод автоматизації на основі інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів.....	81

	13
Висновки до розділу 3	91
РОЗДІЛ 4. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБКА	
РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ НАУКОВИХ	
РЕЗУЛЬТАТІВ	93
4.1.Рекомендації щодо впровадження моделей та методів автоматизації в	
технології Integrated Bridge System	93
4.2. Перевірка достовірності запропонованих наукових результатів.....	111
Висновки до розділу 4	121
ВИСНОВКИ.....	123
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123
Додаток А. Акти впровадження.....	140
Додаток Б. Код програми.....	140
Додаток В. Список опублікованих праць за темою дисертації.....	140

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місто;

ЗВТ – засіб водного транспорту;

КТС – контроль технічного стану;

ПЗ – програмне забезпечення;

ТЕ – технічна експлуатація;

ТО – технічне обслуговування;

ТС – технічний стан.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. В сучасних умовах активне виконується державне завдання інтенсивного економічного та соціального розвитку країни та її участі в міжнародній інтеграції. Особа роль в цьому відводиться транспортній галузі, а саме морським та річним перевезенням. Тому перехід на інвестиційно-інноваційний етап розвитку є логічним шляхом підвищення ефективності виконання будь-яких завдань.

На даному етапі водний транспорт України у цілому задовольняє лише базові потреби економіки та населення у перевезеннях. Водний транспортний комплекс є складною структурою, яка, як відоме, охоплює низку завдань та функцій. Варте підкреслити, що рівень безпеки, показники ефективності перевезень пасажирів та вантажів, інші важливі властивості не відповідають сучасним вимогам. На думку фахівців особливу увагу потрібно приділити саме проблемам безпеки судноплавства, надійності технічних засобів та завданню автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації [1-4]. Дослідження в напрямку автоматизації актуальні у зв'язку зі складністю як самої техніки, так і процесу її експлуатації. Відоме, що більш 70% аварійних ситуації по причині так званого «людського фактору».

Питання технічної експлуатації, обслуговування і ремонту засобів водного транспорту висвітлюється у роботах В.В. Паніна, М.М. Цимбала, Б.В. Васильєва, Ю.Г. Дейнего, О.А. Оніщенко, С.І. Сербіна, В.І. Богомї, Д.І. Севастєєва, С.Р. Смирнова та ін. У тому числі, щодо питань автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації відомі роботи вчених: І.П. Атаманюка, І.О. Мачаліна, В.М. Глушкова, М.З. Згуровського, О.Г. Івахненка, В.Д. Кудрицького, Р.К. Мурасова, В.С. Пугачова, Р.А. Варбанця та ін.

Порівняльний аналіз аварійності засобів водного транспорту (ЗВТ) свідчить про зменшення подібних ситуацій [23,26,81,82], але це не знижує

актуальність наукових досліджень в галузі підвищення ефективності та надійності за рахунок автоматизації. Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду впровадження систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту свідчить про можливість значного підвищення їх ефективності та якості функціонування [17,77–79,84–86].

Таким чином, незважаючи на розвиток транспортної галузі України, водного транспорту зокрема, актуальним є *наукове завдання* удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації, вирішенню цього завдання і присвячена дисертаційна робота.

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

Дисертаційна робота виконана відповідно до Морської доктрини України на період до 2035 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 13074 та її нової редакції, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 18 грудня 2018 р.; Галузевої програми забезпечення безпеки судноплавства на 2014-2018 роки; Транспортній стратегії України на період до 2020 р., затвердженій розпорядженням КМУ від 20.10.2010 р. № 2174-р. в інтересах науково-дослідної роботи «Розробка комплексного показника якості пасажирських круїзних суден змішаного плавання в системі безпересадкових круїзних перевезень між портами Дніпра, Чорного моря та Дунаю» (номер держреєстрації 0116U03946), яка виконувалася у Київській державній академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, у якої авторка приймала участь як виконавець. А також у відповідності до плану наукової роботи та науково-технічної діяльності Державного університету інфраструктури та технологій.

Мета і задачі дослідження.

Мета дослідження – підвищення достовірності контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації за рахунок впровадження запропонованих моделей та методів автоматизації.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні **часткові завдання** дослідження:

- проаналізувати стан безпеки експлуатації та якість контролю технічного стану засобів водного транспорту та визначити напрямки її покращення;
- дослідити сучасні та перспективні системи контролю технічного стану засобів водного транспорту;
- розробити моделі та методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту;
- розробити рекомендації щодо застосування запропонованих наукових результатів. Перевірити достовірність розроблених моделей та методів.

Об'єкт дослідження – процес контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації.

Предмет дослідження – моделі та методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої в роботі мети використано методи дослідження на основі системного підходу з застосуванням математичних моделей і методів варіаційного числення, дискретної математики, теорії ймовірностей, теорії оптимального управління, теорії прийняття рішень.

Методика проведення експерименту та перевірки достовірності розроблених наукових положень реалізована на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в дисертаційній роботі:

удосконалено модель автоматизованого контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка на відміну від існуючих базується на марковських процесах, методі Рунге-Кутта чисельного рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова та апріорної інформації про інтенсивності переходів зі стану в стан. Використання програмної реалізації

моделі значно покращує показники оперативності за рахунок ергономічності інтерфейсу та зменшення кількості операцій;

вперше розроблено евристична модель оперативного визначення технічного стану засобів водного транспорту в умовах відсутності достовірної статистичної інформації, відмінною особливістю якої є використання в опису процесу зміни стану ланцюжків причино-наслідкових зв'язків та продукційної моделі оператору переходу; це дозволяє значно скоротити обчислювальні витрати та час на визначення стану;

удосконалено метод автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту на основі інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів, який на відміну від існуючих використовує математично формалізовані принципи гештальттеорії та ідею мінімізація суми квадратів відхилень утворених точок першого та другого порядку. Застосування методу дозволяє забезпечити компенсацію похибок вимірювань із допустимим індексом розбіжності 0,9-5%.

Практичне значення одержаних результатів.

Реалізація одержаних в роботі результатів доцільна в математичному та програмному забезпеченні, як складової технології автоматизації процесу контролю технічного стану судна в інтегрованої мостикові системі (Integrated Bridge System). Застосування запропонованих моделей і методів дозволяє підвищити достовірність контролю технічного стану до 12 %.

При цьому, за результатами математичного моделювання, можливе підвищення ймовірності виконання безвідмовного судноводіння до 8-10 % за рахунок впровадження на практиці.

Результати дисертаційних досліджень реалізовані у ДП «Укрводшлях» при навчанні судноводіїв (акт від 19 лютого 2018 року №05-18/27); у навчальному процесі ДП «Український науково-дослідний навчальний центр» при підготовуванні кандидатів в аудитори з сертифікації продукції машинобудування (акт від 19.06.2017 р. №11/а); а також в навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій (акт від 21 жовтня 2019 №2/а) при

створення курсу лекцій з дисциплін «Технічні засоби судноводіння» та «Експлуатація засобів водного транспорту».

Наведені нові науково-обґрунтовані практичні рекомендації щодо перспективної системи автоматизованого контролю технічного стану судна дозволяють розглянути можливість використання даних підходів у інших системах транспортних засобів, а також значно покращити надійність судна за рахунок модернізації.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційних досліджень отримані автором особисто. В роботах, опублікованих у співавторстві, автору належить: у [1] – аналіз функціонала в автоматизованих системах водного транспорту; у [2] – обґрунтування показників надійності судна; у [3] – аналіз впливу застосування інтелектуальної системи експлуатації судна на безпеку руху; у [4] – рекомендації підвищення ефективності процесу експлуатації суднових комплексів; у [5] – аналіз критерію оптимальності системи відновлення суднових комплексів; у [6] – обґрунтування моделі оптимальності процесу технічного обслуговування суднових комплексів; у [7] – дослідження технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю системи навігації та управління рухом; у [10, 11, 13, 14] – наведено постановка часткових завдань дослідження; у [12] – аналіз застосування сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних приладів; .

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, які отримані у ході виконання дисертаційної роботи, доповідалися на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях, а також на засіданнях кафедри кафедри експлуатації засобів транспорту на внутрішніх водних шляхах ДУІТ: III Міжнародної науково-практичної конференції «Стандартизація, сертифікація, метрологія та менеджмент» у ДП «УкрНДНЦ», 2017р., м. Київ;; Науково-технічної конференції «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу», ДЕА, 2018р., м. Київ; Міжнародної науково-

практичної конференції «Водний транспорт: сучасний стан та перспективи розвитку», ДУІТ, 16-17 травня 2019 року

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображені у 15 наукових працях, серед них: 12 статей, опублікованих особисто та у співавторстві у збірниках наукових праць, що входять до переліку видань, дозволених МОН України для публікацій результатів досліджень з технічних наук (у тому числі 3 опубліковані одноосібно, 5 опубліковані у міжнародних наукометричних базах), 3 матеріалів науково-технічних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація загальним обсягом 167 сторінок машинописного тексту складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел з 119 найменувань. Дисертація містить 36 рисунків, має 11 таблиць. Ілюстрації, таблиці, перелік використаних джерел та додатки займають 38 сторінок тексту.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРАКТИЧНИХ ТА НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1. Аналіз технічного стану засобів водного транспорту України

Аналіз публічного звіту Голови Державної служби України з безпеки на транспорті за 2017 рік [81] дозволяє оцінити аварійність на морському та річковому транспорті. Цитуємо: «Упродовж 2017 року на морському і річковому транспорті, у тому числі з маломірними (малими) суднами, сталося 32 аварійні події, в яких 3 особи загинули та 1 особу травмовано 2016 році трапилося 19 аварійних подій, у яких загинули 6 осіб та 4 особи отримали травми.

Таким чином, рівень аварійності на морському і річковому транспорті зріс на 68 %, а кількість загиблих осіб в аварійних подіях зменшилася на 50 %, кількість травмованих осіб зменшилася на 75 %».

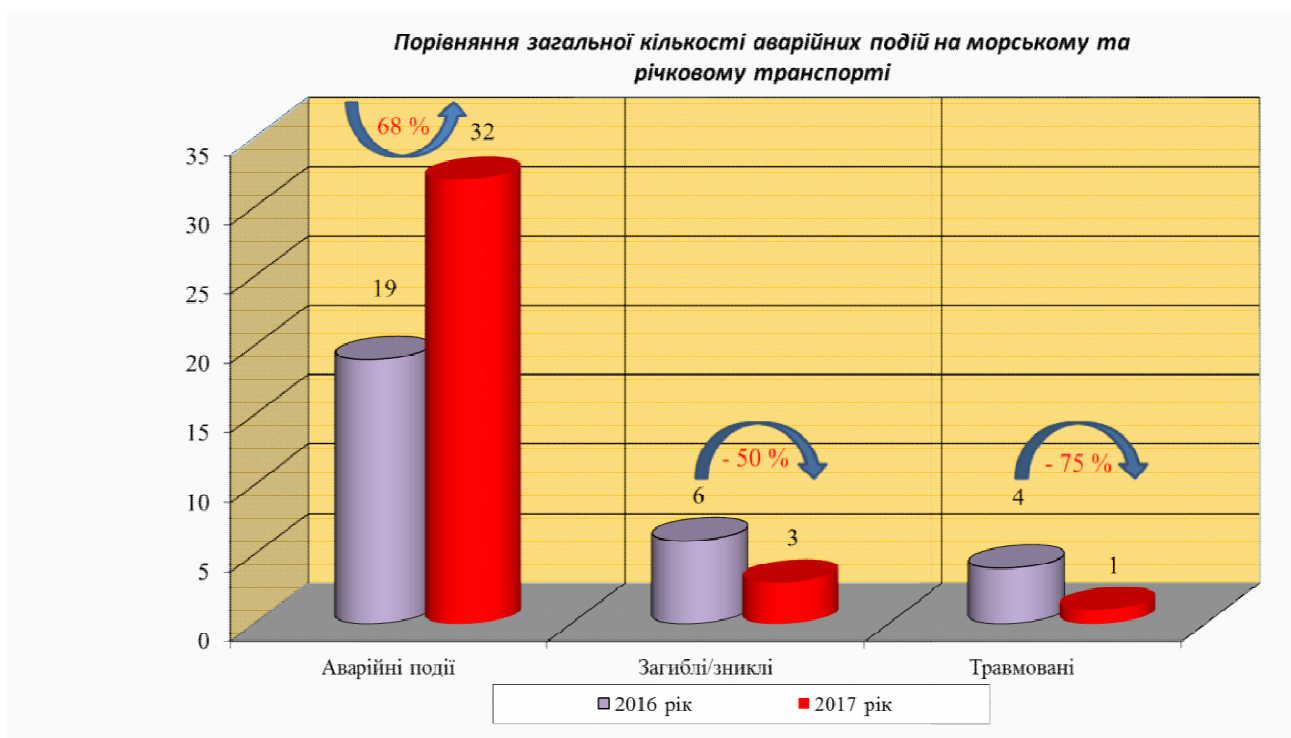


Рис. 1.1. Рівень аварійності на морському і річковому транспорті

Відомо [80], що у 2010 році на водному транспорті сталася 101 аварійна подія, у 2011 – 72 аварійні події, у 2012 – 50 аварійних подій, у 2013 – 40 аварійних подій, у 2014 – 18 аварійних подій. При цьому, протягом 2015 року всього допущено 39 аварійних подій (рис.1.2).

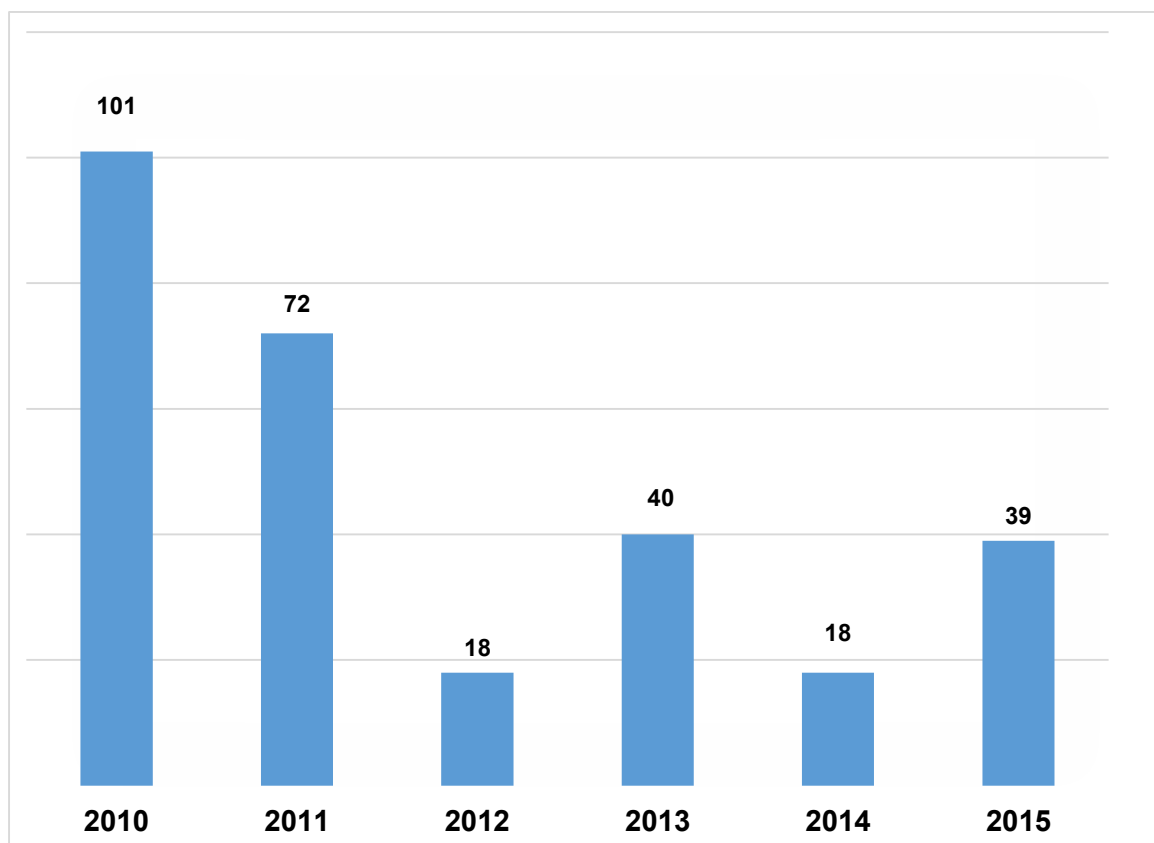


Рис. 1.2. Кількість аварій на водному транспорті (2010-2015р.р.)

За статистикою у *процентному співвідношенні* аварійні події по видах транспорту розподіляються наступним чином: на морському транспорті – 24 %; на річковому транспорті – 5 %; на маломірних суднах – 33 %; на іноземних суднах – 38 % (рис. 1.3).

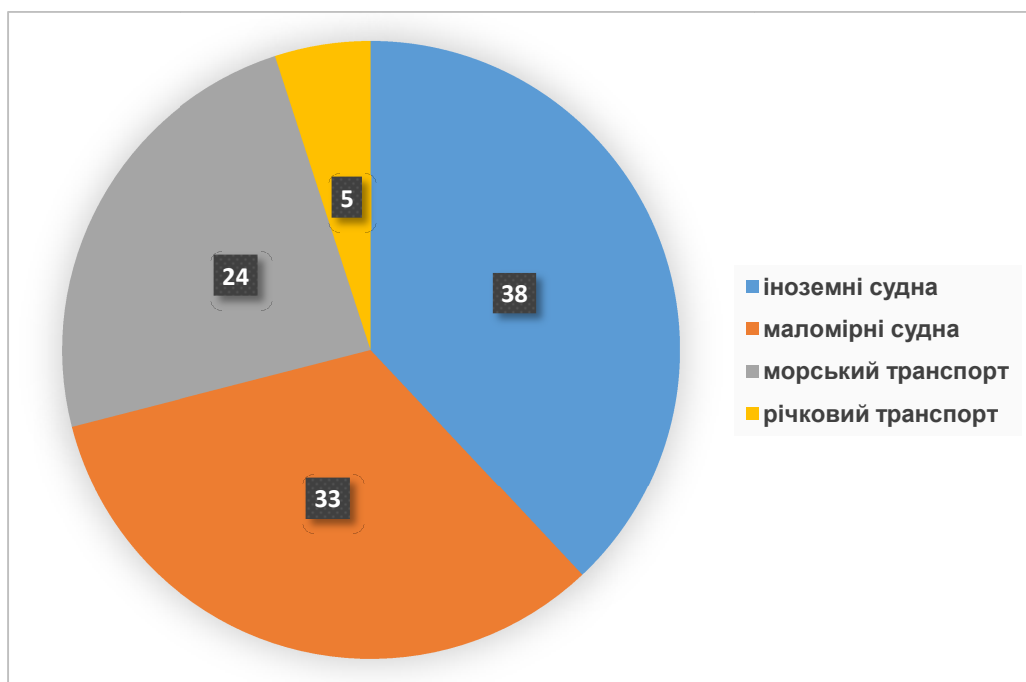


Рис. 1.3. Аварійні події по видах транспорту

Аналіз виявив *основні фактори* цих аварійних подій (рис.1.4):
людський фактор – більш 72 %;
технічні причини – близько 17 %;
форс-мажорні обставини – 11 %.

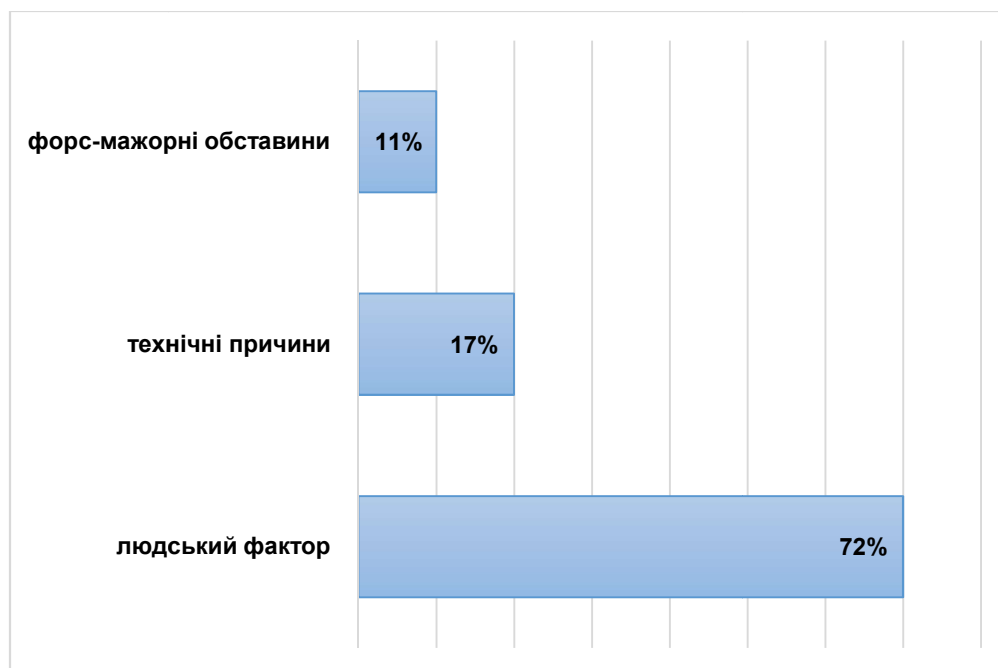


Рис. 1.4. Аналіз факторів аварійних подій

За останні роки існує тенденція збільшення частки „людського фактору” та „технічних причин” та зменшення частки „форс-мажорних обставин”.

Таким чином, аналіз стану безпеки руху засобів морського та водного транспорту України дозволяє зробити висновок про те, що саме людський фактор є найбільш значною причиною аварійності на морському та річному флоті за останні роки. Відомо, що на всіх видах транспорту існує така ж сама обставина. Це пояснюється складністю транспортних засобів, збільшенням інтенсивності транспортних перевезень, проблемами в системі підготовки фахівців та ін.

Тому дослідження, які спрямовані на «...розроблення методів **підвищення ефективності контролю технічного стану транспортної техніки**, встановлення закономірностей змінювання параметрів технічного стану у процесі експлуатації, впровадження методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану засобів транспорту, що забезпечують високу ефективність їх використання та надійність роботи» є актуальними [97].

1.2. Визначення напрямків підвищення ефективності контролю технічного стану суден

Відоме, що технічне обслуговування (ТО) та ремонт – це складова частина технічної експлуатації судна [28,77]. ЗВТ вважаються технічно справними, якщо вони задовольняють вимогам органів нагляду та можуть використовуватися за прямим призначенням з техніко-експлуатаційними показниками, передбаченими технічною документацією. Метою технічного обслуговування і ремонту є підтримання і відновлення справності суден протягом всього терміну їх служби при мінімальних витратах. При цьому вирішуються такі завдання [77]:

- контроль технічного стану (рівня працездатності);
- визначення структури ТО і ремонту суден;

- організація ТО і ремонту;
- матеріально-технічне забезпечення.

Контроль технічного стану. Технічний стан (ТС) судна та його елементів визначається для забезпечення безпеки судоплавання, для завдання режиму роботи механізмів на основі інструкцій заводів-виготовлювачів і правил технічної експлуатації; для встановлення обсягу ТО і ремонту і складання ремонтних відомостей, для планування і виконання ТО і ремонту. У комплекс завдань з оцінки технічного стану входить контроль стану суден і їх елементів, технічний нагляд за судами, розробка і впровадження систем технічної діагностики.

Контроль технічного стану суден – група завдань, яка включає в себе повсякденний і періодичний контроль, а також технічний нагляд. Повсякденний контроль здійснюється судновим екіпажем відповідно до Статуту, Положення про технічну експлуатацію флоту, Правил технічної експлуатації судових технічних засобів, графіків і планів ТО судна.

Основним методом оцінки і контролю технічного стану судна і його елементів судновим екіпажем є виконання профілактичних робіт на базі типової нормативної документації на ТО серійних суден, розробленої фірмою-виробником спільно з класифікаційними товариствами. Періодичний контроль технічного стану суден та доглядом за корпусом і судновим обладнанням здійснюється судновласником.

Мета будь-якого контролю технічного стану – встановити дійсний технічний стан суден і судового обладнання, забезпечити їх справність, перевірити придатність до безпечного мореплавання, надійної перевезення вантажів і забезпечення охорони людського життя на морі [77].

Розробка і впровадження систем технічної діагностики. Основними функціями систем технічної діагностики є:

-оцінка стану (працездатності) судових технічних засобів і елементів судна;

- пошук несправностей і причин відмови;
- прогнозування технічного стану.

Технічний стан судна та його елементів характеризується величиною відхилення їх основних параметрів, що відбивають здатність виконати задані функції, від еталонних значень, встановлених технічною документацією. Визначення індивідуальних відхилень параметрів конкретних технічних засобів від їх еталонних значень, а також прогнозування подальшої зміни цих відхилень і складають основу технічної діагностики. В даний час комплекс робіт, пов'язаних з визначенням технічного стану і включають в себе розтин, розбирання і огляд судових технічних засобів, виконується після закінчення встановленого календарного терміну або регламентованої напрацювання. Це часто призводить до невиправданої завантаженні екіпажів і берегових баз, знижує надійність обладнання через порушення підробітки і внесення випадкових змін в сполучення деталей і вузлів. У зв'язку з цим визначення технічного стану обладнання без його розбирання є одним з найважливіших шляхів підвищення ефективності ТЕ суден.

Відоме, що застосування систем технічної діагностики дозволяє встановлювати оптимальні терміни виконання планово-попереджувального ТО і ремонту, запобігати або істотно скорочувати число відмов судового устаткування і вимушених зупинок в морі, скорочувати час пошуку несправностей. Створення комплексних систем технічної діагностики судового устаткування є одним з найбільш складних науково-технічних і організаційних проблем. Ця складність визначається різноманіттям конструктивних форм судових технічних засобів, особливостями фізичних процесів їх старіння і зносу, специфікою умов експлуатації суден.

Визначення структури ТО і ремонту суден. Сюди входить дослідження експлуатаційної надійності суден і їх елементів, на базі якої встановлюється структура ТО і ремонту, т. Е. Зміст, періодичність і трудомісткість робіт, виконуваних для підтримки і відновлення справності. Широка номенклатура

суднових технічних засобів, що розрізняються за принципом дії і конструктивним виконанням, викликає велике різноманіття робіт. На причини їх виникнення, структуру ТО і ремонту впливає багато факторів (якість проекту і споруди, конструктивні особливості, вживані матеріали, вік судна, умови експлуатації і т. д.), Однак при всьому їх різноманітті виконувані роботи є похідними надійності. Отже, закономірності, які регламентують структуру ТО і ремонту, можуть бути встановлені на основі вивчення експлуатаційної надійності суден і їх елементів [77].

Недостатня надійність суден знижує ефективність їх функціонування головним чином через збільшення витрат на підтримання необхідного рівня надійності. Узагальненим показником цих витрат є трудомісткість ТО і ремонту. Тому пошук шляхів зниження трудомісткості на утримання флоту в справному технічному стані має першорядне значення для ефективної роботи морського транспорту. Організація ТО і ремонту. Цей комплекс завдань включає розробку загальної схеми і принципів організації ТО і ремонту, в тому числі встановлення тривалості експлуатаційно-ремонтних циклів, періодичності та тривалості різних видів ремонту і докування суден, планування ТО і ремонту, розподіл робіт, виконуваних для підтримки працездатності суден, між екіпажами і береговими базами.

Однією з найважливіших завдань організації ТО є оптимальний розподіл оглядових-відновлювальних робіт між судновими екіпажами, субпідрядниками, судноремонтними верфями. Оптимальний розподіл робіт дозволяє збільшити експлуатаційний період суден, скоротити обсяг і вартість ремонтів з висновком суден з експлуатації. Це завдання має вирішуватися на основі об'єктивних критеріїв розподілу робіт між виконавцями. Всі перераховані завдання в своїй сукупності складають систему ТО і ремонту флоту. Оптимізація системи ТО і ремонту, її безперервне вдосконалення, забезпечення постійного зростання продуктивності праці є найважливішою умовою підвищення ефективності ТЕ.

Таким чином, загальна схема напрямків підвищення ефективності контролю ТС ЗВТ надана на рисунку 1.5.



Рис. 1.5. Напрямки підвищення ефективності контролю технічного стану суден

1.3. Дослідження сучасних та перспективних систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту

На думку фахівців, на теперішній час можливості інтенсивного розвитку традиційних систем централізованого контролю технічних параметрів, в основному, вичерпалися. Подальше підвищення надійності і ефективності експлуатації суднової техніки зажадало розширеного застосування компонентів технічної діагностики для оцінки і прогнозування фактичного технічного стану обладнання [9,84].

За даними досліджень [11,84] радикальне поліпшення стратегії експлуатації та обслуговування суднового устаткування може бути досягнуто тільки при комплексному підході до розробки та впровадження відповідного

діагностичного забезпечення. Аналіз показав, що був розроблений ряд перспективних технічних рішень, незважаючи на труднощі, пов'язані з обмеженими можливостями використання вимірювальної апаратури, датчиків, елементної бази, обчислювальної техніки, програмного забезпечення, спеціального стендового обладнання та іншого. З відкриттям доступу до світового ринку проблема дефіциту в цій області зникла. Але в умовах великої кількості пропозицій, що розрізняються технічними характеристиками, функціональними можливостями, областями застосування і цінами, з'явилася інша проблема: раціонального вибору компонентів діагностичного забезпечення, актуальна як при їх розробці, так і під час закупівлі відсутніх модулів. З метою формування інструментарію для обґрунтованого вибору компонентів діагностичного забезпечення суднового обладнання був проведений даний аналіз. Було потрібно проаналізувати особливості та функціональні можливості сучасних методик аналізу проектних варіантів і прийняття рішень, провести апробацію їх ефективності і визначити раціональні області застосування при розробці засобів технічної діагностики. Проведений аналіз [30–35, 37–40] дозволив виділити методи, які застосовуються зараз в світовій практиці. Перед розробником систем діагностичного забезпечення стоять завдання вибору [60,84]:

- раціональної стратегії обслуговування обладнання;
- рівня діагностування та структурних параметрів, що характеризують його технічний стан;
- методів діагностики і діагностичних параметрів;
- способів вимірювання діагностичних параметрів;
- алгоритмів виділення діагностичної інформації;
- апаратного забезпечення діагностування;
- методів прогнозування та оцінки залишкового ресурсу.

За даними досліджень [61,84], а саме, аналіз типових методик вибору проектних варіантів дозволив констатувати **відсутність** універсальної методики, однаково придатною і ефективною при розробці діагностичного

забезпечення. Тому були досліджені функціональні можливості різних методик порівняння стосовно до специфічних особливостей конкретних діагностичних завдань. Перш за все, був обґрунтований вибір раціональної стратегії обслуговування обладнання. У роботі [84] показані рівні інформаційної підтримки персоналу та вимоги до діагностичного забезпечення, характерні для 4-х стратегій, спрямованих на підтримку працездатності обладнання в процесі експлуатації суден.

Для їх порівняння була використана методика SWOT-аналізу [84] (аббревіатура з початкових букв англійських слів: переваги, недоліки, можливості, загрози). Розроблена в Англії методика була призначалася для порівняльного аналізу стратегій і бізнес-планів підприємств. SWOT-аналіз дозволяє, по-перше, зробити вибір на користь стратегій, що враховують інформацію про фактичне і прогнозованому технічному стані обладнання, і, по-друге, пояснити, чому ці стратегії до теперішнього часу не впроваджені в практику експлуатації суднової енергетики. Отже, головна проблема пов'язана з реалізацією необхідної і достатньої глибини діагностування.

Глибина діагностування. В роботі [84] показано, те що для вирішення цього завдання можуть застосовуватися різні методики. Перш за все, техніко-економічний аналіз, який передбачає зіставлення зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних з відмовами, простоем і ремонтами обладнання, і вартості розробки, поставки й експлуатації діагностичного забезпечення. Зрозуміло, що експлуатаційні втрати зі збільшенням глибини діагностування знижуються, а вартість діагностичного забезпечення при цьому збільшується. Аналіз дозволяє зробити висновок про можливість застосування оптимізаційного підходу, якщо в якості критерію розглядається економічний показник. На думку автора [84] для оцінки впливу можливих відмов обладнання на рівень відповідних витрат доцільно застосування сукупності різних способів оцінки значущості обладнання.

Принципи класифікації судових технічних засобів, запропоновані в роботі [84], передбачають поділ обладнання та його елементів на

функціональні групи, класи і категорії залежно від їх впливу на функціонування судна в цілому і від їх ремонтоздібності. З цієї точки зору пріоритетним слід вважати оснащення засобами діагностики обладнання, що має важливе значення для функціонування судна і мало придатне для ремонту в судових умовах. Не менш важливо і застосування статистичного аналізу досвіду експлуатації обладнання, оскільки саме практика є кінцевим критерієм істинності наукових гіпотез. Ключовими моментами у відповідних методиках є способи визначення закону розподілу даних про фактичну надійності обладнання, наприклад, про напрацювання на відмову.

Автором було удосконалено програмне забезпечення, основними відмінностями якого є угруповання вибірки за критерієм Стерджеса, інтерактивний режим спілкування з комп'ютером і наочне уявлення результатів.

Но ніяка, навіть найдосконаліша методика не забезпечить отримання достовірних оцінок при відсутності представницьких вихідних вибірок. В умовах масового виробництва виробів, що мають порівняно невеликі терміни служби, формування таких вибірок в прийнятні терміни є завданням тривіальної. Але це не відноситься до судового обладнання в умовах дрібносерійної, а часто і одиничної споруди суден. В цьому сенсі менш вразливими є методи ранжирування елементів обладнання шляхом оцінки впливу їх надійності на працездатність енергетичної системи більш високого рівня.

Відоме, що ефективним інструментом вирішення таких завдань є загальний логіко-імовірнісний метод [84,97].

Також на думку фахівців безсумнівний інтерес представляє можливість отримання результатів у вигляді діаграм, на яких наведено вплив окремих чинників на надійність системи (позитивних або негативних). Такі діаграми можуть бути використані для порівняльної оцінки ефективності діагностичних завдань.

Слабким місцем такого підходу є те, що малоімовірні події автоматично відносяться до малозначущих подій, незалежно від величини можливого

збитку, який вони можуть викликати. Тим часом статистика морських аварій (і не тільки морських) показує, що малоймовірні, і, отже, неочікувані негативні події теж трапляються, причому, чим менше їх очікують, тим катастрофічнішою їх наслідки [66,77].

Ці обставини можна врахувати, якщо для оцінки значущості обладнання використовувати таку категорію, як ризик, який у відповідних стандартах визначається як «поєднання ймовірності події та її наслідків». Допускається як бальна оцінка ризику, що отримується шляхом проставлення дискретних значень індексів частоти відмов і ступеня тяжкості, так і пряма кількісна оцінка ризику у вигляді твору ймовірності небажаного події на вартість збитку.

Імітаційне моделювання. Відомо [13,24,84,97], що «...дієвим інструментом оцінки можливих наслідків спотворення характеристик або повних відмов елементів стохастичних систем є імітаційне моделювання режимів їх експлуатації, наприклад, математична модель автоматизованої гідравлічної системи». Стохастичними елементами системи є споживачі, випадковим чином змінюють у часі свої запити у відповідність з рівномірним і нормальним законами розподілу. Модель дозволяє налаштувати характеристики насосів, датчиків рівня і споживачів і дослідити поведінку системи, як при різних режимах нормальної експлуатації, так і при повному або частковому порушенні працездатності окремих елементів. Підсумкова статистика дозволяє оцінити як прямі збитки, викликані відмовами, так і їх вплив на коефіцієнти використання (а, отже, і на довговічність) системи.

Експертні оцінки. Традиційними є висновки про те, що [68,70,72,77] не слід випускати з уваги і думки кваліфікованих фахівців – експертів, які мають досвід проектування, випробувань і експлуатації суднового устаткування. Для оцінки окремих якостей експертів застосовується цілий ряд більш-менш формалізованих прийомів. Найбільш об'єктивні оцінки виходять при індивідуальному анкетуванні, оскільки на нарадах зазвичай перемагає думка найбільш авторитетного і харизматичного експерта, а метод мозкового штурму не дуже відповідає ментальності наших фахівців. Із способів заповнення анкет

найбільшою популярністю користуються рангові оцінки і розстановка вагових коефіцієнтів. Для згладжування флуктуації індивідуальних думок застосовують осереднені анкетні дані і оцінюють ступінь узгодженості суджень експертів за допомогою відповідного коефіцієнта конкордації.

В роботах [17,73-75,86] надано метод, який поєднує як когнітивний підхід, так і один з напрямів м'яких обчислень – fuzzy sets. Побудова розроблених нечітких моделей оцінки ризиків відмов підсистем і елементів енергетичного обладнання авторами проводилася за допомогою пакета прикладних програм Matlab, графічних засобів і інструментів пакету Matlab – Fuzzy Logic Toolbox. Використовується функція розподілу Гауса в якості функції належності, що реалізується в Matlab в вигляді gaussmf для завдання гладких симетричних функцій належності. На етапі фазифікації задаються вхідні змінні нечітких моделей оцінок ризику відмов у вигляді ймовірностей виходу з ладу і шкоди від наслідків ризикових подій елементів енергетичного обладнання [86].

Рівні діагностичних завдань. Підвищення достовірності визначення раціональної глибини діагностування вимагає комплексного застосування розглянутих методик. В роботі [84] виконане аналіз запропонованого алгоритму, що включає 2 етапи: спочатку виконується перебір специфікації списку обладнання, і та діагностична задача, яка визнається значущою в результаті застосування хоча б однієї з методик, включається до попереднього списку. Потім виконується його мінімізація за таким же принципом: потрапляння завдання під дію будь-якого із зазначених обмежувальних критеріїв призводить до її виключення зі списку. Як приклад застосування цього алгоритму наведені результати формування попереднього списку діагностичних завдань для морського газотурбінного двигуна. Після його мінімізації виділені найбільш навантажені і відповідальні вузли – підшипники і лопатковий апарат, які в першу чергу лімітують безвідмовність і довговічність двигуна. Вартість розробки, впровадження та експлуатації діагностичних систем визначається, в першу чергу, специфічними особливостями застосованих методів діагностування. Вибір їх номенклатури можна

впорядкувати, якщо за допомогою методу структурної декомпозиції виділити три рівня діагностичних завдань. Верхній рівень можна назвати енергетичним, оскільки він передбачає оцінку функціональних якостей устаткування в процесі перетворення і перенесення енергії. Найбільш актуальним завданням на цьому рівні є забезпечення автоматизованого пошуку причин порушення працездатності суднових енергетичних систем з точністю до функціонально-самостійного елемента (насоса, теплообмінника, фільтра та ін.). Вирішення цього завдання може бути забезпечене наступним чином. Це створення аналогової математичної моделі, яка точно описує статику і динаміку об'єкта. В процесі діагностики модель можна використовувати як еталон для ідентифікації можливих несправностей устаткування. SWOT-аналіз дозволяє поряд з незаперечними перевагами цього способу виявити і істотну проблему, а саме: великі складнощі.

Діагностика на механічному рівні. Діагностика на механічному рівні націлена на виявлення експлуатаційних пошкоджень окремих деталей [78,84]. Прикладом є діагностика вузлів тертя суднового дизеля шляхом аналізу продуктів зносу, що потрапляють в циркуляційних масляну систему. Разом з накопиченням домішок йде і зворотний процес, обумовлений фільтрацією і чадом масла, його розведенням при часткових доливаючи, відкладенням домішок в картері. Якщо прийняти припущення, що інтенсивність надходження продуктів зносу пропорційна швидкості зношування деталей, що труться, а інтенсивність їх видалення пропорційна їх концентрації в маслі, то неважко переконатися, що взаємодія цих процесів призводить до динамічної рівноваги. Відповідна концентрація характеризує швидкість зносу, а її інтегрування в часі дозволяє оцінити ступінь зносу деталей. Контроль продуктів зносу в маслі може виконуватися шляхом спектрального аналізу масла і феррографічним методом. Для їх порівняльного аналізу можна виділити кілька ознак. Така кількість показників неможливо згорнути в один критерій, тому була застосована методика парного порівняння. Головним достоїнством спектрального аналізу масла є можливість ідентифікації зношуються деталей

шляхом роздільного контролю вмісту в олії різних металів. Головне достоїнство феррографії – можливість ідентифікації типу і стадії зносу при мікроскопічному дослідженні частинок. Важливим моментом є вартість апаратури. Для спектрального аналізу масла вона визначається переліком хімічних елементів, доступних для роздільного аналізу. Для феррографії визначальним є номенклатура приладів, що виконують різні види аналізу. Бальна оцінка результатів парного порівняння не виявила явного переможця. У таких випадках теорія прийняття рішень рекомендує відмовитися від союзу «або» і застосувати союз «і», тобто застосувати для діагностики вузлів тертя комплексну лабораторію аналізу масла.

Наступний рівень діагностування передбачає ідентифікацію порушення структури конструкційний матеріал. Як приклад вирішення такого завдання була розроблена методика виявлення втомних тріщин в робочих лопатках осьового компресора. Обриви лопаток в результаті неконтрольованого розвитку тріщин є однією з причин важких аварій морських двигунів. Аналіз функціональних можливостей методів неруйнівного контролю, що застосовуються в заводських умовах, показує, що вони не дозволяють виключити такі аварії, незважаючи на дуже високу чутливість. Мабуть, ефективність методу діагностики слід визначатимуть не чутливістю, а здатністю виявити дефект до того, як він досягне критичної позначки.

Розрахунки напруженого стану лопаток з мікротріщинами свідчать про те, що закладений в їх конструкцію запас міцності дозволяє їм зберігати працездатність при пошкодженні приблизно 40% поверхні. Про це свідчать і результати фрактографічного аналізу перетину лопатки, яка пошкоджена.

Умова своєчасного виявлення дефекту можна кількісно виразити за допомогою критерію, що враховує швидкість росту і критичний розмір тріщини, часовий інтервал між процедурами діагностування і відносну нечутливість методу діагностики. Для зручності застосування цього критерію були виконані розрахунки спеціальної номограми в табличному і графічному вигляді. З неї зокрема випливає, що ефективним може виявитися метод, який

поступається лабораторним по чутливості, але забезпечує контроль лопаток безпосередньо під час експлуатації.

При виборі такого методу можна скористатися тією обставиною, що вібрація лопаток не тільки є ініціатором розвитку тріщини, а й самі параметри вібрації можуть змінюватися під дією тріщини. Аналіз діагностичних можливостей цих параметрів показав, що найбільший інтерес викликає вплив тріщини на власні частоти коливань в зв'язку зі зменшенням жорсткості лопатки. Дослідження цього впливу було виконано методом кінцевих елементів.

На першому етапі виконувалося моделювання різних форм коливань лопатки, що дозволило встановити перспективність контролю перших двох форм згинальних коливань.

На другому етапі оцінювалися розподіл напружень в пері лопатки, які викликані спільним впливом згинальних коливань і відцентрових сил. Далі в найнебезпечнішому місці виконувалося моделювання поперечної тріщини. Результати моделювання свідчать про помітну зміну власних частот при докритичному діапазоні пошкодження поверхні.

Експериментально перевірялося вплив на коливальні властивості лопаток і їх спрощених моделей розташування тріщини на пері лопатки і її розміру. Отримані результати для 1-й згинальної форми свідчать про те, що вплив тріщини зростає зі збільшенням її розміру і наближенням до вузла коливань. Для другої форми ці залежності мають 2 максимуму, розташованих у вузлах коливань. Ці результати цілком зрозумілі фізично, оскільки саме в вузлах знаходяться.

Інтерес представляють ї матеріали досліджень запропонований авторами статі [79] методики оцінювання та прогнозування технічного стану судна з використанням способів технічної діагностики. Важливим практичним результатом автоматизації цієї методики є розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє проводити оцінку надійності елементів конструкцій суднового корпусу по нормативними даними, визначати положення небезпечного

перетину і критичних зон. Варіанти розрахунку і дані в числовій формі візуалізовані. Програмна система забезпечує виконання таких функцій: будівельні дані, варіанти вимірів, розрахунок, підсумкова оцінка. Автоматизована система для оцінки технічного стану корпусу судна по вимірах залишкової товщини дозволяє проконтролювати міцність зв'язків елементів корпусних конструкцій судна, провести аналіз і оцінку якості їх технічного стану і критичних зон.

1.4. Постановка наукового завдання

В сучасних умовах розвитку транспорту України актуальні завдання розвитку водного транспорту, для яких важливим є покращення функціонування системи контролю технічного стану судна [34,41,66,72]. Доцільно використовувати підхід підвищення ефективності за рахунок реалізації принципів автоматизації [77,78,80]. Дослідження сучасних та перспективних систем автоматизованої оцінки технічного стану комплектуючих судна визнають актуальними наукові дослідження в цьому напрямку (рис. 1.6) [87,89,96].

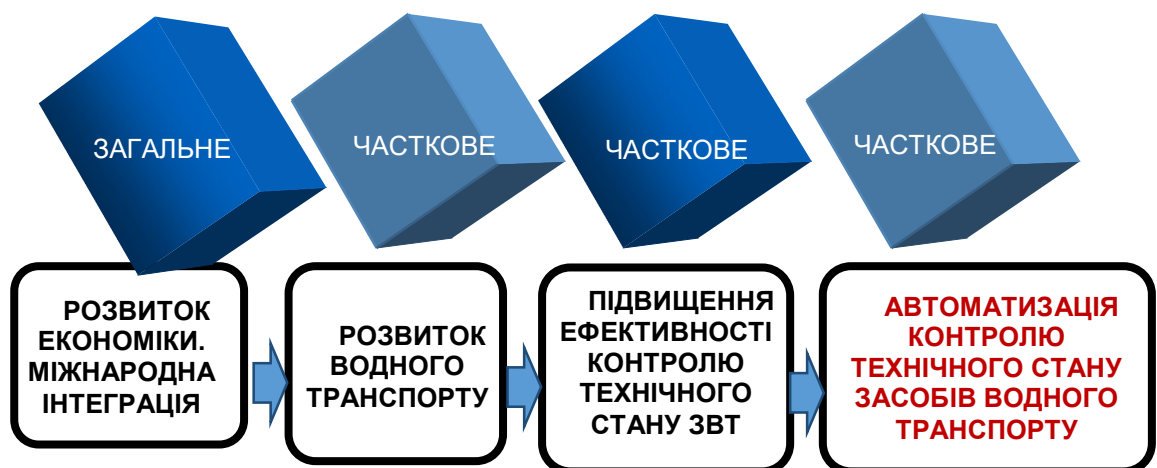


Рис. 1.6. Загальне та часткові завдання дослідження

З іншого боку на думку вчених «...дослідження, розроблення та прогнозування методів удосконалення тактико-технічних і експлуатаційних характеристик засобів транспорту, обґрунтування експлуатаційних вимог до їх ремонтпридатності та технологічності обслуговування, **підвищення ефективності контролю технічного стану транспортної техніки**, встановлення закономірностей змінювання параметрів технічного стану у процесі експлуатації, впровадження методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану засобів транспорту, що забезпечують високу ефективність їх використання та надійність роботи» є актуальними [77].

Варте підкреслити те, що в умовах інтенсивного розвитку інформаційних технологій, які на високому рівні дозволяють вирішувати будь-які завдання за рахунок автоматизації логічною та закономірною є тенденція поєднання (інтегрування) та автоматизації всіх функцій на судні. В тому числі і тих, які пов'язані з контролем технічного стану. Тим більше, сучасної є тенденція впровадження ідей створення інтегрованого обладнання ходової рубки, яка полягає в створенні інтегрованої системи навігаційного містка (Integrated Bridge System) [4,8,15,19,27].

Дана система об'єднує системи навігації, управління рухом, управління енергетичною системою тощо. На сучасних суднах такі комп'ютерні комплекси мають назву – інтегрована система навігаційного містка (Integrated Bridge System). Дані системи будуються, як правило, за двома принципами технології інтегрування: централізована система (обробка інформації та формування команд управління в блоці центрального комп'ютера); децентралізована або розподілена система (використовується технологія багатомодульності). Дані системи надають оператору (судноводію) інформацію о параметрах роботи двигуна, енергетичного обладнання тощо, але рішення про визначення технічного стану він повинен приймати особисто суб'єктивно. Тобто недоліком при оцінці технічного стану в даному випадку, як завжди є так званий «людський фактор». Таким чином, з метою розвитку технології Integrated Bridge System та автоматизації процесу контролю технічного стану засобів

водного транспорту доцільне розробити ефективні моделі та методи для математичного та програмного забезпечення в інтегрованих мастикових системах.

Моніторинг ТС здійснюється за рахунок різноманітних суб'єктів, поступає великий потік інформації який систематизується не в повному обсязі. Ця інформація ніяк наглядно не представляється. На даний час немає централізованого автоматизованого робочого міста (АРМ) для моніторингу відповідної інформації. (Вище визначена можливість впровадження або реалізації АРМ в Integrated Bridge System). Тому актуально створити централізований ресурс, для систематизації даних, формування бази знань та наглядного зображення технічного стану судна в різноманітних умовах (рис. 1.7).

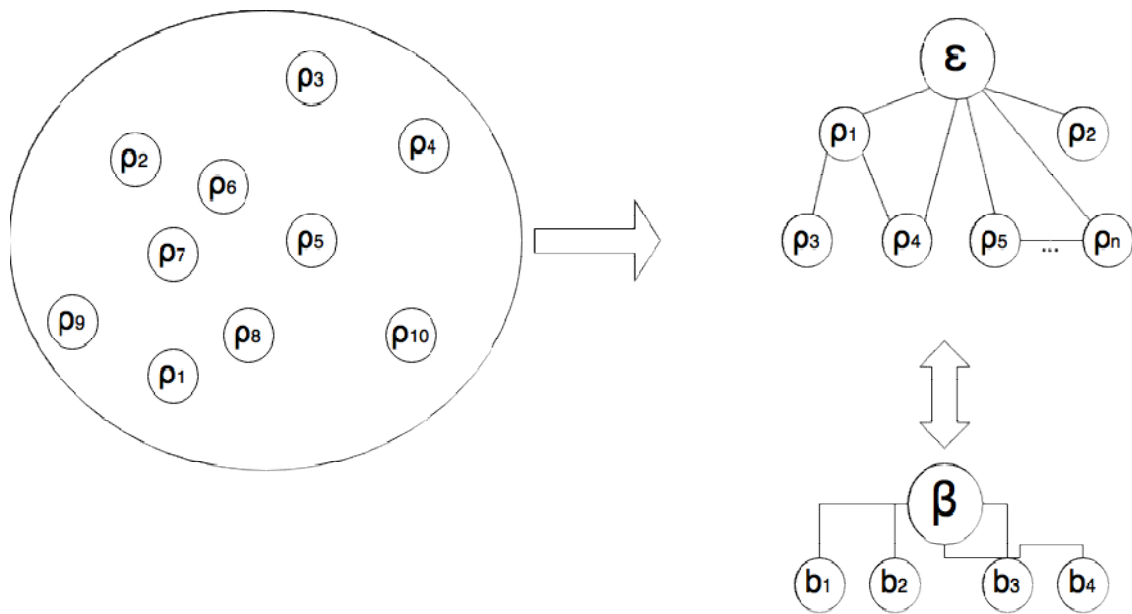


Рис. 1.7. Процес зв'язку датчиків з АРМ

Науковим завданням є розробка моделі та методів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації з метою впровадження їх в математичному та програмному забезпеченні АРМ в Integrated Bridge System (рис. 1.8) [41-54].

Дослідження дозволяє зробити висновок про те що найбільш доцільним є автоматизоване та централізоване управління процесом контролю ТС через спеціалізований інформаційний ресурс.



Рис. 1.8. Постановка наукового завдання

Математична формалізація наукового завдання

Математична формалізація наукового завдання має наступній вигляд (1.1).

Знайти:

$$\varepsilon = \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n\};$$

$$\omega: \begin{cases} \xi \in \{\varepsilon, \tau, \nu\} \\ \forall \delta \exists \langle \mu, \theta, \Omega \rangle \\ \xi \notin \delta \\ \beta \in \langle b_1, b_2, b_3, b_4 \rangle \end{cases}, \quad (1.1)$$

де ω – множина моделей та методів, які реалізовані в APM Integrated Bridge System;

δ – множина елементів бази знань;

μ – множина технічних станів;

- θ – множина елементів бази знань по вирішенню проблем;
- Ω – множина елементів оцінки термінів вирішення проблем;
- ξ – множина функцій оператора;
- v – множина функцій капітана;
- ρ_i – візуальна інформація;
- ε – множина технічних датчиків ;
- τ – функція редагування бази знань;
- β – множина типів проблем зміни ТС;
- b_1 – ТС 1; b_2 – ТС 2; b_3 – ТС 3;
- b_4 – інші.

Таким чином, ідея централізованого управління процесом обміну інформації в системі моніторингу технічного стану судна дозволяє підвищити швидкість обміну інформацією та підвищити ефективність прийняття рішень щодо вирішення проблем безпеки судноплавства.

Висновки до розділу 1

1. Дослідження дозволяють зробити висновок про пріоритетність розвитку галузі морського та річкового транспорту для України. Варто підкреслити тенденцію постійного збільшення обсягу водного перевезення вантажів. Але продовжує існувати проблема безпеки, яка пов'язана як з надійністю техніки, так і з помилками персоналу та другими чинниками. За офіційними даними в 2017 році рівень аварійності на морському і річковому транспорті зріс на 68 %, а кількість загиблих осіб в аварійних подіях зменшилася на 50 %, кількість травмованих осіб зменшилася на 75 %.

2. Аналіз показав місто та роль заходів по контролю технічного стану суден в різноманітних умовах експлуатації та шляхи підвищення ефективності даного процесу. А також місто даного завдання при вирішенні проблеми безпеки судноплавства. Визначена актуальність науково-практичних досліджень в даному напрямку.

3. Дослідження сучасних та перспективних систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту, з урахуванням думки відомих вчених, визначають тенденцію, суть якої в тому, що на теперішній час можливості інтенсивного розвитку традиційних систем централізованого контролю технічних параметрів, в основному, вичерпалася. Подальше підвищення надійності і ефективності експлуатації суднової техніки вимагає розширеного застосування компонентів технічної діагностики для оцінки і прогнозування фактичного технічного стану обладнання. Тому найбільш перспективним напрямом удосконалення даних систем є їх комплексування, інтеграція та впровадження відповідних нових моделей та методів в так званні «інтегровані мостикові системи управління судном».

4. Доведено, те що в умовах інтенсивного розвитку інформаційних технологій, які дозволяють вирішувати будь-які складні завдання за рахунок автоматизації прогресивною є тенденція інтегрування та автоматизації всіх функцій на судні, в тому числі і завдань контролю технічного стану судна. Також в роботі доведена сучасність та важливість існуючої тенденції створення інтегрованого обладнання ходової рубки, яка полягає в розробленні інтегрованої системи навігаційного містка (Integrated Bridge System). Аналіз наукових та інженерних підходів створення та впровадження інтегрованих систем навігаційного містка дозволив виявити рід системних недоліків та зауважень, а саме, відсутність функцій автоматизованого контролю технічного стану судна.

5. Таким чином, наукове завдання розробці моделей та методів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації з метою впровадження їх в математичному та програмному забезпеченні АРМ в Integrated Bridge System є новим та актуальним. Вирішенню цього завдання і присвячена дисертаційна робота.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ У РІЗНОМАНІТНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1. Дослідження принципів автоматизації та факторів впливу на контроль технічного стану засобів водного транспорту

Принципи автоматизації будь-якого процесу доцільне сформулювати у наступному вигляді [1,12,15,16 та ін.]. *Принцип узгодженості.* Всі дії в процесі, що автоматизується повинні бути узгоджені між собою і зі входами і виходами процесу. У разі неузгодженості дій може статися порушення виконання процесу.

Принцип інтеграції. Процес, що автоматизується повинен мати можливість інтегруватися в загальне середовище. На різних рівнях автоматизації інтеграція виконується по-різному, але суть принципу залишається незмінною. Автоматизація процесів повинна забезпечувати взаємодію процесу, що автоматизується з зовнішнім середовищем по відношенню до цього процесу.

Принцип незалежності виконання. Процес, що автоматизується повинен виконуватися самостійно, без участі людини, або з мінімальним контролем з боку людини. Людина не повинна втручатися в процес, якщо процес виконується відповідно до встановлених вимог. Загальна схема автоматизації контролю ТС ЗВТ надана на рисунку 2.1.

Сучасні ЗВТ є складними технічними системами, що складаються зі значної кількості підсистем, модулів, вузлів, агрегатів, комплектуючих елементів тощо, які змінюють свій ТС з різними закономірностями та можливостями їх оцінки протягом експлуатації.

У зв'язку з цим для адекватного опису процесу контролю та оцінки ТС судна, як складної технічної системи доцільне представлення ЗВТ, що складається з множини комплектуючих виробів: сукупність модулів окремого блоку функціональної системи судна, сукупності функціональних систем судна тощо.

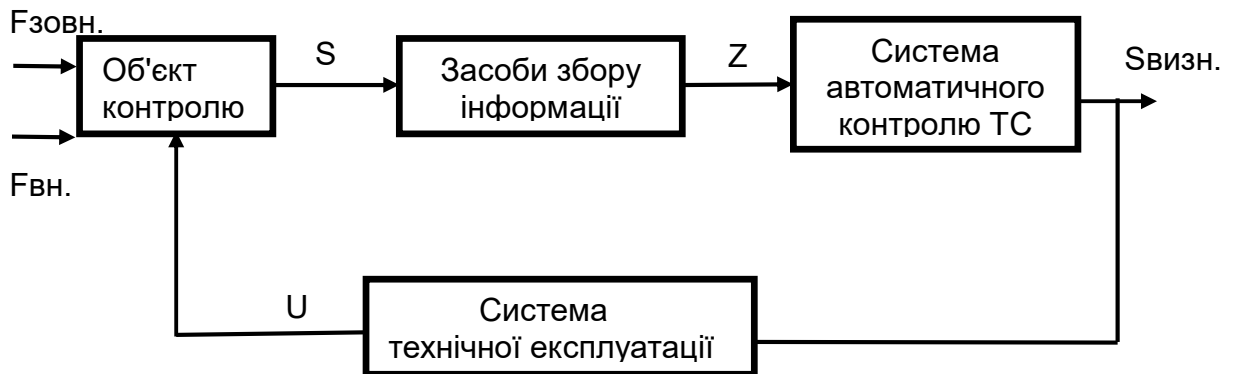


Рис. 2.1. Схема автоматизації контролю ТС ЗВТ

Варто підкреслити необхідність враховування при дослідженні ефективності системи контролю ТС ЗВТ та її впливу на ефективність процесу технічного обслуговування і ремонту судна, є те, що в реальній експлуатації відновлення працездатності складових елементів судна проводиться за фактом виявлення відмови об'єкта контролю незважаючи на його працездатність в цей момент. А саме, виявлена відмова резервного елемента працездатного об'єкту ЗВТ призводить до його заміни на повністю справний з подальшим відновленням справного стану.

Таким чином виникає необхідність уникнути недоліки існуючих моделей функціонування об'єктів експлуатації та розроблення формалізованого опису процесу контролю технічного стану ЗВТ та їх складових у вигляді регенеруючого процесу, на підставі якого провести обґрунтування форми показників та критерію ефективності. При розгляді ЗВТ, як сукупності функціональних підсистем, представимо його у вигляді складної системи з елементами, що з'єднані послідовно. В цьому випадку імовірність безвідмовної

роботи ЗВТ (за умови відсутності або обмеженого обмінного фонду агрегатів) визначається як [45]

$$P_C(t) = \prod_{k=1}^K P_k(t), \quad Q_C(t) = 1 - P_C(t), \quad N_{оф_k}(t) \ll n_k(t),$$

де $P_C(t)$ – імовірність безвідмовної роботи ЗВТ; $P_k(t)$ – імовірність безвідмовної роботи k -го комплектуючого виробу; $Q_C(t)$ – імовірність відмови ЗВТ; $N_{оф_k}(t)$ – кількість об'єктів k -го типу в обмінному фонді експлуатанта; $n_k(t)$ – кількість відмов об'єкту k -го типу за період експлуатації.

Така модель дає змогу вважати ЗВТ системою, що є визначеним узагальненням послідовних підсистем, для кожної з яких може бути знайдено свій показник ефективності. В даному випадку судно формалізовано як систему з мультиплікативним коефіцієнтом ефективності і згідно з обраними в [45] показниками ефективності визначимо стаціонарний коефіцієнт готовності судна K_{zC} як [6,7]

$$K_{zC} = \prod_{j=1}^k K_{zj}, \quad (2.1)$$

де K_{zj} – стаціонарний коефіцієнт готовності j -ї підсистеми, а

$$K_{zj} = \frac{M(t_{0j})}{M(t_{0j}) + M(t_{\varepsilon j})},$$

де $M(t_{0j})$ – середній час знаходження j -го об'єкта в справному стані;

$M(t_{\varepsilon j})$ – середній час відновлення j -го об'єкта судових комплексів.

Як вказано у [45] основними вимогами до показників ефективності є: простота, інформаційна забезпеченість, достатня точність, чутливість, повнота та

відсутність надмірності. При оцінці ефективності експлуатації таких складних технічних систем, як ЗВТ, застосовуються різні форми показників: імовірність випадкової події, середній результат, імовірнісної гарантованого досягнення результату не нижче заданого, середній квадрат відхилень результату від того, що вимагається, дисперсія результату тощо [10].

Враховуючи формалізований опис процесу контролю технічного стану як стохастичного процесу, визначимо формально показник його ефективності як математичне очікування загальної функції відповідності ρ мети, що досягнута $Y^{(R)}$ тій, що вимагається $Y_e^{(R)}$ [45], при використанні варіанту $u \in U$

$$\vec{W}(u) = M \left[\rho \left\{ Y^{(R)}(u), Y_e^{(R)} \right\} \right], u \in U, \quad (2.2)$$

де $Y^{(R)}(u) = \left(g^{(r_1)}(u), C^{(r_2)}(u), Tr^{(r_3)}(u), F^{(r_4)}(u), T^{(r_5)}(u), \dots \right)$;

$U = (u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n)$ – множина допустимих варіантів (стратегій)

побудови процесу контролю технічного стану, що формуються, з множини керованих параметрів процесу контролю технічного стану ЗВТ.

Процес $\omega(t)$ визначається вектором параметрів процесу контролю технічного стану ЗВТ, як керованих $A_u = \{A_{u1}, A_{u2}, \dots, A_{ui}\}$ так і некерованих $A_v = \{A_{v1}, A_{v2}, \dots, A_{vk}\}$, а також параметрами, що характеризують умови застосування судна $A_R = \{A_{R1}, A_{R2}, \dots, A_{Rn}\}$. При формуванні системи контролю технічного стану ЗВТ до керованих параметрів віднесені наступні: види контролю, засоби контролю, що застосовуються на різних етапах технічного обслуговування і ремонту, повноту та глибину контролю, достовірність, періодичність контролю, чисельність та кваліфікацію операторів судна тощо.

До некерованих параметрів A_v відносяться – конструктивні характеристики та показники надійності ЗВТ, трудовитрати на контроль і пошук місця відмови з застосуванням даного засобу контролю. До параметрів A_R віднесено інтенсивність плавання, її тривалість, характер завдань, що

виконуються та ін. Зміна хоч однієї компоненти вектору управління u на етапах технічного обслуговування, що розглядаються, призводить до створення нового варіанту побудови процесу контролю технічного стану ЗВТ.

В реальних умовах кількість можливих варіантів обмежена. Виходячи з цього, завдання вибору раціонального варіанту організації процесу контролю технічного стану ЗВТ вдається звести до задачі у варіантній постановці, при якій з множини альтернативних варіантів необхідно обрати найбільш сприятливий. Альтернативні варіанти u_j формуються зміною значень компонент вектору u [45]

$$u = (\lambda, \mu, x, P, q, Q, \eta, T),$$

де λ – інтенсивність відмов об'єкта суднових комплексів; μ – інтенсивність самостійного прояву відмови об'єкта суднових комплексів; x – періодичність контролю; P – імовірність виявлення відмови засобом контролю; q – імовірність надання засобом контролю інформації про “хибну” відмову; Q – повнота відновлення об'єкта суднових комплексів в експлуатуючій організації; η – повнота контролю відмов (пошкоджень); T – тривалість експлуатації об'єкта суднових комплексів.

У зв'язку з тим, що залучення комплектуючих ЗВТ в різноманітні стани процесу експлуатації статистично повторюються, а в якості його формального опису обрано схему регенеруючого процесу, то для оцінювання ефективності такого процесу доцільне використовувати показники ефективності математичного сподівання результату

$$\vec{W}(u) = M[Y^{(R)}(u)], \quad W_r(u) = M[y_r(u)], \quad r = \overline{1, R}, \quad u \in U, \quad (2.3)$$

де $W_r(u)$ – часткові показники ефективності використання u -го варіанту організації процесу контролю технічного стану ЗВТ, безвідмовності, економічної та інших видів ефективності експлуатації судна;

$y_r(u)$ – часткові характеристики результату експлуатації судна.

Показник (2.3) є частковим випадком показника ефективності, при якому функція відповідності дорівнює реальному результату [45]

$$\rho \{Y^{(R)}(u), Y_e^{(R)}\} = Y^{(R)}(u).$$

Показники середнього результату найшли широке розповсюдження у дослідженнях ефективності складних технічних систем [12]. Це обумовлено властивістю їх адитивності, що значною мірою спрощує їх оцінку, та полягає в тому, що у випадку можливості представлення результату $Y^{(R)}(u)$ процесу експлуатації судна у вигляді суми результатів окремих його етапів $Y^{(R)}_i(u)$

$$Y^{(R)}(u) = \sum_i Y^{(R)}_i(u),$$

то середній результат процесу, що розглядається, представимо у вигляді суми середніх часткових результатів, незважаючи на можливу їх стохастичну залежність [45]

$$M \left[\sum_i Y^{(R)}_i(u) \right] = \sum_i M \left[Y^{(R)}_i(u) \right].$$

Вибір та обґрунтування показників ефективності судових комплексів судна дозволяє оцінити різні варіанти (стратегії або режими) контролю їх технічного стану та обрати для сформульованого критерію K оптимальний варіант u^* при заданих умовах експлуатації A . Як відомо, критерій ефективності K є правило, що дозволяє порівняти варіанти $u \in U$, що

характеризуються різним ступенем досягненням мети, та здійснити направлений вибір варіантів u з множини припустимих U . При використанні концепції оптимізації застосовуються критерії найбільшого результату у формі: найбільшого середнього результату, найбільшої імовірнісної гарантії результату, найбільшого гарантованого результату та ін.

При використанні в якості показників ефективності процесу контролю технічного стану ЗВТ показника середнього результату (2.3), виберемо найбільш доцільний критерій оптимальності розгляданих стратегій $u \in U$ контролю технічного стану ЗВТ – критерій найбільшого середнього результату. Згідно до цього критерію оптимальним є той варіант u^* , при якому

$$u^* : \max_{u \in U} (\min) W_r(u) = \max_{u \in U} (\min) M[y_r(u)], \quad r = \overline{1, R}.$$

Тоді критерієм оптимальності процесу є отримання максимуму економічного виграшу при зміні організації процесу контролю технічного стану за умови забезпечення заданого рівня коефіцієнту готовності [45]

$$W(U) = \max_{k=1, n} \{M[C_{\sigma\Sigma}(u_{icn})] - M[C_{\sigma\Sigma}(u_k)]\}, \quad \text{при } K_{\sigma k} \geq K_{\sigma icn}, \quad (2.4)$$

де $U = (u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_n)$ – множина визначених допустимих варіантів організації процесу контролю технічного стану;

$u_k = u_l \cup u_m$ – множина параметрів процесу експлуатації;

$u_l = (Q_j, k_{off})$ – множина керованих параметрів процесу експлуатації;

$u_m = (\lambda_j, \mu_j, T_j, x_i, \eta_i, P_i, q_i, T_{зак}, T_{APЗ})$ – множина некерованих параметрів

процесу експлуатації;

$M[C_{\Sigma}(u_{icn})]$ – середня сумарна вартість відновлення суднових комплексів судна за період, що розглядається при існуючій організації системи відновлення;

$M[C_{\Sigma}(u_k)]$ – середня сумарна вартість відновлення суднових комплексів судна за період, що розглядається при альтернативних варіантах організації системи відновлення.

Таким чином, розроблено формалізований опис процесу контролю технічного стану ЗВТ та їх складових у вигляді регенеруючого процесу, на підставі якого обґрунтовані форма показників та критерію ефективності.

2.2. Модель автоматизації на основі марковських процесів

Постановка задачі. Нехай об'єкт дослідження – система S , яка з плином часу змінює свій стан (переходить з одного стану в інший), причому заздалегідь невідомим, випадковим чином. Під «системою» розуміємо технічний стан судна. Більшості процесів, що протікають в реальних системах, властиві, в тій чи іншій мірі, риси випадковості, невизначеності. Випадковий процес, що протікає в системі, називається марковським, якщо для будь-якого моменту часу t_0 імовірнісні характеристики процесу в майбутньому залежать тільки від його стану в t_0 та не залежать від того, коли і як система прийшла в цей стан [14]. У дослідженні операцій велике значення мають так звані марковські випадкові процеси з дискретними станами і безперервним часом [50].

Відомо, що процес називається процесом з дискретними станами, якщо його можливі стани $S_1, S_2, S_3 \dots$ можна заздалегідь перерахувати (пронумерувати) і перехід системи зі стану в стан відбувається «стрибком», практично миттєво [14,25]. Процес називається процесом з безперервним часом, якщо в момент неможливих приходів зі стану в стан не фіксовані заздалегідь, а визначені, випадкові, якщо перехід може бути здійснений, в

принципі, в будь-який момент. Розглянемо тільки процеси з дискретними станами і безперервним часом (рис. 2.1).

Мета дослідження – створити модель та програмне забезпечення для автоматизації контролю технічного стану судна, базуючись на апріорну інформації про інтенсивності переходу стану.

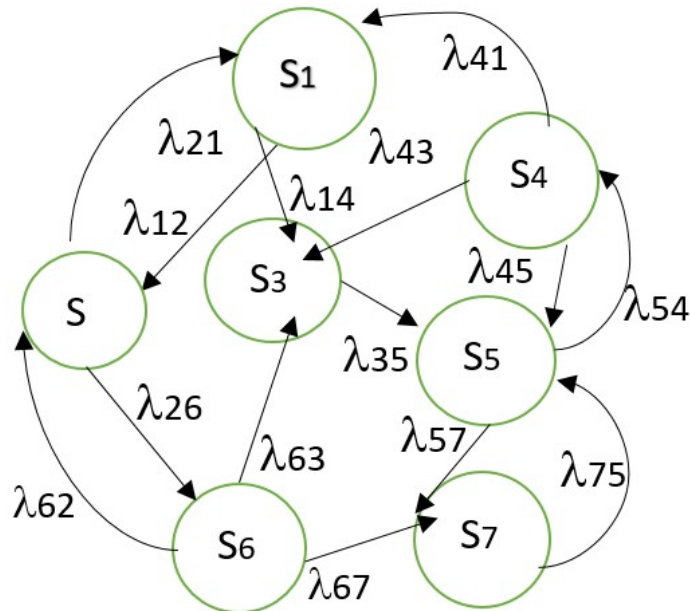


Рис. 2.1. Граф переходу станів

Для роботи використовувана мова програмування C#, .NET 4.6.2, технологія WinForms. Також використовувані сторонні бібліотеки:

- Microsoft.Research.Oslo (бібліотека класів .NET та Silverlight для чисельного рішення звичайних диференціальних рівнянь (ODEs). Бібліотека дозволяє виконувати цифрову інтеграцію у програмах C#, F# та Silverlight. OSLO реалізує формули Рунге-Кутта та формули диференціації).
- Microsoft.Research.Science.Data (керована бібліотека для читання, запису та обміну науково-інформаційними матеріалами, орієнтованими на масиви, такими як часові ряди, матриці, супутникові чи медичні зображення та багатомірні числові сітки).

- ZedGraph (бібліотека, яка містить у собі контроли для веб та десктоп версій, написаних використовуючи платформу .net, написана на С#, для креслення діаграм, графів та графіків. Вона має детальні можливості налаштування, але більшість параметрів є за замовчуванням для простоти використання).

Математичне та програмне забезпечення. В останні роки складність систем судна, що виконують важливі та відповідальні функції, швидко зростає, тому питання надійності стають все актуальнішими. Використання адекватних моделей надійності на етапах проектування дає змогу зменшити витрати на етапі тестування. У роботі згідно з [29] під надійністю розумітимемо ймовірність безвідмовної роботи ЗВТ за певний період часу за певних умов. На даний час існує багато підходів та моделей, які дозволяють прогнозувати або оцінювати надійність ЗВТ. Загалом, ці моделі поділяють на моделі “білої скриньки” та моделі “чорної скриньки” [14] залежно від використання інформації про систему.

Моделі чорної скриньки не враховують підсистеми ЗВТ, а прогнозування надійності здійснюється лише на основі аналізу вхідних/вихідних даних. В останнє десятиліття все більше уваги приділяється моделям, що враховують структуру ЗВТ, тобто моделям “білої скриньки”, що своєю чергою поділяються на адитивні моделі, моделі, що ґрунтуються на шляхах виконання ЗВТ та моделі, що використовують компонентний підхід [13,41]. Зрозуміло, що моделі “білої скриньки” адекватніше можуть описати надійність ЗВТ, адже вони оцінюють внутрішню структуру ЗВТ та взаємодію його компонентів, тобто його архітектуру, тому цей тип моделей називають ще інакше – моделі, побудовані на базі структурного підходу.

Аналіз показав, що значна кількість робіт присвячена дослідженню моделей на основі компонентного підходу, що використовують граф потоку керування для опису системи ЗВТ [12,14,20,67]. У цьому підході стан ЗВТ

можна змоделювати як ланцюг Маркова з дискретним часом, неперервним часом та напівмарківським процесом.

При аналізі випадкових процесів з дискретними станами зручно користуватися геометричною схемою – так званим графом станів (рис. 2.2).

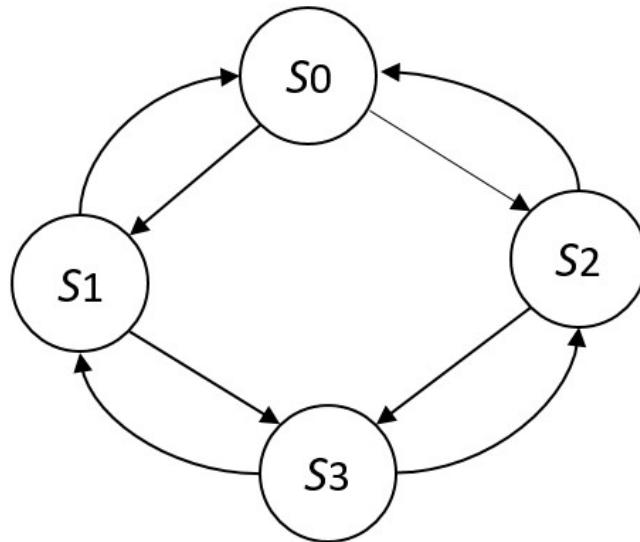


Рис 2.2. Граф станів

Стани системи зображуються колами, а можливі переходи зі стану в стан – стрілками, що з'єднують стани. Будемо зображати стани, в яких записані позначення станів: S_1, S_2, \dots, S_n (рис.2.3). Побудуємо граф станів. Стрілка, спрямована з S_1 в S_2 , означає перехід в момент переходу в другий стан; стрілка, спрямована назад, з S_2 в S_1 , – перехід в момент зворотного переходу. Решта стрілки пояснюються аналогічно.

Звертаємо увагу на стани ЗВТ, які розглянути в моделі, ці стани відповідають ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення [29].

Стани об'єкта контролю ТС ЗВТ

S_1 – справність – стан об'єкта, за яким він здатний виконувати усі задані функції об'єкта.

S_2 – несправність – стан об'єкта, за яким він нездатний виконувати хоч би одну із заданих функцій об'єкта (несправність часто є наслідком відмови об'єкта, але може бути й без неї).

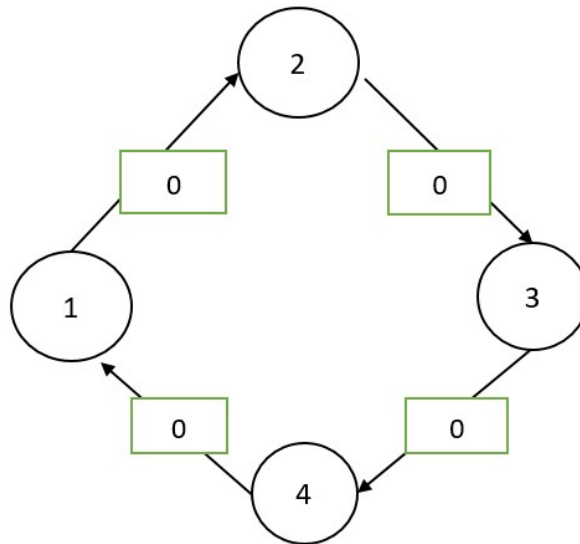


Рис. 2.3. Граф станів у програмній реалізації

S3 – працездатний стан; працездатність – стан об’єкта, який характеризується його здатністю виконувати усі потрібні функції.

S4 – непрацездатний стан; непрацездатність – стан об’єкта, за яким він нездатний виконувати хоч би одну з потрібних функцій.

S5 – критичний стан – стан об’єкта, що може призвести до травмування людей, значних матеріальних збитків чи інших неприйнятних наслідків. (Критичний стан не завжди є наслідком критичної несправності. Для конкретного об’єкта повинні бути встановлені критерії критичного стану).

S6 – граничний стан – стан об’єкта, за яким його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе чи недоцільне. Граничний стан настає, наприклад, тоді, коли параметр потоку відмов стає неприйнятним та (чи) об’єкт стає неремонтопридатним внаслідок несправності.

S7 – незначна несправність – несправність, що не порушує жодної з потрібних функцій об’єкта. Несправність чи дефект, внаслідок ушкодження викликані порушенням допоміжної функції.

S8 – значна несправність – несправність, що порушує хоча б одну з

погрібних функцій об'єкта.

S9 – часткова несправність – несправність, що викликає нездатність об'єкта виконувати частину потрібних функцій.

S10 – повна несправність – несправність, що характеризується повною нездатністю об'єкта виконувати усі потрібні функції.

S11 – критична несправність – несправність, що може призвести до травмування людей, значних матеріальних збитків чи інших неприйнятних наслідків.

Потоком подій називається послідовність однорідних подій, які йдуть одне за іншим в якісь випадкові моменти часу. Розглядаючи марковські процеси з дискретними станами і безперервним часом, зручно буде уявляти, що всі переходи системи S зі стану в стан відбуваються під дією якихось потоків подій (потік відмов та ін). Якщо все потоки подій, що переводять систему S зі стану в стан, – найпростіші, то процес, який протікає в системі, буде марковським. Це і природно, так як найпростіший потік не має післядії: в ньому «майбутнє» не залежить від «минулого». Якщо система S знаходиться в якомусь стані S_i , з якого є безпосередній перехід в інший стан S_j (стрілка, яка веде з S_i в S_j на графі станів), то ми собі це будемо представляти так, як ніби на систему, поки вона знаходиться в стані S_i , діє найпростіший потік подій, що переводить по стрілці $S_i \rightarrow S_j$. Як тільки з'явиться перша подія цього потоку – відбувається «перескок» системи з S_i в S_j . Для наочності дуже зручно на графі станів у кожної стрілки проставляємо інтенсивність того потоку подій, який переводить систему по даній стрілці. Позначимо λ_{ij} інтенсивність потоку подій, що переводить систему зі стану S_i в S_j . На рисунку 2.4 даний граф станів з проставленими у стрілок інтенсивністю (будемо називати такий граф розміченим).

Назвемо ймовірністю i -го стану ймовірність $P_i(t)$ того, що в момент t система буде перебувати в стані S_i . Очевидно, що для будь-якого моменту сума всіх ймовірностей (2.1) станів дорівнює одиниці

$$\sum_{i=1}^n p_i(t) = 1 \quad . \quad (2.5)$$

Маючи в своєму розпорядженні розмічений граф станів, можна знайти всі ймовірності станів $p_i(t)$ як функції часу. Для цього складаються і вирішуються так звані рівняння Колмогорова – диференціальні рівняння особливого виду, в яких невідомими функціями є ймовірності станів [14].

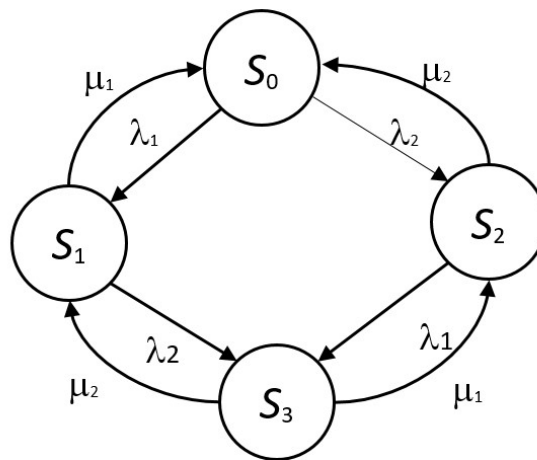


Рис. 2.4. Граф станів

Покажемо на конкретному прикладі, як ці рівняння складаються. Нехай система має чотири стани: S_1, S_2, S_3, S_4 , розмічений граф якої показаний на рисунку 2.5. Розглянемо одну з ймовірностей станів, наприклад $p_1(t)$. Це – ймовірність того, що в момент t система буде стані S_1 . Додомо t малий приріст Δt і знайдемо $p_1(t + \Delta t)$ – ймовірність того, що в момент $t + \Delta t$ система буде в стані S_1 . Це може статися двома способами: або 1) в момент t система вже була в стані S_1 , а за час Δt не вийшла з нього; або 2) в момент t система була в стані S_2 , а за час Δt перейшла з нього в S_1 .

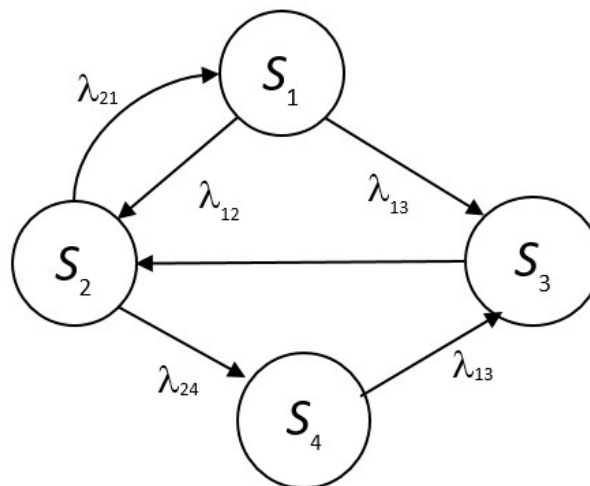


Рис. 2.5. Приклад графу станів з інтенсивністю переходу

Знайдемо ймовірність першого варіанту. Ймовірність того, що в момент t система була в стані S_1 , дорівнює $p_1(t)$. Цю ймовірність потрібно помножити на ймовірність того, що, находячись в момент t в стані S_1 , система за час Δt не перейде з нього ні в S_2 , ні в S_3 . Сумарний потік подій, що виводить систему зі стану S_1 , теж буде найпростішим, з інтенсивністю $\lambda_{12} + \lambda_{13}$ (при накладенні – суперпозиції – двох найпростіших потоків виходить знову найпростіший потік, так як властивості стаціонарності, ординарності і відсутності післядії зберігаються). Значить, ймовірність того, що за час Δt система вийде зі стану S_1 , дорівнює $(\lambda_{12} + \lambda_{13}) \Delta t$; ймовірність того, що не вийде: $1 - (\lambda_{12} + \lambda_{13}) \Delta t$. Звідси ймовірність першого варіанту дорівнює $p_1(t) [1 - (\lambda_{12} + \lambda_{13}) \Delta t]$.

Знайдемо ймовірність другого варіанта. Вона дорівнює ймовірності того, що в момент t система буде в стані S_2 , а за час Δt перейде з нього в стан S_1 , тобто вона дорівнює $p_2(t) \lambda_{21} \Delta t$.

Складаючи ймовірності обох варіантів (за правилом додавання ймовірностей), отримаємо

$$p_1(t + \Delta t) = p_1(t) [1 - (\lambda_{12} + \lambda_{13}) \Delta t] + p_2(t) \lambda_{21} \Delta t. \quad (2.6)$$

Спрямуємо Δt до нуля; зліва отримаємо в ліміту похідну функції $p_1(t)$. Таким чином, напишемо диференціальне рівняння для $p_1(t)$

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{21}p_2(t) - (\lambda_{12} + \lambda_{13})p_1(t), \quad (2.7)$$

Міркуючи аналогічно для всіх інших станів, напишемо ще три диференціальних рівняння. Приєднуючи до них рівняння, отримаємо систему диференціальних рівнянь для ймовірностей станів

$$\begin{aligned} \frac{dp_1}{dt} &= \lambda_{21}p_2 - (\lambda_{12} + \lambda_{13})p_1, \\ \frac{dp_2}{dt} &= \lambda_{12}p_1 + \lambda_{32}p_3 - (\lambda_{24} + \lambda_{21})p_2, \\ \frac{dp_3}{dt} &= \lambda_{31}p_1 + \lambda_{43}p_4 - \lambda_{32}p_3, \\ \frac{dp_4}{dt} &= \lambda_{24}p_2 - \lambda_{43}p_4 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Це – система чотирьох лінійних диференціальних рівнянь з чотирма невідомими функціями p_1, p_2, p_3, p_4 . Зауважимо, що одне з них (будь-яке) можна відкинути, користуючись тим, що $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1$: виразити будь-яку з ймовірностей p_i через інші, а відповідне рівняння з похідною відкинути.

Висловимо загальне правило складання рівнянь Колмогорова. У лівій частині кожного з них стоїть похідна ймовірності якогось (i -го) стану. У правій частині – сума добуток ймовірностей всіх станів, з яких йдуть стрілки в даний стан, на інтенсивності відповідних потоків подій, мінус сумарна інтенсивність

всіх потоків, які виводять систему з даного стану, помножена на ймовірність даного (i -го) стану [14].

Щоб вирішити рівняння Колмогорова і знайти ймовірності станів, перш за все треба задати початкові умови. Якщо ми точно знаємо початковий стан системи S_i , то в початковий момент (при $t = 0$) $p_i(0) = 1$, а всі інші початкові ймовірності дорівнюють нулю.

Таким чином, рівняння Колмогорова дають можливість знайти всі ймовірності станів як функції часу.

Алгоритм моделі

Для програмної реалізації аналізу властивостей комп'ютерної системи використано мову C# та технологію WinForms.

Перш за все потрібно реалізувати інтерфейс користувача для вводу даних (малювання станів системи та інтенсивність їх переходів). Стан системи будемо позначати червоним кругом та номером стану, який автоматично генерується, у центрі круга. Перехід станів будемо позначати зеленою стрілкою з полем, в яке вводимо інтенсивність переходу. У якості прикладу на рисунку 2.6 позначено перехід системи зі стану 1 у стан 2 з інтенсивністю переходу 0,5.

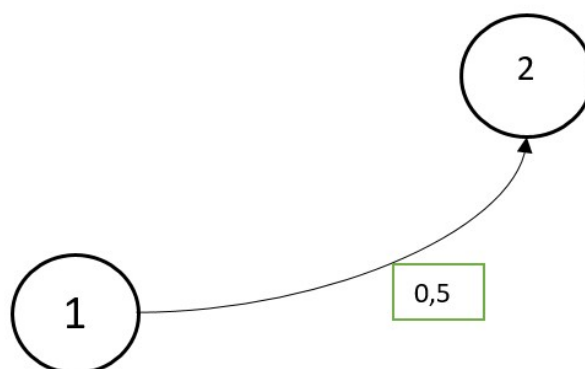


Рис. 2.6. Два стани з інтенсивністю переходу у інтерфейсі програмній реалізації

Після того, як ми ввели усі стани та їх інтенсивності, нам потрібно створити систему диференціальних рівнянь, використовуючи загальне правило складання рівнянь Колмогорова створимо динамічно делегат, який ми будемо передавати у бібліотеку Microsoft.Research.Oslo. Для цього нам потрібно знати початковий стан та час, на який потрібно розрахувати.

Для генерації делегатів будемо використовувати вбудовану бібліотеку у .NET Framework – System.Linq.Expressions. Після формування делегату передаємо систему рівнянь Колмогорова до бібліотеки, яка вирішує її за допомогою методу Рунге – Кутти, який полягає у наступному.

Розглянемо задачу Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь першого порядку.

$$y' = (x, y), y(x_0) = y_0. \quad (2.9)$$

Тоді наближене значення в наступних точках обчислюється за ітераційною формулою

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4). \quad (2.10)$$

Обчислення нового значення проходить в чотири етапи (h – величина кроку сітки по x):

$$\begin{aligned} k_1 &= f(x_n, y_n), \\ k_2 &= f\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{h}{2}k_1\right), \\ k_3 &= f\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{h}{2}k_2\right), \\ k_4 &= f(x_n + h, y_n + hk_3). \end{aligned} \quad (2.11)$$

Після вирішення системи звичайних диференціальних рівнянь побудуємо графік, використовуючи точки, які отримали. Будемо використовувати

бібліотеку ZedGraph для малювання графіків. У якості прикладу побудуємо систему, яка може знаходитись в одному з трьох станів з інтенсивністю переходу, які на рисунку 2.7.

Та отримаємо результат у вигляді графіка з рисунку 2.8.

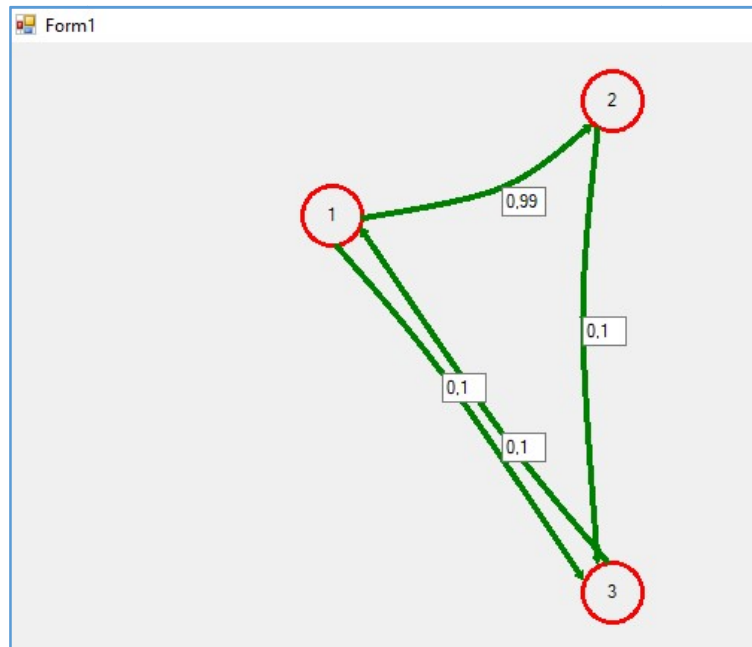


Рис. 2.7. Приклад графа станів у інтерфейсі програмної реалізації

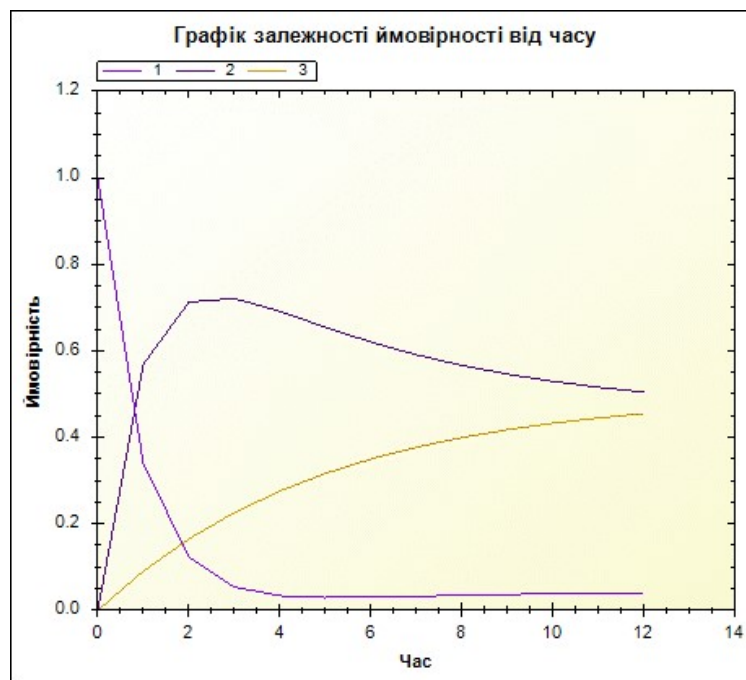


Рис. 2.8. Результати моделювання для графа станів на рис. 2.7

Оцінка ефективності програми

Якість коду – це комплексна величина, яка містить у собі наступні характеристики [55,71]:

- Функціональність (Functionality) – визначається здатністю програмного забезпечення (ПЗ) вирішувати завдання, які відповідають зафіксованим і очікуваним потребам користувача, при заданих умовах використання ПЗ. Тобто ця характеристика відповідає за те, що ПЗ працює справо і точно, функціонально сумісно, ПЗ відповідає стандартам галузі і захищене від несанкціонованого доступу.
 - Надійність (Reliability) – здатність ПЗ виконувати необхідні завдання в позначених умовах протягом заданого проміжку часу або вказану кількість операцій. Атрибути даної характеристики – це завершеність і цілісність всієї системи, здатність самостійно і коректно відновлюватися після збоїв в роботі, відмовостійкість.
 - Зручність використання (Usability) – можливість легкого розуміння, вивчення, використання і привабливості ПО для користувача.
 - Ефективність (Efficiency) – здатність ПЗ забезпечувати необхідний рівень продуктивності у відповідність з виділеними ресурсами, часом і іншими позначеними умовами.
 - Зручність супроводу (Maintainability) – легкість, з якою ПЗ може аналізуватися, тестуватися, змінюватися для виправлення дефектів, для реалізації нових вимог, для полегшення подальшого обслуговування та адаптуватися до наявного оточення.
 - Портативність (Portability) – характеризує ПЗ з точки зору легкості його перенесення з одного оточення (software / hardware) в інше.
- Базуючись на визначенні цих характеристик, ми можемо сказати наступне:
- Створена програма є функціональною, тому що ПЗ задовольняє усім потребам користувача.

- Дане ПЗ не є повністю надійним (можливі ситуації, які розробник не передбачав).
- Інтерфейс програми доволі інтуїтивно зрозумілий, однак цей інтерфейс стає важко зрозумілим при аналізі систем з великою кількістю станів.
- Завдяки використанню швидких математичних апаратів для розрахунків та відображення результату, це ПЗ вкрай ефективно.
- Це програмне забезпечення є цілком не портативним, тому що воно розроблялось тільки для роботи на ОС Windows.

2.3. Моделювання контролю технічного стану за допомогою розробленого програмного забезпечення

Модельний приклад для перевірки запропонованих в роботі наукових результатів описаний в п.4.2. Але вхідні данні отримані на основі моделювання за допомогою моделі та відповідного програмного забезпечення, яке описано вище. Представимо частину цього матеріалу в таблицях 2.1 – 2.4. Для експерименту 1 з метою більшої наочності інтерфейс з інформацій про вхідні данні та результати моделювання представлений на рис. 2.9, 2.10.

Технологія проведення комп'ютерного моделювання за допомогою розробленого програмного забезпечення є в наступному. Спочатку визначаємо граф станів, на цьому графі позначаємо (вводимо у відповідне віконце інтерфейсу) інформацію, яка відповідає інтенсивності переходу, тобто часу переходу з одного стану в інший. Інтенсивності переходів вважаються відомими апріорно. Наступним кроком є визначення початкового стану для інтегрування системи диференціальних рівнянь Колмогорова, потім визначаємо кількість кроків інтегрування, яке відповідає часу дослідження динамічного процесу. Третім кроком дослідження є отримання відповідних результатів у вигляді графіка залежності імовірності знаходження в кожному стані від часу. Наступним кроком є формування висновку стосовно отриманого дослідження.

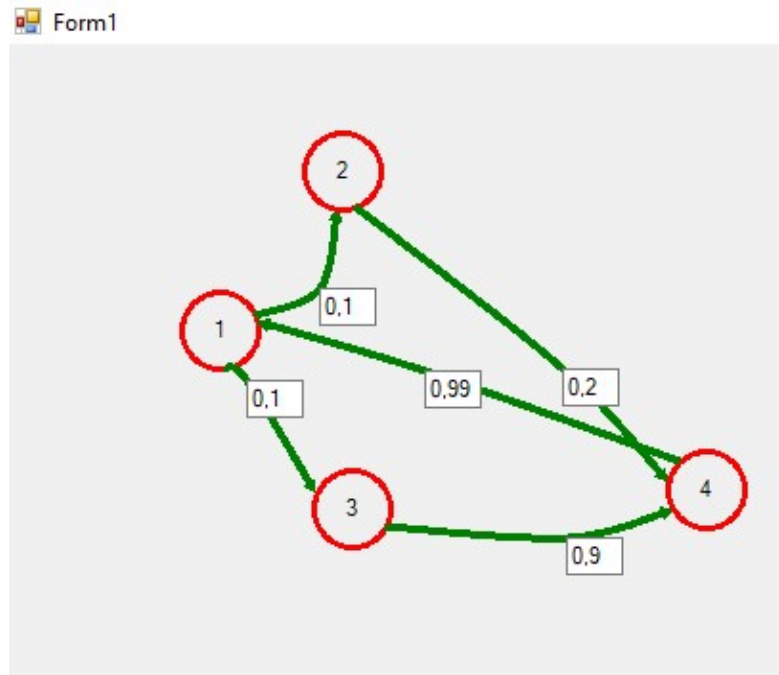


Рис. 2.9. Інтерфейс з вхідними даними (експеримент 1)

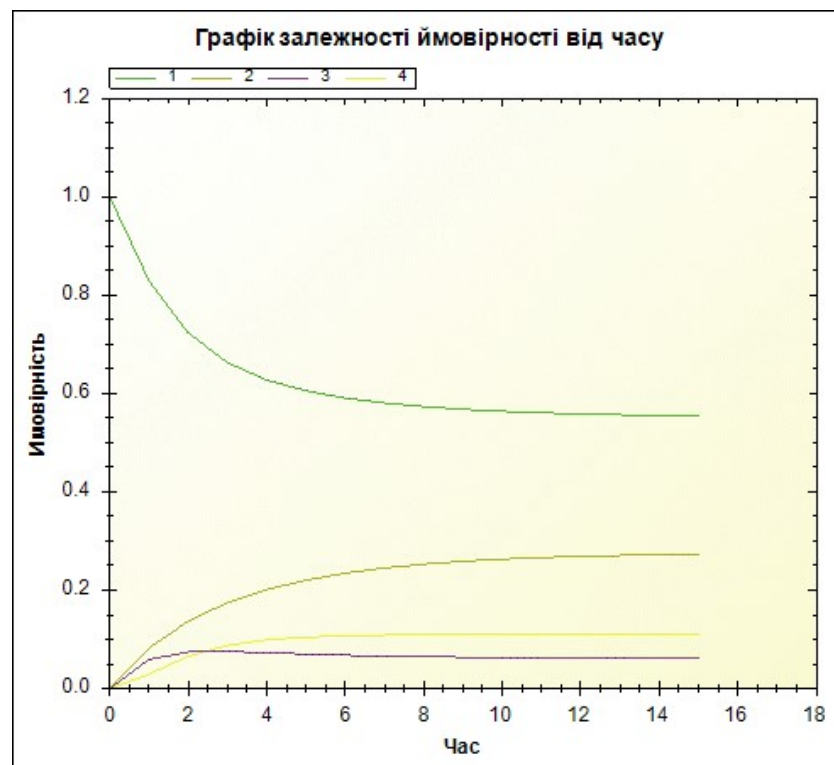


Рис. 2.10. Результати моделювання (експеримент 1)

Розглянемо це на прикладі (експеримент № 1). Вхідна інформація і результати моделювання представлені в п.1 таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Моделювання контролю технічного стану за допомогою розробленого програмного забезпечення

№ дослідю	Інтерфейс з вхідними даними	Результати моделювання
1		
2		

Отже, ця система може перебувати в чотирьох станах, які складають повну групу несумісних подій. Стан номер один – «справність», стан номер 2 і 3 – «несправність». Причому стан номер 2 характеризується тим, що система контролю технічного стану слабке ефективна, а стан номер 3 характеризується високоефективною системою контролю технічного стану. Тому перехід зі стану номер 2 в стан номер 4 відбувається дуже повільно, а перехід зі стану 3 в стан номер 4 досить швидко. Таким чином, отримуємо результати моделювання у

вигляді залежності ймовірності знаходження в кожному стані від часу.
 Висновок: ненадійна система – низки показники безвідмовності.

Таблиця 2.2

Моделювання контролю технічного стану за допомогою розробленого програмного забезпечення

№ досліджу	Інтерфейс з вхідними даними	Результати моделювання
3		
4		
5		

Таблиця 2.3

Моделювання контролю технічного стану за допомогою розробленого програмного забезпечення

№ досліду	Інтерфейс з вхідними даними	Результати моделювання
6		
7		
8		

Моделювання контролю технічного стану за допомогою розробленого програмного забезпечення

№ досліду	Інтерфейс з вхідними даними	Результати моделювання
9		
10		
11		

Висновки до розділу 2

1. Дослідження принципів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту визначило такі основні принципи: принцип узгодженості, суть якого в тому, що всі дії в процесі, що автоматизується повинні бути узгоджені між собою та зі входами і виходами процесу. У разі неузгодженості дій може статися порушення виконання процесу; принцип інтеграції – процес, що автоматизується повинен мати можливість інтегруватися в загальне середовище; принцип незалежності виконання – процес, що автоматизується повинен виконуватися самостійно, без участі людини, або з мінімальним контролем з боку людини. Людина не повинна втручатися в процес, якщо процес виконується відповідно до встановлених вимог.

2. Найбільш ефективною є стратегія удосконалення моделі автоматизованого контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка на відміну від існуючих базується на марковських процесах, методі Рунге-Кутта чисельного рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова та апріорної інформації про інтенсивності переходів зі стану в стан. Використання програмної реалізації моделі значно покращує показники оперативності за рахунок ергономічності інтерфейсу та зменшення кількості операцій.

3. Моделювання технічного стану ЗВТ за допомогою розробленого програмного забезпечення свідчить про те, що розробка є функціональною, тому що програмне забезпечення задовольняє більшості потреб користувача. Модель є адекватною, а дане програмне забезпечення є досить надійним. Інтерфейс програми зручний та ергономічний. Завдяки використанню швидких математичних апаратів для розрахунків та відображення результату програмного забезпечення досить ефективно. Але програмне забезпечення є цілком не портативним, тому що воно розроблялось тільки для роботи на ОС Windows.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДЕН

3.1. Евристична модель оперативного визначення технічного стану ЗВТ в умовах відсутності достовірної статистичної інформації

У сучасних умовах розвитку науки, впровадження її результатів в практику пов'язані зі створенням таких систем, які автоматично витягають із середовища необхідні дані, переробляють їх, координують дії щодо наявних цілей та володіють при цьому здатністю обробляти значні масиви інформації, а також функціонувати, не маючи постійних контактів з людиною-оператором. Це в повній мірі відноситься і до систем автоматичної (автоматизованої) оцінки технічного стану засобів водного транспорту [1-4].

В загальному випадку такі системи необхідні в умовах, коли віддаленість дослідника не дозволяє йому своєчасно реагувати на зміни обстановки в районі об'єкта досліджень при роботі в середовищах, небезпечних для людини (наприклад, через радіацію, високих температур та ін.). А згідно теми дисертаційного дослідження в умовах, які вимагають додатково складних і багато вартісних підготовчих робіт (наприклад, повної або часткової розбірки агрегатів судна, при обробці великих масивів вихідної різномірної інформації, пов'язаною з графіком заходів щодо технічної експлуатації судна.

Наведені міркування висувають необхідність застосування якісно нових методів вирішення завдань, шляхом моделювання процесу мислення людини, методів, які забезпечать ефективне розв'язання особливо складних завдань, зокрема контролю технічного стану обладнання судна, в умовах неповної, недостатньої поточної інформації. Такі завдання виникають в умовах функціонування систем, що залежать від багатьох різномірних змінних. Методи вирішення таких завдань в умовах, коли через складність або недостатності інформації не можна точно окреслити межі їх застосування та

оцінити допустимі помилки, називають евристичними [5,18]. Достатня кількість схожих наукових напрямків має назви: м'які обчислення, нечітка логіка, нейронні мережі та алгоритми і та інше [18,21,22,32,33,36,37,40,56,58].

Евристичні методи, на відміну від строгих, припускають вивчення принципової переробки інформації, що здійснюється людиною на різних етапах його діяльності при вирішенні різних завдань, і побудова на цій основі комп'ютерних програм. Цей процес зазвичай називають евристичним програмуванням [5,21, 59,69,75,88].

Слід зазначити, що характерною особливістю евристичного програмування є широке вивчення методів роботи людини при вирішенні завдання в умовах неповної поточної інформації, особливостей накопичення даних про процес вирішення аналогічних завдань; формування досвіду і моделювання всього процесу переробки інформації шляхом розчленування його на елементарні під етапи [18, 90,91,98-102,119].

Евристичні рішення принципово відрізняються від строгих. Основним в їх утворенні є процедури пошуку взаємопов'язаності компонентів рішення, який починається в умовах відсутності відповідного алгоритму та будь-яких відомостей про існування рішення і його єдності. При цьому при процесі пошуку іноді проводиться додатковий збір необхідної інформації [22]. Загально прийнято, що центральне місце в теорії евристичних рішень займають проблеми впізнання ситуацій та явищ навколишнього світу, що являють собою звернення приватних проблем розпізнавання образів [5].

Важливе значення у створенні теорії евристичних рішень уявляє дослідження елементарних інформаційних процесів на різних рівнях [98-102]. Під дослідженням елементарних інформаційних процесів зазвичай розуміють «факторизацію», дроблення, програмування розумового процесу, а головним завданням дослідження є виявлення правил об'єднання цих елементарних інформаційних процесів у складні програми. Це безумовно віддзеркалює один з основних принципів системного підходу – принципу декомпозиції.

$$S(t)_{df} < \Omega > S_1(t)S_2(t), \dots, S_n(t).$$

Модель процесу змін об'єкта $S_I(t)$ в ланцюжку причинно-наслідкових зв'язків має вигляд

$$\dots \rightarrow S_1(t-2) \rightarrow S_1(t-1) \rightarrow S_1(t) \rightarrow S_1(t+1) \rightarrow S_1(t+2) \rightarrow \dots$$

У загальному виді модель оцінки технічного стану судна має вигляд

$$S(t, \omega)_{df} < \Omega > S_1(t_1, \omega_1)S_2(t, \omega_2) \dots S_n(t, \omega_n).$$

Скористаємося відомим в науці підходом опису причинно-наслідкових зв'язків [5,105-111]. Дамо загальне формулювання даного завдання. Нехай деякій системі на момент t_0 задана $S(t_0)$ і нехай необхідно перейти від $S(t_0)$ в деяку бажану ситуацію, що задається структурою $S(T)$. Далі для переходу з однієї ситуації в іншу є деяка множина операторів $r_j (j=1, 2, \dots, N)$.

А також, нехай є список заборонених ситуацій, заданої структурами S', S'', \dots , проходження через які при всіх переходах від $S(t_0)$ до $S(T)$ не допускається. Тоді поставлена задача може звучати так: вибрати зі списку операторів таку мінімальну їх послідовність, щоб при послідовному їх застосуванні можна було прийти до бажаного результату. При цьому процес вирішення можна побудувати двома способами:

1. Рухаючись від кінця до початку, виявити ланцюжок причинно-наслідкових зв'язків

$$S(T) \xrightarrow{r_{jT}} S(T-1) \xrightarrow{r_{jT-1}} \dots \xrightarrow{r_{jt_0+2}} S(t_0+1) \xrightarrow{r_{jt_0+1}} S(t_0);$$

2. Рухаючись від початку до кінця намітити послідовність актів прийняття рішень

$$S(t_0) \xrightarrow{r_{j_{t_0+1}}} S(t_0 + 1) \xrightarrow{r_{j_{t_0+2}}} \dots \xrightarrow{r_{j_{T-1}}} S(T-1) \xrightarrow{r_{j_T}} S(T).$$

Операції як дії, що виходять з минулого досвіду

У роботі будемо розуміти під виведенням систему операцій, при цьому під операцією мається на увазі деяка внутрішня дія. Тому визначимо операцію, як елементарну одиницю виведення через тріаду $S_\tau r S_{\tau+1}$, де S_τ – стан, який мав місце до застосування даної операції; $S_{\tau+1}$ – стан, утворений після застосування даної операції; r – операція, що переводить S_τ у $S_{\tau+1}$. Слід особливо підкреслити, що під r розуміється елементарна операція, неподільна без втрати змісту і однозначно визначається $S_{\tau+1}$ до S_τ . Деяке рішення видається послідовністю тріад

$$\begin{array}{c} S_{\tau_0} r S_{\tau_0+1} \\ S_{\tau_0+1} r_2 S_{\tau_0+2} \\ S_{\tau_0+2} r_3 S_{\tau_0+3} \end{array}$$

чи, після об'єднання їх ланцюгом

$$S_{\tau_0} r_1 S_{\tau_0+1} r_2 S_{\tau_0+2} r_3 S_{\tau_0+3}, \quad (3.1)$$

то, позначивши

$$r_1 S_{\tau_0+1} r_2 S_{\tau_0+2} r_3,$$

за r , скоротимо рішення до тріади

$$S_{\tau_0} r S_{\tau_0+3}, \quad (3.2)$$

понад збільшеним оператором (операцією) r . Оператор r є більш загальним, ніж його складові r_1 , r_2 , r_3 , в результаті чого вираз (3.1) та (3.2) не завжди еквівалентні.

Запис операцій у вигляді тріади надмірна, тому в ряді випадків можна представляти у вигляді

$$S_{\tau} \rightarrow S_{\tau+1} \text{ або } S_{\tau} \xrightarrow{r},$$

причому останнє відповідає функціональному запису $r(S_{\tau})$.

Найбільш важливими властивостями операцій є скороченість, системність та оборотність. Іншими словами операції у порівнянні з предметними діями мають скорочений характер, так як оперують з образами, знаками, символами, що відображають реальні об'єкти; сукупність операцій утворює деяку систему у своїх взаємодіях; і, нарешті, для кожної операції є протилежна їй, оборотна операція відновлююча з результатів вихідну ситуацію.

Джерелом операції є зовнішня предметна діяльність експерта, що утворює його досвід. При цьому досвід виступає в двох планах. По-перше, він закріплюється як результат індивідуальної конкретної діяльності у конкретних умовах та конкретному середовищі. В цьому випадку досвід відображається у вигляді відповідного конкретного уявлення про середовище, у якій оперує людина, з індивідуальною для даного організму деталізацією, надаючи його творчу індивідуальність. По-друге, минулий досвід закріплюється в операціях, які є результатом колективних зусиль групи експертів.

Нехай є деяка задача, і нехай для її вирішення намічені підцілі S_{τ_i}

Тоді ці підцілі можна уявити проєкцією розгалуженого процесу

$$S_{\tau_0} \xrightarrow{r_1} S_{\tau_1} \xrightarrow{r_2} \dots \xrightarrow{r_i} S_{\tau_i} \xrightarrow{r_{i+1}} S_{\tau_{i+1}} \xrightarrow{r_{\tau+2}} \dots \xrightarrow{r_n} S_{\tau_n}.$$

Розглянемо деяку тріаду, наприклад,

$$S_{\tau_i} \xrightarrow{r_{i+1}} S_{\tau_{i+1}},$$

як підзадачу вихідної задачі, і знайдемо нові підцілі, які деталізують перехід S_{τ_i} та $S_{\tau_{i+1}}$.

Продовжуючи цей процес рано чи запізно неважко дійти до операцій того рівня, на якому ошукається рішення. Побудована таким чином ієрархічна система рішень різко скорочує кількість досліджуваних гілок розгалуженого процесу і має ряд очевидних переваг: а) ступінь деталізації може бути різною та залежить від потреб і наявних у нашому розпорядженні операцій; б) є можливість вирішувати складну задачу по частинах; в) видається можливим використовувати досвід вирішення подібних завдань.

Таким чином, схема розробленої в роботі евристичної моделі оперативного визначення технічного стану ЗВТ в умовах відсутності достовірної статистичної інформації надається на рисунку 3.1.



Рис. 3.1. Схема моделі

3.2. Метод оцінки ефективності моделей автоматизації

Уявлення абстрактної моделі виведення у вигляді розгалуженого процесу або, що те ж саме, у вигляді орієнтованого графа дозволяє виявити ряд властивостей моделі, звертаючи до теорії графів [57].

Нехай корінь вузлова точка розгалуженого процесу, у яку входить одна операція (гілка) попереднього етапу і виходить Z альтернатив (гілок), породжуваних операціями на даному етапі.

Вважаємо, що на кожному етапі кожен корінь має на виході Z гілок, тоді загальна кількість гілок розгалуженого процесу, що з'являється на U -му етапі, дорівнює Z^U , а загальна кількість гілок цього дерева

$$V(U) = Z(Z^U - 1)/(Z - 1).$$

Позначимо коріння їх адресами, уявними індексами коренів попереднього етапу (крім нульового), що породили розглянутий корінь, і його порядковим номером зверху вниз.

Наприклад, корінь $S_{j_1 j_2 \dots j_{k-1} j_k}$ породжений коренем попереднього етапу і його порядковий номер $S_{j_1 j_2 \dots j_{k-1}}$, та його порядковий номер k .

Позначимо операції через r з індексом, рівним індексу кореня результату. Для скорочення запису в ряді випадків позначимо складний індекс $j_1 j_2 \dots j_{k-1} j_k$, як j_k . Неважко бачити, що нижній індекс у крайній правій букви означає етап, на якому розглядається дані корінь. Потім також, що в ряді випадків складний індекс кореня $S_{j_1 j_2 \dots j_k}$ можна інтерпретувати як деяке число, записане за певним модулем.

Так, за допомогою випадкових пошукових дій, здійснюваних за допомогою розгалуженого процесу, що містить Z альтернатив в кожному корінні і маючого довжину U , а також маючого один вірний шлях до мети, буде потрібно в середньому $(0,5 Z)^U$ проб: у тому ж дереві, якщо евристичний

тест дозволить відкинути як марне половину альтернатив в кожному корені і здійснити випадковий пошук, кількість проб скоротиться до $0,5 (0,5 Z)^U$, тобто в два рази і так далі [5].

Отриманий граф в результаті застосування того або іншого тесту називають усіченим розгалуженим процесом [5]. Розглянемо модель ефективності пошуку рішень при використанні усіченого розгалуженого процесу. Нехай t_1, t_2, t_{k+1} – кількість усічених коренів розгалуженого процесу на 1-му, 2-му, ... U -му, $(U+1)$ -му етапах рішення кількість, а Z – кількість застосовуваних операції. Тоді кількість гілок на цих етапах буде відповідно дорівнювати:

$$\begin{aligned} v_1 &= Z - t_1, \\ v_2 &= (Z - t_1)Z - t_2, \\ &\dots\dots\dots \\ v_U &= Z^U - t_1 Z^{U-1} - \dots - t_{U-1} Z - t_U, \\ v_{U+1} &= Z^{U+1} - t_1 Z^U - \dots - t_{U-1} Z^2 - t_U Z - t_{U+1}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Зрозуміло, якщо на деякому, наприклад на U -му етапі, досягнуто рішення, то на наступному $U+1$ -му етапі, на всі гілки слід відсікти, тобто

$$v_{U+1} = 0. \quad (3.4)$$

Якщо загальна кількість відсічених коренів T , а загальна кількість залишених гілок – V . Тоді

$$T = \sum_{j=1}^{T+1} t_j, \quad (3.5)$$

$$V = \sum_{j=1}^{T+1} v_j \quad (3.6)$$

підсумовуючи (3.3), отримаємо

$$V = Z \frac{Z^{U+1} - 1}{Z - 1} - t_1 \frac{Z^{U+1}}{Z - 1} - t_2 \frac{Z^U - 1}{Z - 1} - \dots - t_{U+1} \frac{Z - 1}{Z - 1},$$

або, помічаючи прийдемо до результату

$$V = \frac{T - Z}{Z - 1}. \quad (3.7)$$

Вважаючи, що кількість залишилися гілок може бути інтерпретовано як довжина шляху, що веде до вирішення, отриманий результат можна сформулювати в наступній формі: *довжина шляху, що веде до вирішення, залежить від співвідношення числа відсічених коренів і числа застосовуваних операторів.*

Розуміючи надалі під ефективністю рішення $\Xi(U)$ відношення довжин шляхів до вирішення без використання V^* і з використанням (V) того чи іншого тексту, отримаємо

$$\Xi(U) = \frac{V^*}{V}. \quad (3.8)$$

Без використання цього тесту кількість шляхів до вирішення буде максимальне та дорівнює

$$V^* = \frac{Z(Z^U - 1)}{Z - 1}.$$

Підставляючи отримане у (3.7) та у (3.8) отримали

$$\Xi(U) = \frac{Z(Z^U - 1)}{T - Z}.$$

Знайдемо граничне значення T , через нього та $\Xi(U)$.

1 варіант) T_{min} можливо, коли на кожному з U етапів є тільки один шлях, а на $(U+1)$ -му етапі немає жодного шляху (так як рішення вже знайдено), тобто

$$t_1 = t_2 = \dots t_U = Z - 1; m_{U+1} = Z.$$

Звідси слідує

$$T_{min} = (Z - 1)U + Z.$$

2 варіант) T_{max} можливо, коли на кожному з U етапів є місце всіх шляхів, а на $U+1$ -му етапі всі шляхи відсічені, тобто

$$m_1 = m_2 = \dots m_U = 0; m_{U+1} = Z^{U+1}.$$

Звідси, $T_{max} = Z^{U+1}$.

Підставляючи ці значення в рівність (3.8), отримаємо межі зміни ефективності рішення

$$1 \leq \Xi(U) \leq \frac{Z(Z^U - 1)}{U(Z - 1)}.$$

Порахуємо далі ефективність рішення при використанні ієрархічної системи рішення. Нехай передостанній рівень ієрархічної системи утворює c підцілей (а, отже c підетапом) об'єднуючих по U' операції останнього рівня.

Тоді

$$U = c U'.$$

Загальне число гілок, ведучих до кожної з підцілей, відповідно до раніше сказаного буде

$$\frac{Z(Z^{U'} - 1)}{Z - 1},$$

а загалі

$$V^{**} = \frac{Z(Z^{U'} - 1)}{Z - 1} c,$$

або

$$V^{**} = \frac{Z(Z^{U'} - 1) U}{Z - 1 U'}.$$

Порівнюючи отриманий вираз з загальною кількістю шляхів до вирішення отримаємо

$$\frac{V^*}{V^{**}} = \frac{Z^U - 1}{Z^{U'} - 1} \frac{T'}{T},$$

або, враховуючи що $Z^U \gg 1$ та $Z^{U'} \gg 1$, отримаємо кінцевий вираз

$$\frac{V^*}{V^{**}} \approx \frac{U'}{U} Z^{U-U'}.$$

Таким чином, надано метод оцінки ефективності моделей автоматизації контролю ТС ЗВТ, який використане на модельному прикладі в п.4.2 дисертації при обґрунтуванні достовірності наукових результатів.

3.3. Метод автоматизації на основі інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів

Однією з проблем автоматизації процесу контролю технічного стану судна є проблема достовірності статистичних даних для формування моделі прогнозу. Слід зазначити, що знижують достовірність ряд факторів, пов'язаних як з неточністю вимірювань, так і з недостатньою кількістю самих вимірювань. Таким чином, актуальна класична задача вирівнювання динамічних рядів [51].

Нагадаємо, що в загальному випадку динамічний ряд – ряд однорідних величин, що характеризують зміни явища у часі [25]. Відомо так само, що динамічні ряди можуть бути представлені тільки однорідними величинами: абсолютними, відносними або середніми величинами. Моментний ряд характеризує зміну значень явища на певний момент, а інтервальний ряд – за певний період (інтервал часу).

Особливу роль для вирішення завдання прогнозу відводять процесам перетворення і вирівнювання ряду. Перетворення застосовується для більшої наочності змін досліджуваних явищ, а вирівнювання – при стрибкоподібних змінах (коливаннях) рівнів ряду. Мета вирівнювання – усунути вплив випадкових факторів і виявити тенденцію змін значень явищ (або ознак), а в подальшому встановити закономірності цих змін.

Звернемо увагу саме на вирівнювання. Як відомо, способами вирівнювання динамічного ряду є: укрупнення періодів, розрахунок груповий середньої, розрахунок ковзної середньої, і метод найменших квадратів.

Укрупнення періодів застосовується, коли явище в інтервальному ряду виражено в абсолютних величинах, рівні яких підсумовуються по більшим періодів. Обчислення груповий середньої застосовується, коли рівні інтервального ряду виражені в абсолютних, середніх або відносних величинах, які підсумовуються, а потім діляться на число доданків. Застосовується при кратному числі періодів.

Розрахунок ковзаючої середньої застосовується, коли рівні явищ будь-якого ряду виражені в абсолютних, середніх або відносних величинах. Даний метод застосовується при наявності не кратними числа тимчасових періодів (7, 11, 13, 17, 19) досить довгого динамічного ряду. Шляхом обчислення групової середньої значень 3 періодів, а в подальшому переходячи на певний рівень і два сусідніх з ним, здійснюється "ковзання" за періодами. Кожен рівень замінюється на середню величину (з даного рівня і двох сусідніх з ним). Даний метод застосовується, коли не потрібно особливої точності, коли є достатньо

довгий ряд і можна знехтувати втратою двох значень ряду; у випадках, коли вивчається розвиток явища під впливом одного або двох факторів.

Метод найменших квадратів застосовується для більш точної кількісної оцінки динаміки досліджуваного явища. Цим способом виходять такі вирівняні значення рівнів ряду, квадрати відхилень яких від справжніх (емпіричних) показників дають найменшу суму. Найбільш простий і часто зустрічається в практиці є лінійна залежність.

Аналіз показав, що використовувати ці методи при вирішенні поставленого наукового завдання важко в силу вище зазначених причин (неточність вимірювань; недостатньою кількістю вимірів). Тому в дисертаційній роботі пропонується новий підхід, а саме, інтелектуальна модель вирівнювання динамічних рядів.

Попередньо нагадаємо, що для поглибленого вивчення процесів в часі розраховують наступні показники динамічного ряду. Для характеристики швидкості зміни процесу застосовуються такі показники, як абсолютний приріст (спад), темп приросту (убутку).

Абсолютний приріст (спад) характеризує швидкість зміни процесу (абсолютну величину приросту (убутку) в одиницю часу). Абсолютний приріст розраховується як різниця між даними рівнем і попереднім; позначається знаком "+", характеризуючи приріст, або знаком "-", характеризуючи спад.

Темп приросту (убутку) характеризує величину приросту (убутку) у відносних показниках в% і визначається як процентне відношення абсолютного приросту (убутку) до попереднього рівня ряду; позначається знаком "+" (приріст) або знаком "-" (спад). Темп зростання (зниження) - для характеристики зміни процесу одного періоду по відношенню до попереднього періоду.

Для узагальненої кількісної оцінки тенденцій динамічного ряду використовується показник, іменованій середнім темпом приросту (зниження), виражений в %. При його розрахунку для більшості рядів використовують формулу

$$T_{np.ch.} = \frac{e \times K}{a} \times 100,$$

де $K = 1$ при непарному числі рівнів ряду; $K = 2$ при парному числі рівнів ряду; a та e – показники лінійної залежності, що використовуються при вирівнюванні ряду методом найменших квадратів.

Задача вирівнювання динамічних рядів та її місце в аналізі різних явищ досить відомі та обґрунтувати доцільність розробки ефективних методів для вирішення навряд чи необхідно. В роботі пропонується інтелектуальний підхід, суть якого в наступному. Звернемо Вашу увагу на дві обставини: 1) процес вирівнювання динамічних рядів є початковим етапом обробки даних, здійснюваних при сприйнятті та 2) результати вирівнюючи в кінцевому рахунку служать вихідною базою для виявлення різних тенденцій та закономірностей зміни технічного стану ЗВТ, дозволяючи перейти до маловивченої процедури переробки інформації привиду або прогнозу.

Нагадаємо, що в досить довгому динамічному ряду простежується деяка група змін, яка існуючи об'єктивно, утворює при сприйнятті деякі типи.

Зазвичай виділяються наступні типи змін [5,25]:

- зміна головної тенденції;
- коливальні зміни протягом тривалого періоду часу, або цикл;
- періодичні коливання протягом коротких відрізків часу, що має більш-менш постійні форми та повторювані через рівні проміжки часу;
- безладні коливання.

Варто підкреслити, що ці типи змін є багато в чому довільними, їх можна розширювати та стискати. Відомо, що класичний чисельно-аналітичний підхід до вирівнювання динамічних рядів полягає: 1) у підборі деякої функції (формули), що наближається найбільш близькою до результатів спостереження, так звана аналітична заміна та 2) вибору деякого критерію, як заходів наближення, згоди функції, що наближається та результатів спостереження.

Зазвичай аналітична заміна здійснюється багаточленами, а у якості міри наближення висувається деяка сукупність вимог, наприклад, функція, що наближається, повинна збігатися з даними значеннями у вузлових точках, або сума квадратів відхилень між вихідними даними та функції, що наближається у вузлових точках повинна бути мінімальною, або щось подібне з того, що відображає минулий досвід дослідника. Важливо відзначити, що, незважаючи на математичну обґрунтованість цих положень, вони багато в чому суб'єктивні та призводять до результатів, відмінних від результатів, отриманих інтуїтивно практиками-експертами. У той же час, якщо такий групі експертів запропонувати вирівняти деякий динамічний ряд, то отримані результати будуть близькі між собою [5].

Отже, сформулюємо завдання. Нехай є деякий динамічний ряд, що відображає результати спостережень (вимірювань) за параметрами функціонування системи судна, заданий через рівні інтервали часу точками на площині $Z_1, Z_2, \dots, Z_t, \dots, Z_T$. Тоді завданням вирівнювання динамічного ряду з'явиться знаходження відображення μ , утвореного при сприйнятті та представленого при реалізації точками на тій же площині $x_1, x_2, \dots, x_t, \dots, x_T$, або іншими словами побудови структури $\mu(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)$. Де $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ – деякі особливості зорового сприйняття, про який піде далі мова, використовувані для знаходження $x_1, x_2, \dots, x_t, \dots, x_T$.

Аналіз виявив ряд проблем, пов'язаних з вирішенням завдання вирівнювання динамічних рядів. Вони зводяться до виявлення загальних принципів, керуючих заснуванням які сприймаються у психологічному полі, до появи зв'язків цих принципів з основною гіпотезою теорії евристичних рішень, що визначає гіпотетичні механізми переробки інформації при сприйнятті мислення та поведінку [5].

Скористаємося моделлю німецького вченого Макса Вертгеймера (фундатора відомої гештальттеорії). Їм встановлені такі закономірності, якими здебільшого несвідомо користується людина, при утворенні єдності зі

скупчення точок, що здобувають у слідстві цього важливого значення. А саме, 1) відповідність наявної установці (в моделі це μ_1); 2) минулий досвід (в моделі це μ_2); 3) близькості у полі зору (в моделі це μ_3); 4) добра безперервність (в моделі – μ_4) – які спільно з іншими об'єднуються у **один раціональний закон**. Цей закон є основою запропонованої в дисертації математичної моделі, яка в свою чергу визначає науковий результат – метод автоматизації визначення технічного стану ЗВТ.

Розглянемо більш докладно ці закономірності. Перша – відповідність особистої установці – направляє спостерігача на зближення $\langle \mu_1^t \rangle$ подумки утворених точок $x_1, x_2, \dots, x_t, \dots, x_T$ з відповідними точками на площині $Z_1, Z_2, \dots, Z_t, \dots, Z_T$, тобто

$$\mu_1^t(Z_t, x_t)_{df} < \mu_1^t > Z_t, x_t \quad (t=1, 2, \dots, t, \dots, T).$$

Другий фактор – минулий досвід – спрямовує спостерігача на будь-який відомий йому з минулого спосіб групування точок та, зокрема, орієнтує його на зближення $\langle \mu_2^t \rangle$ подумки утворених точок $x_1, x_2, \dots, x_t, \dots, x_T$, яке спостерігалось в минулому $h_1, h_2 \dots h_t, h_1$, тобто

$$\mu_2^t(h_t, x_t)_{df} < \mu_2^t > h_t, x_t \quad (t=1, 2, \dots, t, \dots, T).$$

Третій фактор близькість у полі зору – об'єднує відносно близькі один одному точки у групи. У задачі вирівнювання динамічних рядів цей фактор стимулює для кожної пари своє зближення $\langle \mu_3^t \rangle$ точок x_t та x_{t+1} .

$$\mu_3^t(x_{t+1}, x_t)_{df} < \mu_3^t > x_{t+1}, \quad (t=1, 2, \dots, t, \dots, T-1).$$

Четвертий фактор – гарна безперервність – звертає увагу спостерігача на об'єднання точок по загальним для них напрямками, наприклад уздовж певних

ліній та наприклад, цей фактор орієнтує на зближення μ_4^t трійок точок x_{t+2} , x_{t+1} , x_t , тобто

$$\mu_4^t(x_{t+2}, x_{t+1}, x_t)_{df} < \mu_4^t > x_{t+2}, x_{t+1}, x_t \quad (t=1, 2, \dots, t, \dots, T-2),$$

причому характер цього зближення $< \mu_4^t >$ для кожної трійки точок у найзагальнішому вигляді носить індивідуальний характер.

Вводимо системоутворюючий оператори μ_1, μ_2, μ_3 та μ_4 , що зв'язують індивідуальні особливості реалізації розглянутих факторів

$$\begin{aligned} \mu_1(Z_t, x_t)_{df} < \mu_1 > \mu_1(Z_1, x_1), \dots, \mu_1^T(Z_T, x_T), \\ \mu_2(h_t, x_t)_{df} < \mu_2 > \mu_2(h_1, x_1), \dots, \mu_2^T(h_T, x_T), \\ \mu_3(x_{t+1}, x_t)_{df} < \mu_3 > \mu_3(x_2, x_1), \dots, \mu_3^{T-1}(x_T, x_{T-1}), \\ \mu_3(x_{t+2}, x_{t+1}, x_t)_{df}, \\ {}_{df} < \mu_4 > \mu_4(x_4, x_2, x_1), \dots, \mu_4^{T-2}(x_T, x_{T-1}, x_{T-2}), \end{aligned}$$

а потім системоутворюючий оператор μ що зв'язує ці чинники у єдине ціле.

Тоді отримаємо ієрархічну структуру, яка зв'язує вихідні дані Z_t, h_t та психологічні особливості сприйняття μ_1, μ_2, μ_3 , та μ_4 :

$$\begin{aligned} \mu(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)_{df} \\ {}_{df} < \mu > \mu_1(Z_t, x_t), \mu_2(h_t, x_t), \mu_3(x_{t+1}, x_t), \mu_4(x_{t+2}, x_{t+1}, x_t), \end{aligned}$$

а моделювання зорового сприйняття зведеться до появи властивостей цієї структури, тобто знаходження подумки утворених точок x_t ($t=1, 2, \dots, T$).

У наведеній ієрархічній структурі всі її елементи задані не рівнозначно: якщо вихідні дані представлені досить конкретними величинами Z_t та h_t , то чинники М. Вертгеймера μ_1, μ_2, μ_3 та μ_4 передають досить загальні міркування

про характер зорового сприйняття μ , тенденцію результатів діяльності зорової системи так далі. Для виходу з положення, що створилось слід зробити деякі додаткові пропозиції припущення про результати перебігу зорового сприйняття при реалізації згаданих чинників при вирішенні даної задачі. Це можна зробити, якщо припустити, що μ_1 та μ_2 стимулюють мінімізацію суми квадратів різниць заданої Z_t та h_t , та подумки утворених x_t точок

$$\mu_1 \approx \sum_{t=1}^T (Z_t - x_t)^2 \rightarrow \min ,$$

$$\mu_2 \approx \sum_{t=1}^T (h_t - x_t)^2 \rightarrow \min ,$$

μ_3 та μ_4 – мінімізація суми квадратів відхилень подумки утворених точок першого та другого порядку

$$\mu_3 = \sum_{t=1}^{T-1} (x_{t+1} - x_t)^2 \rightarrow \min ,$$

$$\mu_4 = \sum_{t=1}^{T-2} (x_{t+2} - 2x_{t+1} + x_t)^2 \rightarrow \min ,$$

а μ – мінімізацію їх лінійної залежності

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 \rightarrow \min ,$$

для знаходження подумки утворених точок x_t ($t=1, 2, \dots, T$) зробимо мінімізацію μ , заради чого продифференціюємо μ по x_t та прирівняємо похідні нулю. Тоді ми прийдемо до системи лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} 3x_1 - 3x_2 + x_3 = Z_1 + h_1 \\ -3x_1 + 8x_2 - 5x_3 + x_4 = Z_2 + h_2 \\ \dots \\ x_{t-2} - 5x_{t-1} + 9x_t - 5x_{t+1} + x_{t+2} = Z_t + h_t \quad (\text{при } 3 \leq t \leq T-2) \\ \dots \\ x_{T-3} - 5x_{T-2} + 8x_{T-1} - 3x_T = Z_{T-1} + h_{T-1} \\ x_{T-2} - 3x_{T-1} + 3x_T = Z_T + h_T, \end{array} \right. \quad (3.9)$$

вирішення яких відносно x_t , щодо дає подумки утворені точки $x_1, x_2, \dots, x_t, \dots, x_T$.

На рис.3.2 та в таблиці 3.1 дані результати вирівнювання динамічних рядів обороту двигуна ЗВТ за нормованою шкалою для наочності. Тут лініями «1 ряду» з'єднані вузлові точки вихідного динамічного ряду (результати спостереження), лініями «2 ряду» – результати вирівнювання цього ряду способом найменших квадратів та лініями «3 ряду» – результати вирівнювання того ж ряду щойно розглянутими методами. Назвемо його μ – методом.

Таблиця 3.1

Результати спостереження та розрахунку

Спостереження параметру (1 ряд)	Метод найменшого квадрату (2 ряд)	μ -метод (3 ряд)
4,0	4,2	4,1
4,9	4,7	4,8
4,5	4,3	4,4
4,0	4,0	4,0
3,5	3,7	3,6
3,6	3,7	3,5
3,2	3,4	3,3
3,5	3,7	3,6
4,2	4,4	4,3
5,4	5,0	5,2
4,9	4,7	4,8
4,8	5,0	4,9
4,7	4,5	4,6

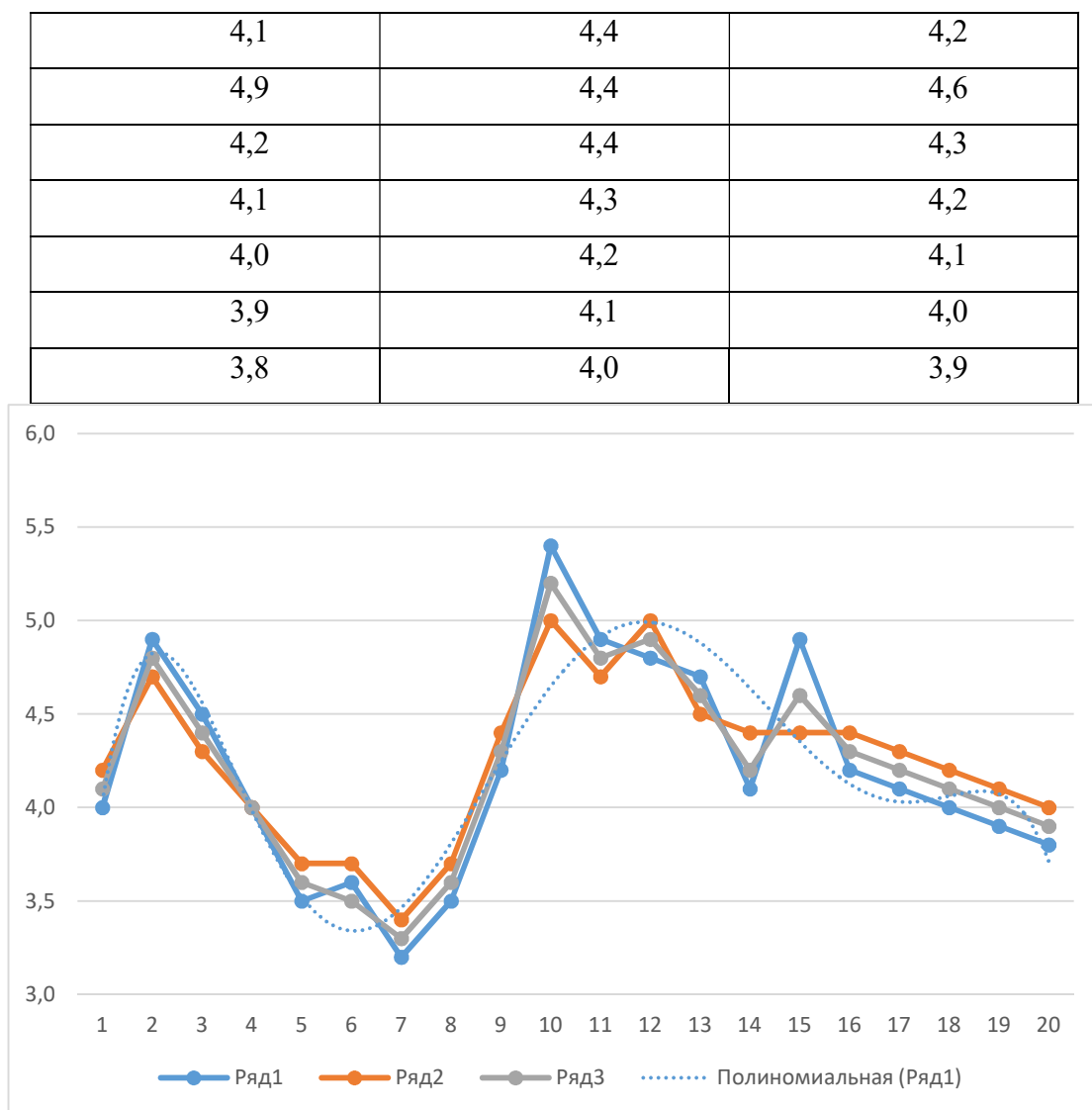


Рис. 3.2. Результати спостереження та розрахунку за μ -методом

Аналіз результатів показує, що:

1. Співвідношення між $\mu_1 : \mu_2 : \mu_3 : \mu = 0,11 : 0,73 : 0,16 : 1,00$, ближче при використанні μ – методу ($0,18 : 0,73 : 0,09 : 1,00$), ніж при використанні методу найменших квадратів ($0,23 : 0,71 : 0,06 : 1,00$). Це пояснюється тим, що μ – метод ефективно відображає форму розташування точок: підйому, спаду безперервність кривої та інше).

2. Особливість запропонованого μ – методу дозволяє поліпшити результати при мінімізації відхилення вирівняних точок щодо результатів спостереження в порівнянні з методом найменших квадратів по параболі

другого порядку ($\mu_1 = 0,0121$ для μ – методу та $\mu_1 = 0,0190$ – для методу найменших квадратів), а також при мінімізації відстані між сусідніми точками що вирівнюються ($\mu_2 = 0,0504$ та $\mu_2 = 0,0584$). Це дозволяє стверджувати про близькість результатів вирівнювання, отриманих за допомогою μ – методу, до результатів отриманих інтелектуально оператором на ЗВТ.

3. За результатами аналізу графіків, базуючись на здоровому глузді та ідеї «вирівнювання» перевагу надаємо μ – методу.

Таким чином, як кількісний, так і якісний способи оцінки результатів вирівнювання з більшою ймовірністю вказують на певну близькість μ – методу до рішень, одержуваних людиною в своїй діяльності.

Варто підкреслити, що в системі рівнянь (3.9) T на $T+m$, можна здійснити екстраполяцію динамічного ряду [25]. Дійсно, якщо з моменту $T+1$ і до $T+m$ μ_1 та μ_2 у розгляді не беруть участь, то знайдений з урахуванням цього обмеження динамічний ряд є результатом вирівнювання в інтервалі $1 \leq t \leq T$ та є результатом екстраполяції вирівняного ряду в інтервалі $T+1 \leq t \leq T+m$. Для оцінки якості екстраполяції введемо індекс розбіжності

$$\delta = \left| \frac{Z_t - x_t}{x_t} \right| 100\%, \quad (T+1 \leq t \leq T+m).$$

За результатами моделювання при варіації m від 1 до 5 індекс розбіжності $\delta = 0,9 \div 5\%$, що підтверджує достовірність наукового результату.

Висновки до розділу 3

1. Евристична модель оперативного визначення технічного стану засобів водного транспорту в умовах відсутності достовірної статистичної інформації, яка вперше розроблена, має відмінну особливість, суть якої у використанні при опису процесу зміни стану ланцюжків причино-наслідкових зв'язків та продукційної моделі оператору переходу; це дозволяє значно скоротити обчислювальні витрати та час на визначення стану.

2. Однією з проблем автоматизації процесу контролю технічного стану судна є проблема достовірності статистичних даних для формування моделі прогнозу. Доведено, що знижують достовірність ряд факторів, пов'язаних як з неточністю вимірювань, так і з недостатньою кількістю самих вимірювань. Тому класична задача вирівнювання динамічних рядів є актуальною. Аналіз показав, що в умовах неточності вимірювань та недостатньою кількістю вимірів використовувати традиційні методи при вирішенні поставленого завдання не достатньо ефективно. Тому в дисертаційній роботі пропонується новий підхід, а саме, інтелектуальна модель вирівнювання динамічних рядів.

3. Актуальним є завдання розробки методу автоматизації на основі інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів. З метою інтелектуалізації процедури доведена ефективність моделі гештальттеорії Макса Вертгеймера та необхідність математичної формалізації її в один раціональний закон. Цей закон є основою запропонованої в дисертації математичної моделі, яка в свою чергу визначає науковий результат – метод автоматизації визначення технічного стану ЗВТ.

4. В інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів введені оператори μ_1, μ_2, μ_3 та μ_4 , що зв'язують індивідуальні особливості реалізації розглянутих факторів, а потім системоутворюючий оператор μ що зв'язує ці чинники у єдине ціле.

5. У наведеній ієрархічній структурі всі її елементи задані не рівнозначно тому в моделі зроблено припущення про те, що чинники стимулюють мінімізацію суми квадратів різниць відповідних точок та реалізоване перехід до системи лінійних алгебраїчних рівнянь, вирішення яких розв'язує задачу в цілому.

6. За результатами моделювання підтверджена достовірність наукових результатів.

РОЗДІЛ 4

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1. Рекомендації щодо впровадження моделей та методів автоматизації в технології Integrated Bridge System

В сучасних умовах активного впровадження інформаційних технологій, у тому числі розвитку технології Integrated Bridge System запропоновані в дисертації моделі та методи автоматизації контролю ТС ЗВТ програмне доцільно реалізувати наступним чином.

Програмне та апаратне забезпечення

Основою бажано використати ASP.NET MVC Framework – фреймворк для створення веб-додатків, який реалізує шаблон Model-View-Controller (модель – представлення - контролер). Це обґрунтовано тим, що, по-перше, оператору зручніше користуватися будь-якою інформацією за допомогою веб-технологій, де в нього є досвід. По-друге, звертаємо увагу на те, що архітектурний патерн Model-View-Controller (MVC) розділяє додаток на три основних компоненти: модель, уявлення і контролер. Платформа ASP.NET MVC являє собою альтернативу схем і веб-форм ASP.NET при створенні веб-додатків. По-третє, ASP.NET MVC є легковаговою платформою відображення з широкими можливостями тестування.

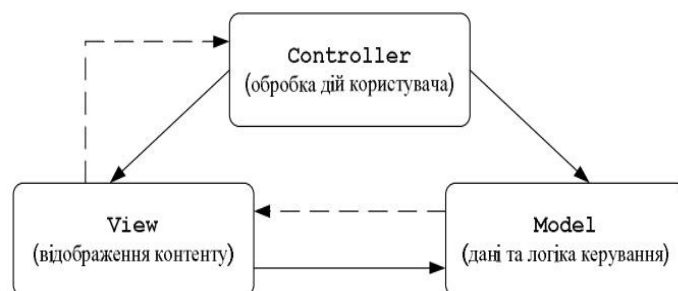


Рис. 4.1. Схема патерну MVC

Для кращого представлення рекомендацій нагадаємо, що до складу платформи MVC входять наступні компоненти:

моделі (model) – зберігає дані та оновлює View. Об'єкти моделей часто отримують і зберігають стан моделі в базі даних;

відображення (view) – служить для відображення інтерфейсу додатку. Інтерфейс користувача зазвичай створюється на основі даних моделі;

контролери (controller) – здійснює взаємодію з користувачем, роботу з моделлю, а також обробляє дані, що вводяться, і відповідає на дії користувача.

Шаблон MVC дозволяє створювати додатки, різні аспекти яких (логіка введення, бізнес-логіка і логіка інтерфейсу) розділені, але досить тісно взаємодіють один з одним. Ця схема вказує на розташування кожного виду логіки у додатку. Інтерфейс користувача розташовується в View. Логіка введення розташовується в контролері. Бізнес-логіка знаходиться в моделі. Це розділення дозволяє працювати зі складними структурами при створенні програми, так як забезпечує одночасну реалізацію тільки одного аспекту. Наприклад, розробник може сконцентруватися на створенні подання окремо від бізнес-логіки.

Зв'язок між основними компонентами додатку MVC також полегшує паралельну розробку. Наприклад, один розробник може створювати уявлення, інший - логіку контролера, а третій - бізнес-логіку моделі.

jQuery є найпопулярнішою бібліотекою JavaScript. Синтаксис jQuery розроблений, щоб полегшити орієнтування у мовних конструкціях завдяки вибору елементів DOM. Створення анімації, розробка плагінів, обробка подій, і розробка AJAX також можлива з jQuery. Використовуючи ці об'єкти, розробники можуть створювати абстракції для низькорівневої взаємодії та створювати анімацію для ефектів високого рівня. Це сприяє створенню потужних і динамічних веб-сторінок.

Twitter Bootstrap – це набір інструментів від Twitter (відноситься до класу інструментів CSS-фреймворк), створений для полегшення розробки web-сайтів.

Він включає CSS та HTML для типографії, форм, кнопок, таблиць, сіток, навігації тощо, а також додаткові розширення JavaScript.

Нагадаємо основні інструменти Bootstrap.

Сітки – наперед задані розміри колонок, які можна відразу ж використовувати.

Шаблони – фіксований або гумовий шаблон документа.

Типографіка – опис шрифтів, визначення деяких класів для шрифтів таких як код, цитати тощо.

Медіа – представляє певне управління зображеннями та відео.

Таблиці – засоби оформлення таблиць, дозволяє додавати функціональність сортування.

Форми – класи для оформлення деяких подій.

Навігація – класи оформлення для табів, вкладок, сторінок, меню і тулбара.

JSON (англ. JavaScript Object Notation, укр. об'єктний запис JavaScript) – це легкий формат обміну даними між комп'ютерами. JSON базується на тексті, і може бути з легкістю прочитаним людиною. Формат дозволяє описувати об'єкти та інші структури даних. Цей формат головним чином використовується для передачі структурованої інформації через мережу. JSON знайшов своє головне призначення у написанні веб-програм, а саме при використанні технології AJAX.

Інверсія управління (англ. Inversion of Control, IoC) – важливий принцип об'єктно-орієнтованого програмування, який використовують для зменшення зв'язності в комп'ютерних програмах. Найпопулярнішою реалізацією IoC є Dependency Injection Principle (принцип впровадження залежностей). Dependency Injection використовується в багатьох фреймворках, вони називаються IoC контейнери. Він застосовується програмістами, які використовують такі об'єктно-орієнтовані мови програмування, як Smalltalk, C++, Java, PHP або мови платформи .NET. На рис 4.2 зображена взаємодія класів Dependency Injection

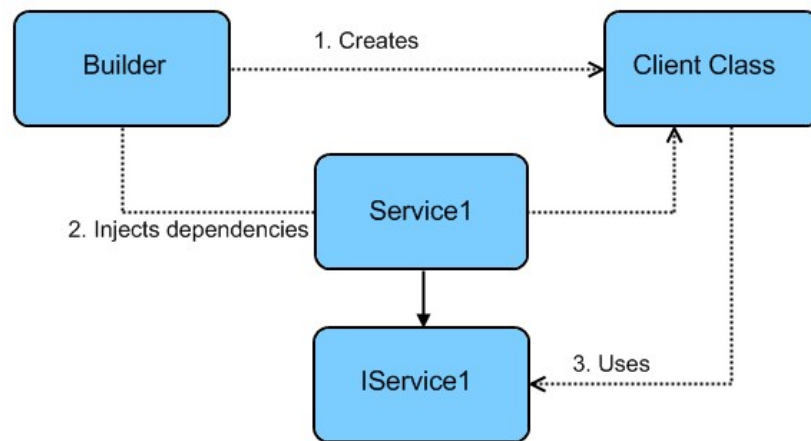


Рис. 4.2. Схема опису dependency injection

ReSharper. Додаток (плагін) для Microsoft Visual Studio, розроблений компанією JetBrains для підвищення продуктивності роботи, що дозволяє значно збільшити функціональність Microsoft Visual Studio. Доцільне при програмній реалізації моделей та методів автоматизації контролю ТС ЗВТ використовувати ReSharper для перевірки коду, здійснення автоматичного рефакторингу та одержання допомоги в написанні якісного програмного коду. Технологія здійснює миттєвий без потреби компіляції статичний аналіз коду, передбачує додаткові засоби авто заповнення, навігації, пошуку, виділення синтаксису, форматування, оптимізації та генерації коду, надає близько 40 автоматизованих рефакторингів, спрощує модульне тестування в середовищах MSTest та NUnit.

Наступна рекомендація стосується використання SQL (Server Management Studio). Це інтегрована середа для доступу, налаштування, управління, адміністрування і розробки всіх компонентів SQL. Середа Server Management Studio об'єднує велику кількість графічних засобів з набором повнофункціональних редакторів сценаріїв для доступу до SQL розробників та адміністраторів з будь-яким досвідом роботи.

Звертаємо увагу на те, що Server Management Studio об'єднує в єдиному інтерфейсі можливості програм Enterprise Manager, Query Analyzer і Analysis Manager, що входили до складу більш ранніх випусків SQL Server. Крім того, Server Management Studio працює з усіма компонентами SQL Server, наприклад

зі службами Reporting Services, Integration Services, а також з SQL Server Compact 3.5 з пакетом оновлень 2. Розробники отримують знайому середу, а адміністратори баз даних - єдину повнофункціональну програму, що об'єднує прості у використанні графічні засоби і багаті можливості для створення сценаріїв.

Дослідження досвіту створення АРМ в різних галузях діяльності дозволяють рекомендувати технологію Google Developer Tool – інструмент, який входить до складу браузеру Google Chrome. Основними можливостями якого є перегляд вихідного коду web-сторінок, css, перегляд, редагування та відладка коду JavaScript, перегляд cookies, запитів, та ін.

Вимоги до апаратного забезпечення: одна чи більше ліній ADSL; порт для резервування; комутатор 4 або більше портів 10/100 Мбіт/с Ethernet (RJ-45); процесор 1 ГГц; ОЗУ 512 МБ; мінімальне місця на диску 850 МБ; операційна система Windows.

Архітектура програмного забезпечення

Структура програмного продукту. Структура програмного продукту складається з чотирьох компонентів: web, core, data та API. В компоненті core реалізовані основні функції та зв'язки які не відносяться безпосередньо до бізнес логіки, та взаємодії з базою даних. В компоненті data реалізується створення та доступ до бази даних. В компоненті web безпосередньо реалізована бізнес логіка та відклики на дії користувачів. В компоненті «API» реалізовані API функції для доступу сторонніх ресурсів до функцій порталу, наприклад для датчиків екологічної ситуації.

Структура бази даних. В якості бази даних в доцільне використовувати MS SQL Server.

У таблицях 4.1 – 4.6 наведена структура таблиць бази даних, яка схематично зображена на рисунку 4.3.

Таблиця 4.1

Перелік полів таблиці KnowledgeBaseSolutions

Назва	Тип даних	Опис
Id	uniqueidentifier	Ідентифікатор
Name	nvarchar(MAX)	Назва
Description	nvarchar(MAX)	Опис
AddedDate	datetime	Дата створення

Таблиця 4.2

Перелік полів EcologicalProblemTypes

Назва	Тип даних	Опис
Id	uniqueidentifier	Ідентифікатор
Name	nvarchar(MAX)	Назва
TypeString	nvarchar(MAX)	Опис типу
ImageSrc	nvarchar(MAX)	Посилання на зображення
Color	nvarchar(MAX)	Колір
Highlight	nvarchar(MAX)	Підсвічування

Таблиця 4.3

Перелік полів таблиці EcologicalProblems

Назва	Тип даних	Опис
Id	uniqueidentifier	Ідентифікатор
Title	nvarchar(MAX)	Заголовок
Description	nvarchar(MAX)	Опис
IsCompleted	bit	Визначає, виправлена проблема чи ні
DeadlineDate	datetime	Дата до якої проблема має бути вирішена
EcologicalProblemTypeId	uniqueidentifier	Ідентифікатор типу проблеми

AddedDate	datetime	Дата створення
FixedDate	datetime	Дата коли проблема була вирішена
Position_Latitude	nvarchar(MAX)	Координати проблеми Latitude
Position_Longitude	nvarchar(MAX)	Координати проблеми Longitude

Таблиця 4.4

Перелік полів таблиці AspNetRoles

Назва	Тип даних	Опис
Id	uniqueidentifier	Ідентифікатор
Name	nvarchar(MAX)	Назва ролі

Таблиця 4.5

Перелік полів таблиці AspNetUserRoles

Назва	Тип даних	Опис
RoleId	Uniqueidentifier	Ідентифікатор таблиці AspNetRoles
UserId	Uniqueidentifier	Ідентифікатор таблиці AspNetUsers

Таблиця 4.5

Перелік полів таблиці AspNetUsers

Назва	Тип даних	Опис
Id	uniqueidentifier	Ідентифікатор
FirstName	nvarchar(MAX)	Ім'я
LastName	nvarchar(MAX)	Прізвище
AvatarId	nvarchar(MAX)	Посилання на зображення аватару
Email	nvarchar(MAX)	Електронна пошта
UserName	nvarchar(MAX)	Ім'я користувача

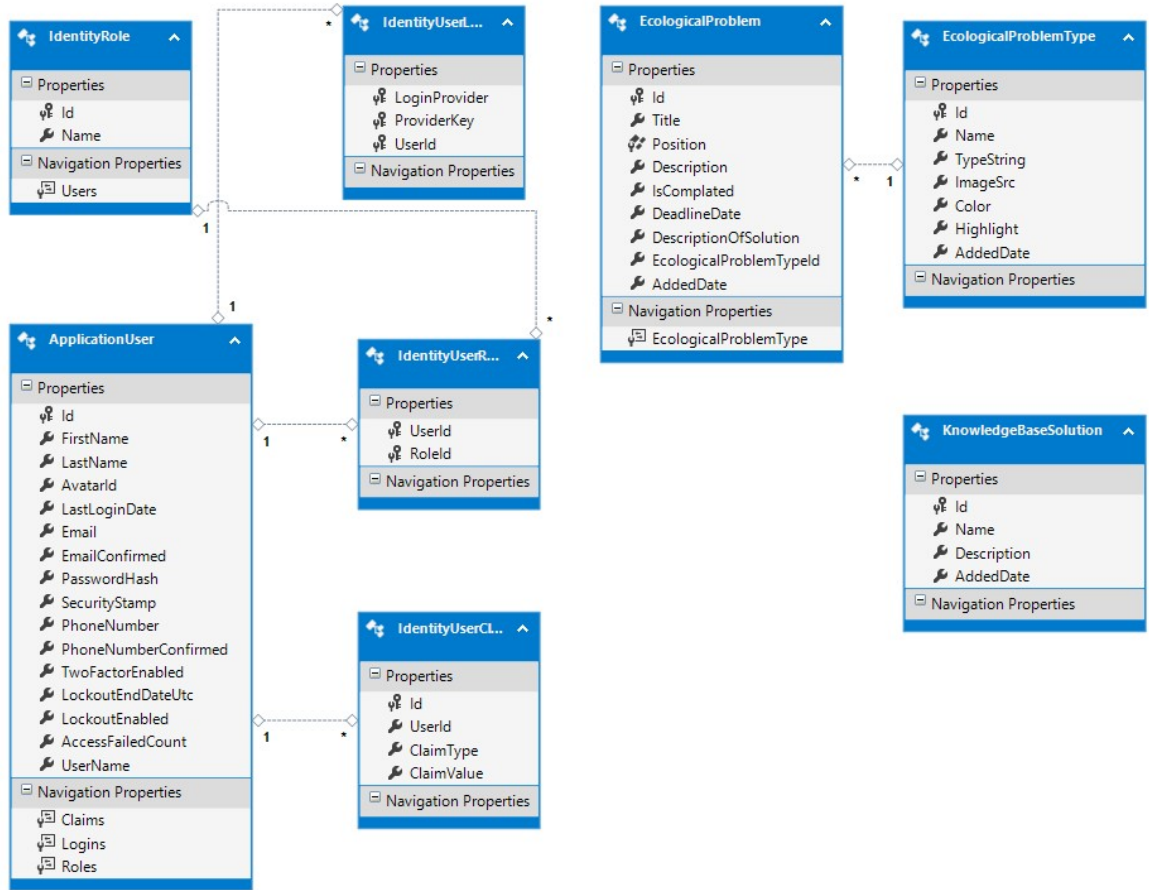


Рис.4.3.ERD діаграма бази даних

Діаграма класів. Рисунки 4.4 – 4.6 відображають статичні (декларативні) елементи, такі як: класи, типи даних, їх зміст та відношення які існують в системі.

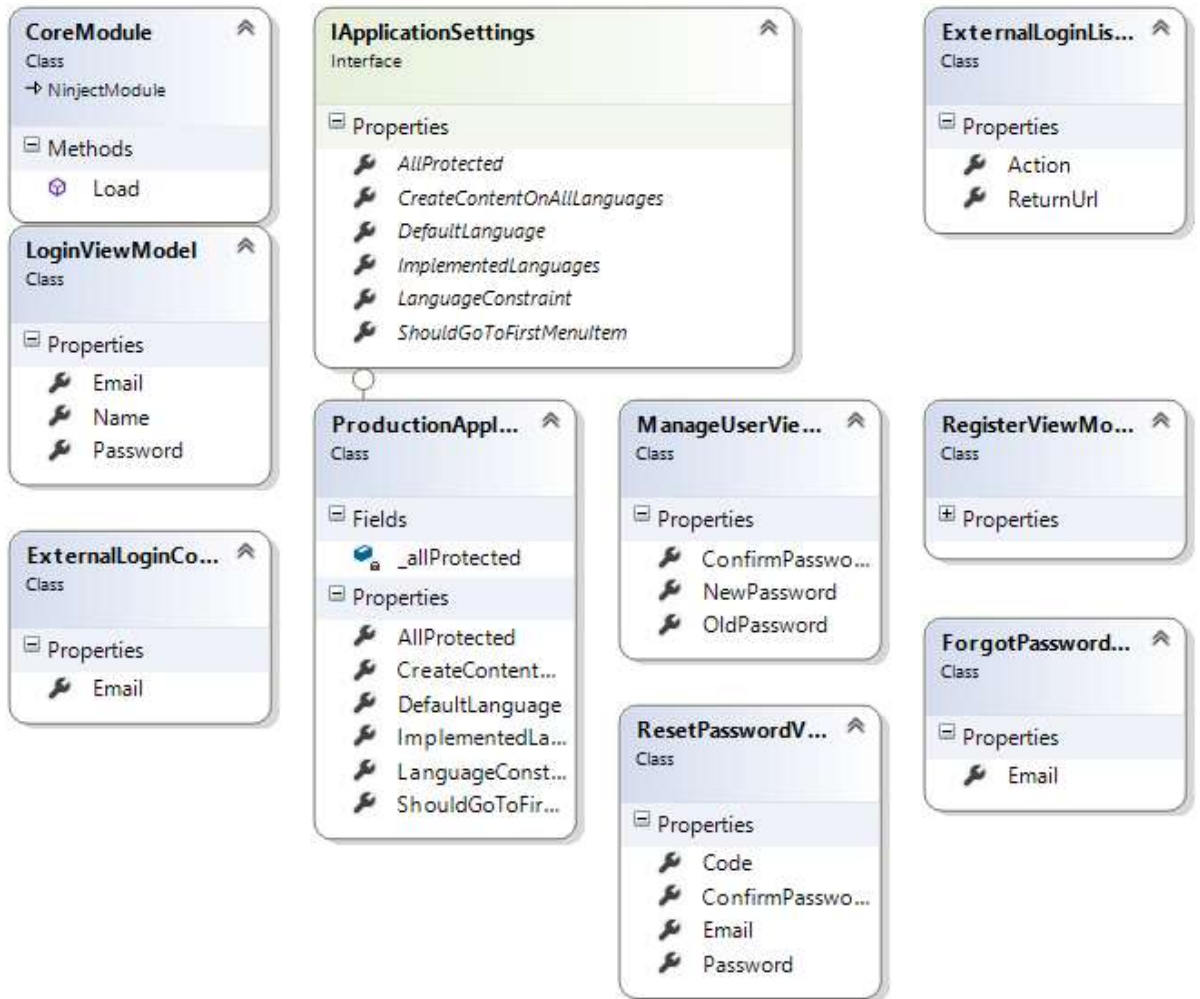


Рис. 4.4. Діаграма класів проекту core

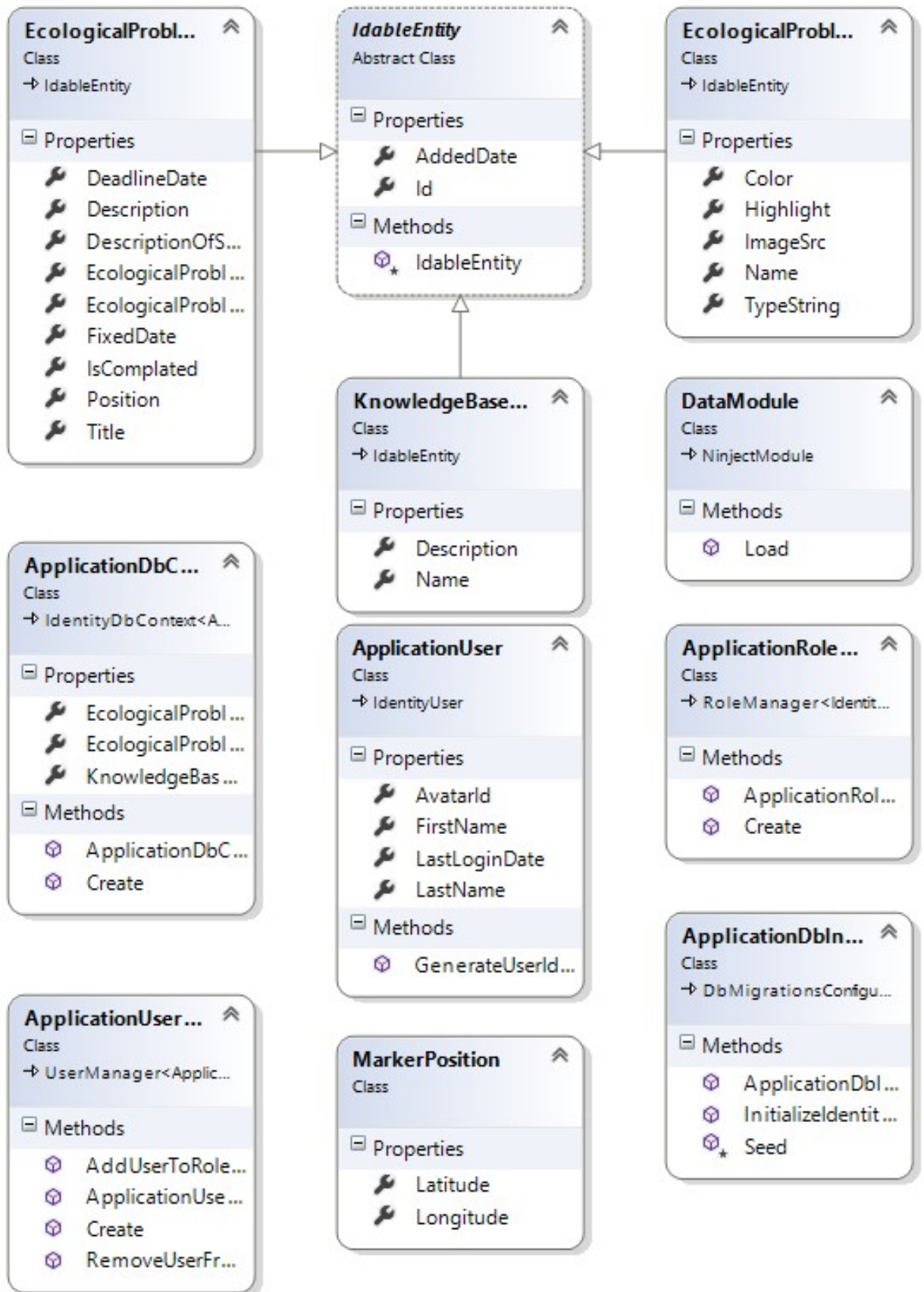


Рис. 4.5. Діаграма класів проекту бази даних

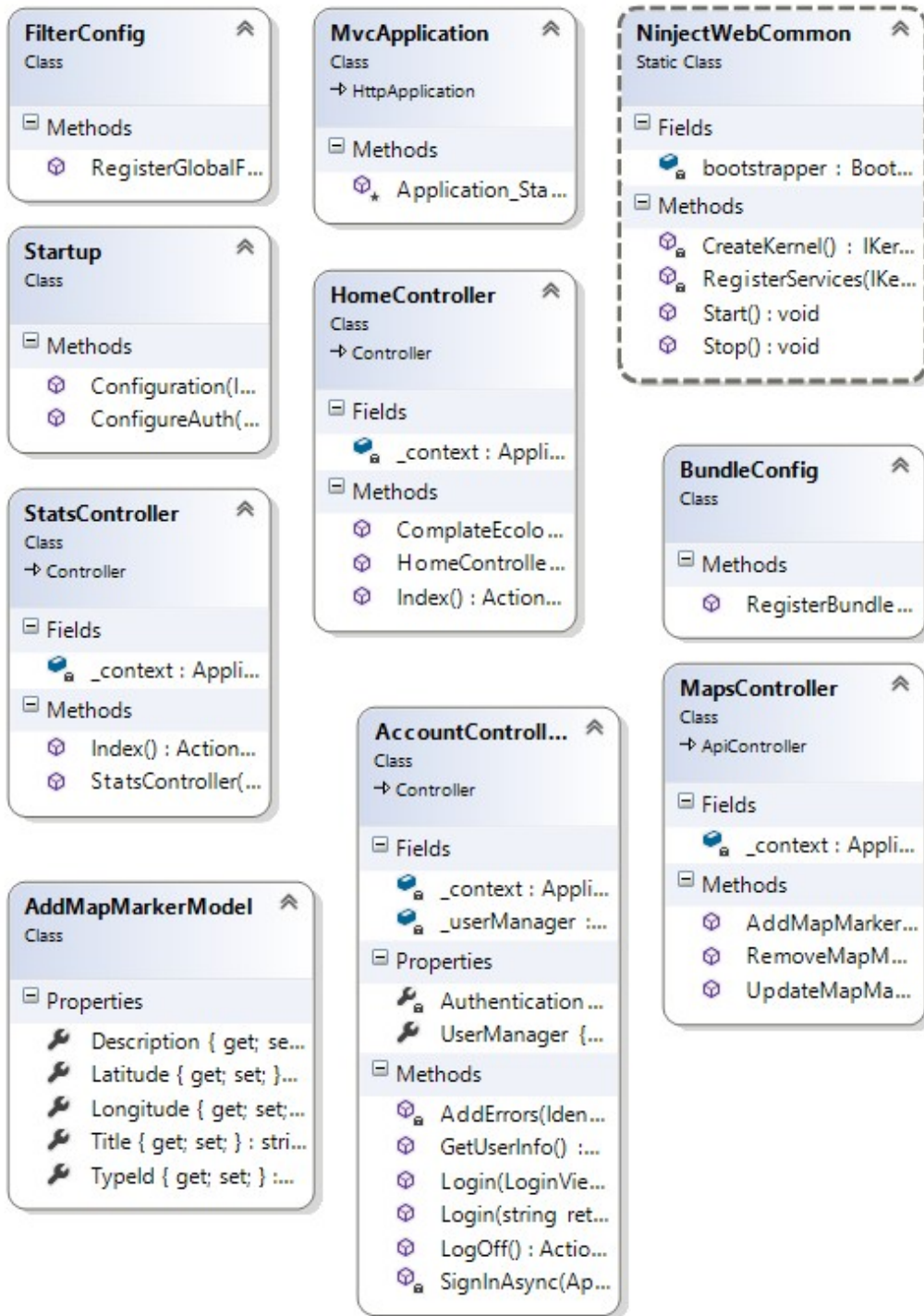


Рис. 4.6. Діаграма класів проекту web та API

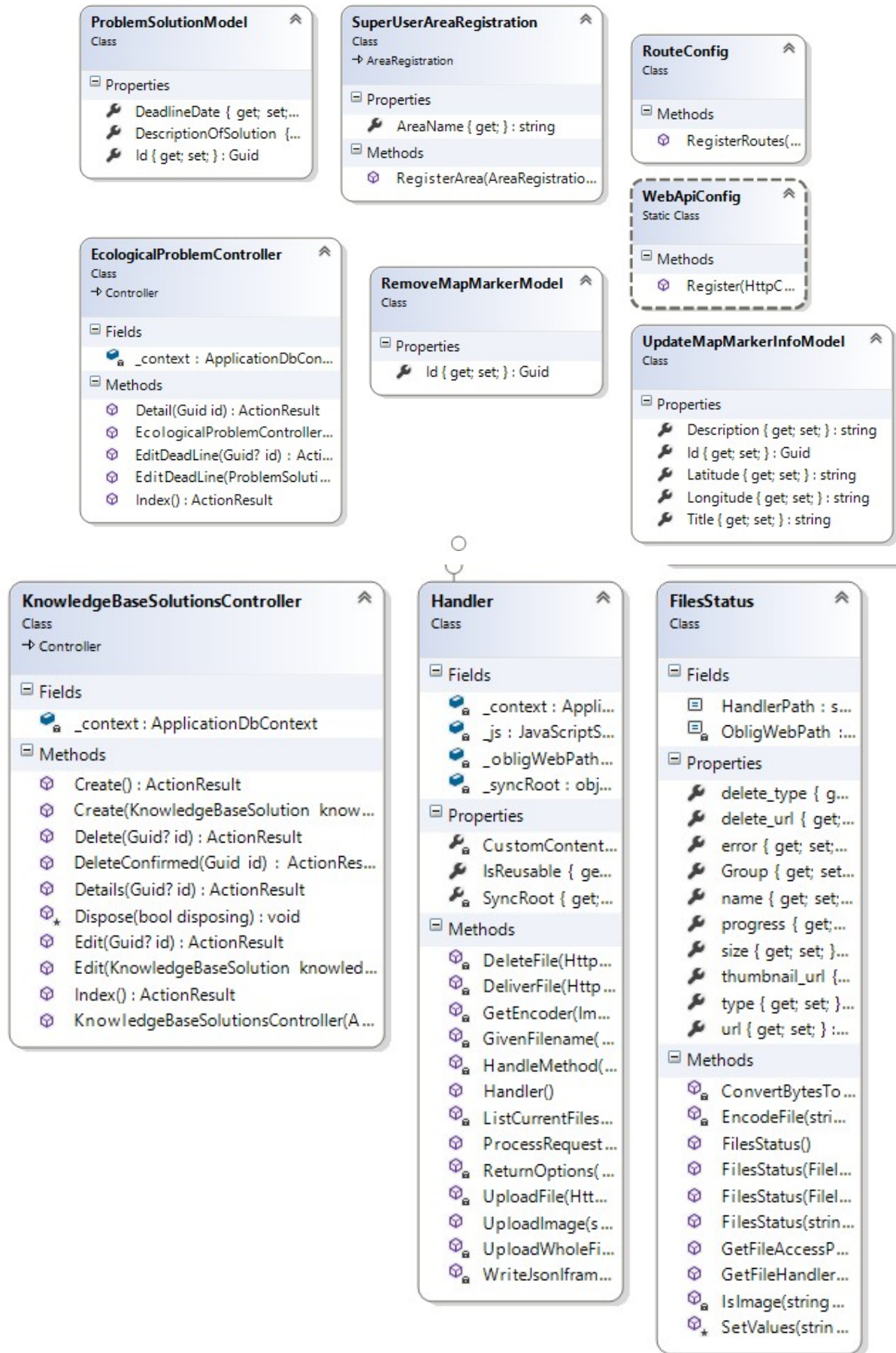


Рис. 4.6. Діаграма класів проекту web та API(продовження)

Діаграма послідовності

На діаграмі послідовності яка ілюстрована на рисунку 4.7, зображуються виключно ті об'єкти, які безпосередньо беруть участь у взаємодії і не показуються можливі статичні асоціації з іншими об'єктами.

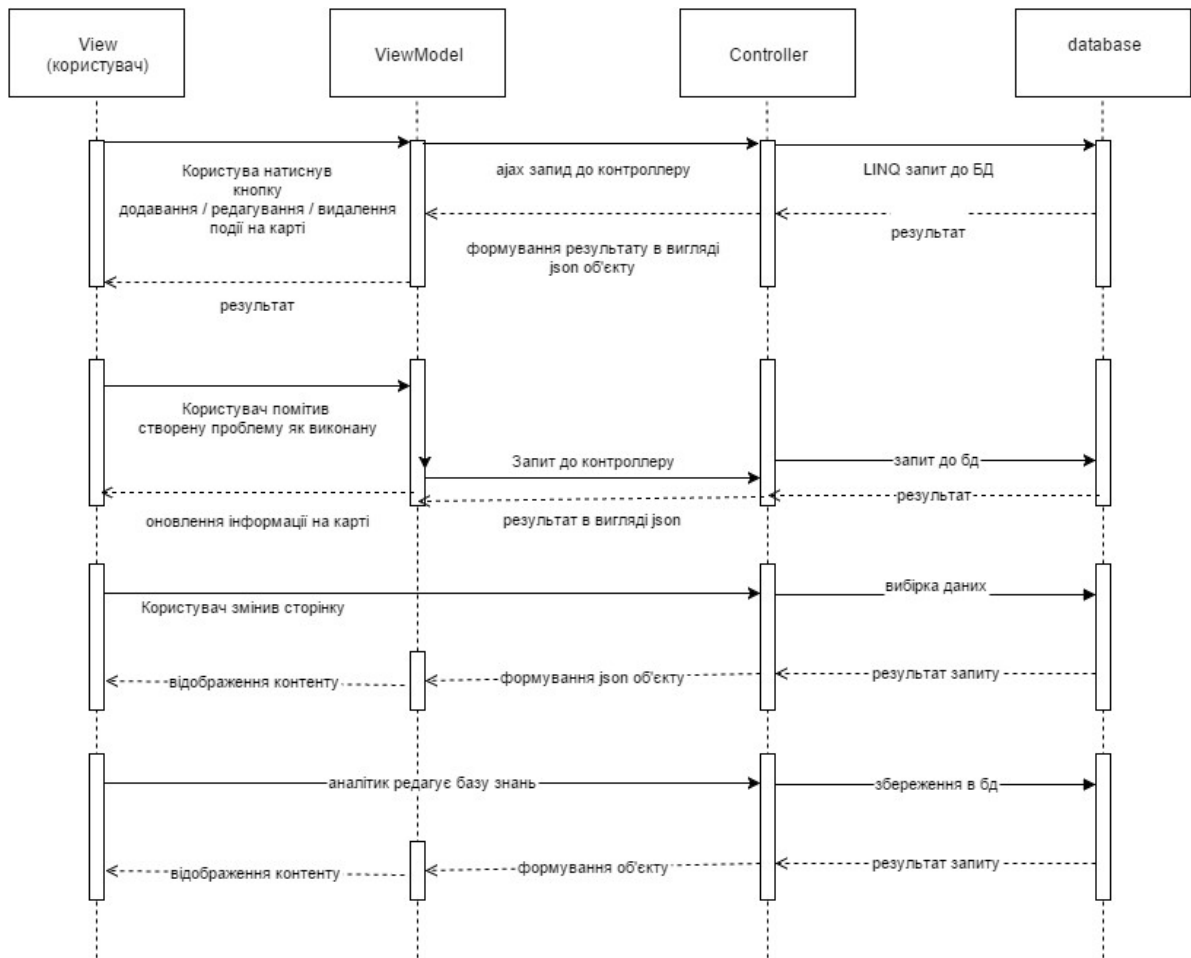


Рис. 4.7. Діаграма послідовності

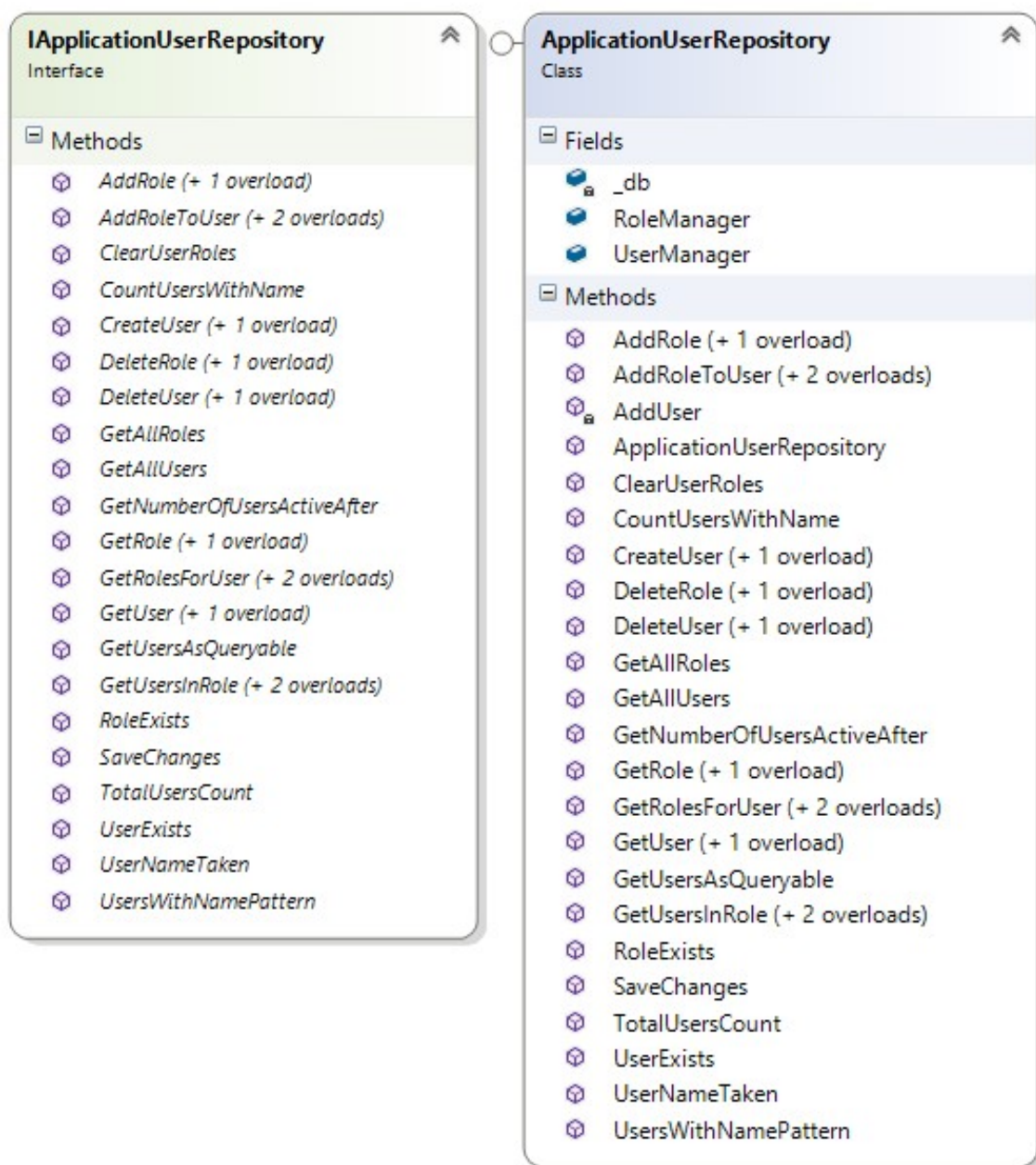


Рис. 4.7. Діаграма класів проекту бази даних (продовження)

Діаграма розгортання. Діаграма розгортання на рисунку 4.8 містить графічні зображення процесорів, пристроїв, процесів і зв'язків між ними. На відміну від діаграм логічного представлення, діаграма розгортання є єдиною для системи в цілому, оскільки повинна цілком відбивати особливості її реалізації.

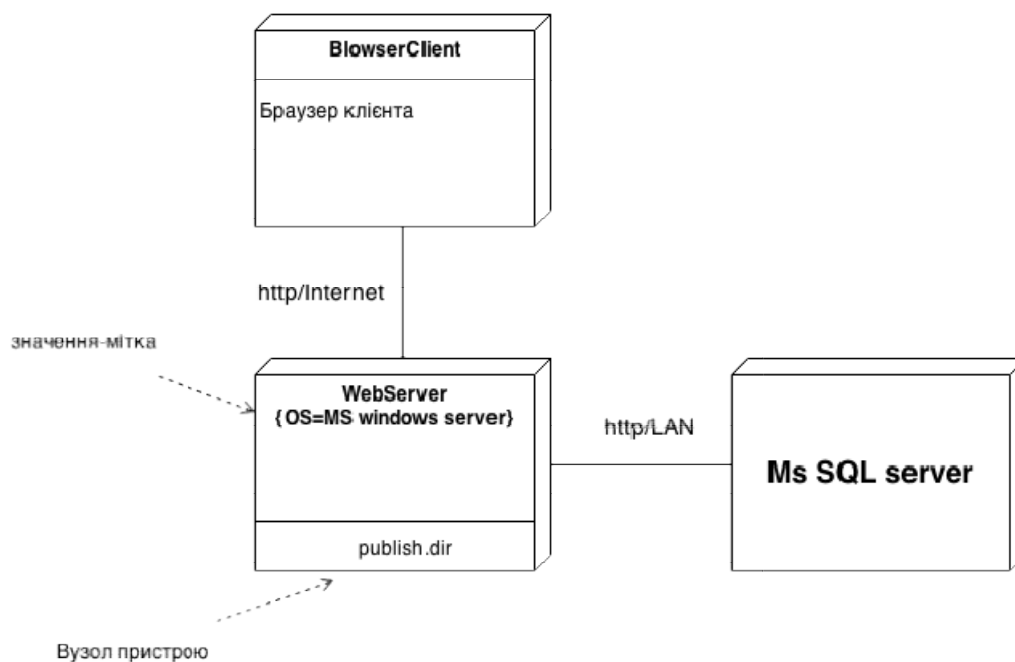


Рис. 4.8. Діаграма розгортання

Керівництво користувача

Призначення та загальний огляд

Програмна реалізація являє собою програму з веб-інтерфейсом, що забезпечує можливість:

індикації ТС підсистем ЗВТ, як на АРМ, так і на будь-якому кінцевому інформаційному пристрої членів екіпажу;

прогнозу ТС підсистем ЗВТ;

індикації інформації про заходи ТЕ;

індикації результатів діагностування та заходів щодо усунення проблемних ситуацій;

переглядати статистику, яка показує скільки на даний момент зареєстровано проблем, які з них вже вирішені, які вирішуються або які не можуть бути вирішені.

Головна сторінка. На рисунку 4.9 зображена головна сторінка АРМ при переході в режим «КОНТРОЛЬ ТС СУДНА».

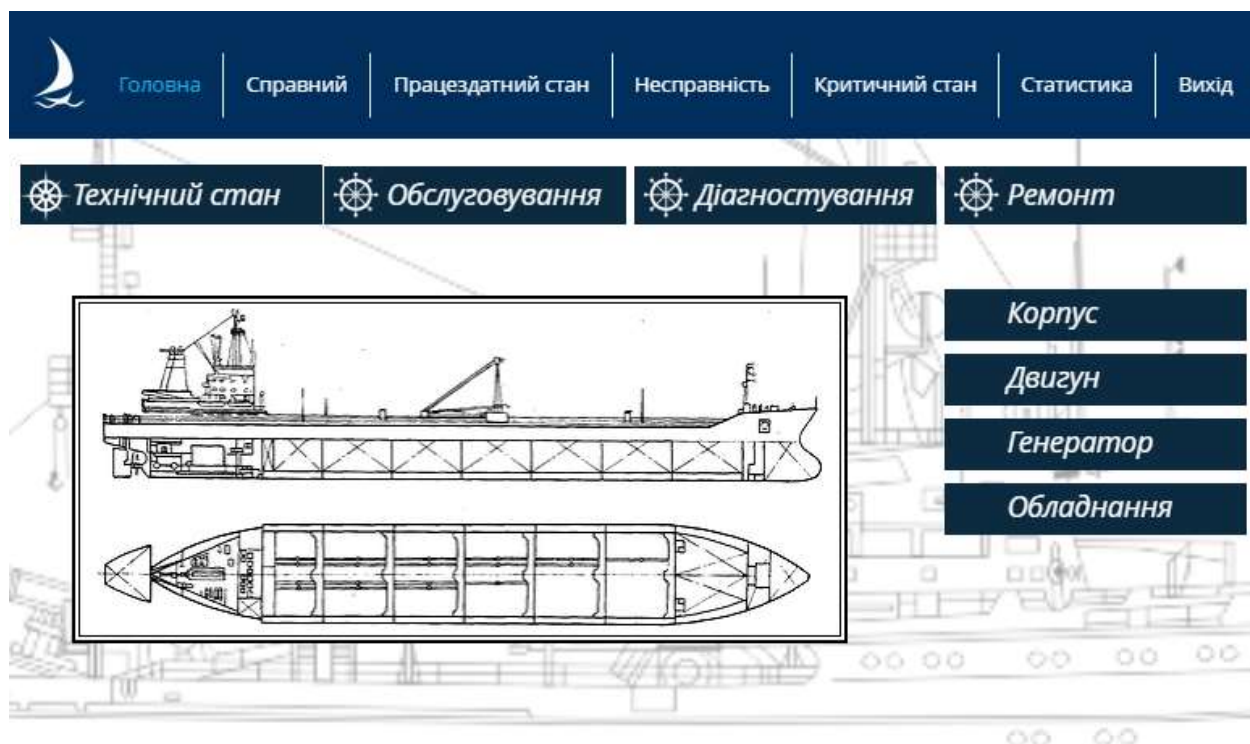


Рис. 4.9. Вигляд головної сторінки

Сторінка «логіну». На рисунку 4.10 зображена форма входу яка дозволяє авторизуватись адміністраторам, аналітикам та користувачам порталу.

 The image displays the "Sign Up" form on the portal. At the top, there is a dark blue header with the sailboat logo on the left and the text "Login/Sign up" on the right. Below the header, the text "Sign Up" is written in a large, elegant font. The form consists of four input fields: "Email", "Password", and "Retype password", each with a corresponding label. To the right of the "Email" field is a red button labeled "Sign up with Google+". Below the input fields is a dark grey button labeled "Go". At the bottom of the form, there is a link that says "Already a member? Log in".

Рис. 4.10. Форма входу на портал

Сторінка «справний», виконується штатне (планове) ТО

Далі користувач отримує наступний зовнішній вигляд сторінки у випадку штатної ситуації на судні, тобто технічний стан ЗВТ «справний» та екіпаж виконує роботи за планом ТО (рис.4.11). На схемі судна визначена підсистема та зона робіт за ТО (зелений колір).

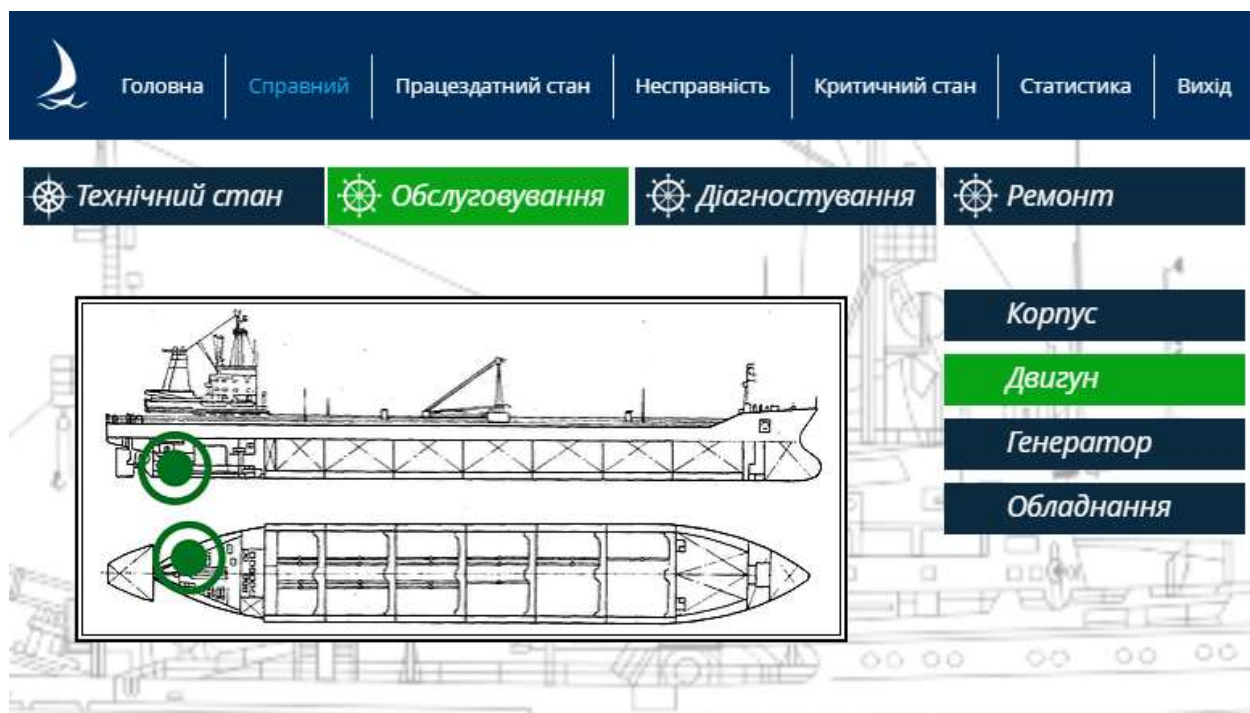


Рис.4.11. Сторінка «справний» та екіпаж виконує роботи за планом ТО

Сторінка «працездатний стан», штатне ТО та частковий ремонт

Користувач отримує наступний зовнішній вигляд сторінки у випадку коли технічний стан ЗВТ «працездатний стан» та екіпаж виконує роботи за планом ТО та часткового ремонту (рис.4.12). На схемі судна визначена підсистема та зона робіт за ТО (зелений колір) часткового ремонту (синій).

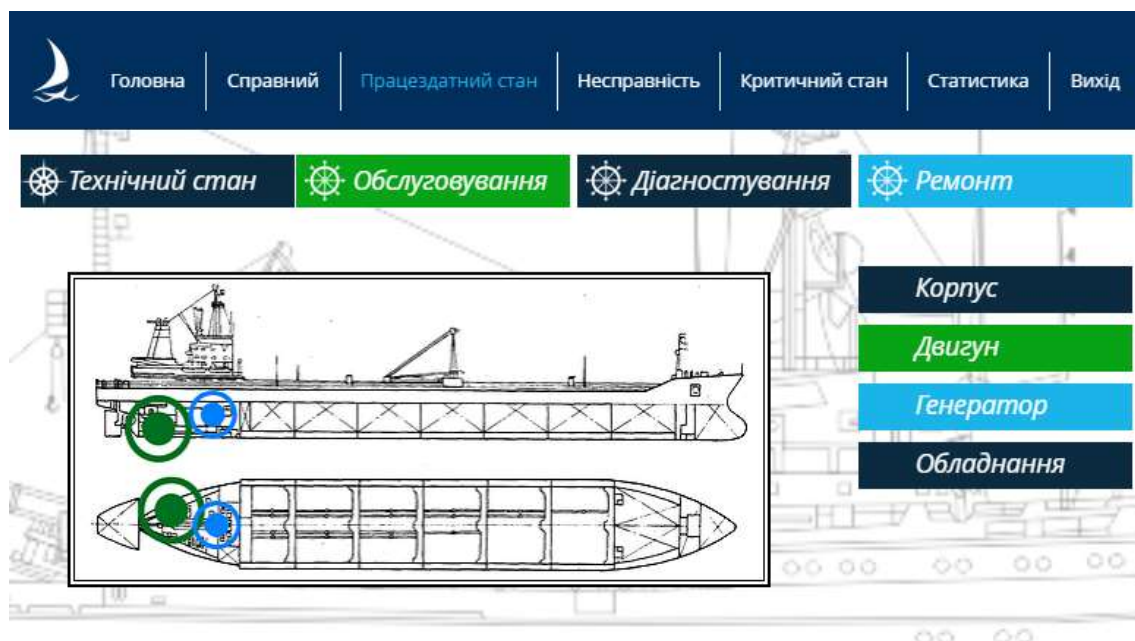


Рис.4.12. Сторінка «працездатний стан» та екіпаж виконує роботи за планом ТО та ремонту

У випадку нестатної ситуації на судні, яка пов'язана з відмовами та іншими причинами користувач отримує відповідну інформацію (рис.4.13, 4.14).

Сторінки «несправність» та «критичний стан»

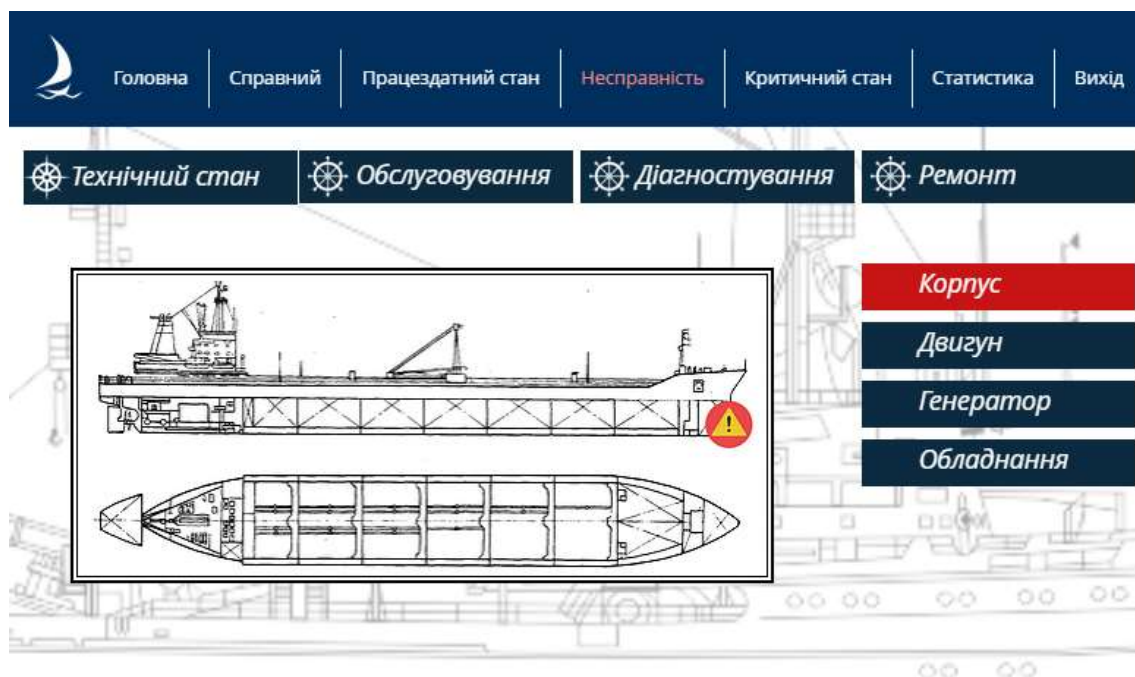


Рис. 4.13. Вигляд сторінки «несправність»

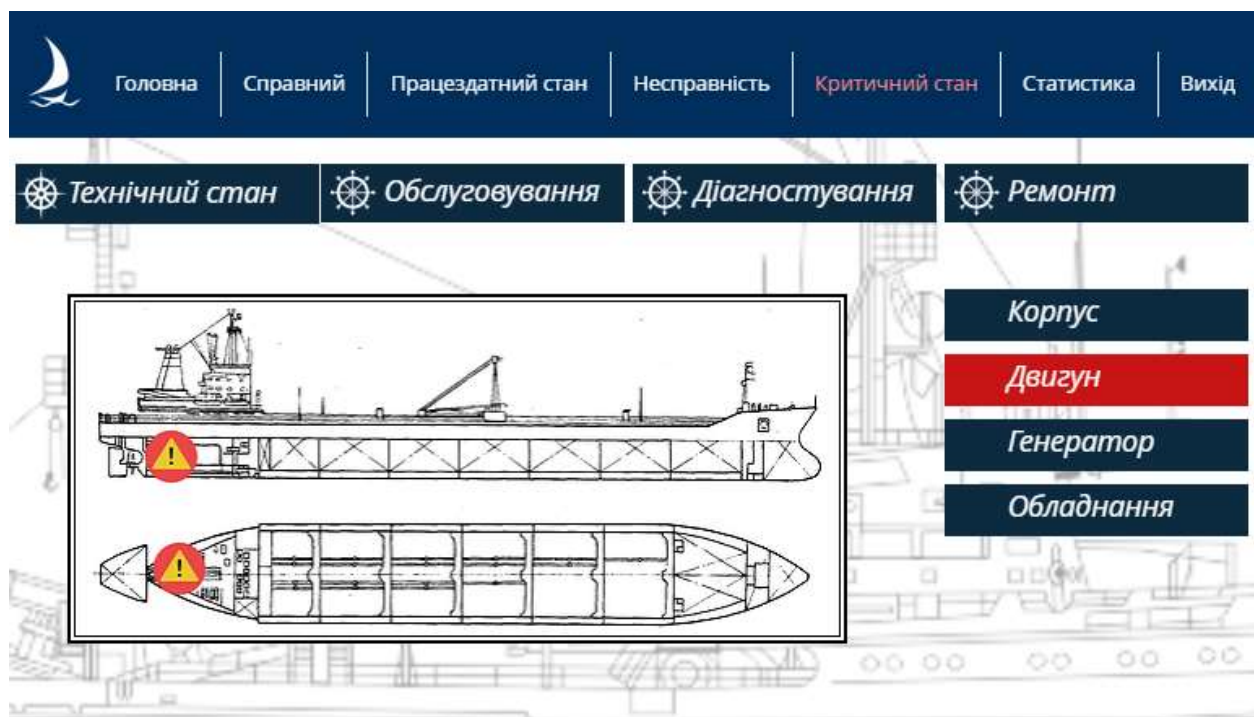


Рис. 4.14. Вигляд сторінки «критичний стан»

Сторінка «Статистика»

Статистика сайту надає наглядно зображення діаграм:
 діаграма існуючих технічних проблем по типам;
 діаграма яка відображає кількість виправлених та не виправлених проблем.

Інші сторінки

Портал реалізує представлення інформації в різних комбінаціях.

4.2. Перевірка достовірності запропонованих наукових результатів

Методика оцінки ефективності моделей та методів автоматизації контролю технічного стану ЗВТ

Оцінка ефективності розроблених в дисертації моделей та методів є важливим елементом наукових досліджень і призначена для формування об'єктивної думки про достовірність теоретичних результатів і практичних рекомендацій при їх впровадженні. Так як моделі і методи автоматизації є

підсистемою для забезпечення безвідмовної роботи ЗВТ (як в цілому так і комплектуючих підсистем та елементів), то і оцінювати їх ефективність доцільно за тим впливом, який вони надають на безвідмовність.

На основі принципів системного підходу завдання визначення технічного стану засобу водного транспорту в різноманітних умовах експлуатації доцільно розглядати у наступному вигляді. Дійсно, забезпечення заданого рівня надійності (безвідмовності) є актуальне. Це завдання вирішується за рахунок виконання вимог правил експлуатації будь-якої техніки та заходів системи технічного обслуговування. Як відомо, причинами відмов, тобто зміни стану засобу водного транспорту у цілому або підсистем та комплектуючих елементів «справний» на «несправний», «критична відмова» та таке інше є:

- виробіток ресурсу календарного та наробітку;
- порушення правил експлуатації;
- конструктивне-виробничі недоліки.

Тому місто самої системи контролю технічного стану ЗВТ, а також моделей та методів автоматизації процесу контролю технічного стану ЗВТ в забезпеченні заданого рівня надійності (безвідмовності) доцільно представити наступним чином.

Ефективність безвідмовної роботи, яка, як відомо, визначається через відповідні кількісні показники [29] представимо наступним чином

$$\begin{aligned}
 E_{БВ} &= \Delta(E_{ТО}, E_{ТЕ}, E_{КТС}, E_P), \\
 E_{КТС} &= \Lambda(E_B, E_{ОБР}), \\
 E_{ОБР} &= \Psi(E_A, E_{ПЗ}), \\
 E_{ПЗ} &= \Omega(E_{ММ}, E_{ЗП}).
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

де $E_{БВ}$ – ефективність безвідмовної роботи ЗВТ (підсистеми, комплектуючого ЗВТ);

$E_{ТО}$ – ефективність ТО ЗВТ;

$E_{ТЕ}$ – ефективність ТЕ;

$E_{\text{КТС}}$ – ефективність системи контролю ТС ЗВТ;

$E_{\text{Р}}$ – ефективність ремонту;

$E_{\text{В}}$ – ефективність вимірів параметрів функціонування ЗВТ;

$E_{\text{ОБР}}$ – ефективність обробки інформації про виміри параметрів;

$E_{\text{А}}$ – ефективність апаратної складової комп'ютерної системи;

$E_{\text{ПЗ}}$ – ефективність математичного та програмного забезпечення;

$E_{\text{ММ}}$ – ефективність моделей та методів автоматизації контролю ТС ЗВТ;

$E_{\text{ЗП}}$ – ефективність засобів програмування.

Таким чином, оцінимо ефективність розроблених моделей і методів за ступенем їх впливу на якість забезпечення властивості безвідмовності ЗВТ. Варто звернути увагу на те, що виявлення впливу моделей і методів автоматизації контролю ТС ЗВТ на ймовірність безвідмовної роботи та інші показники безвідмовності є маловивченою галуззю наукових досліджень. Як правило, застосовуються спрощена методики, які не дозволяють встановити реальну ступень впливу моделей і методів автоматизації контролю ТС ЗВТ на безвідмовність.

Великі можливості досить коректної відповіді на ці питання надає, як відоме, системний підхід. У системному аналізі основним критерієм, що характеризує функціонування підсистеми, прийнято вважати кількісний показник, що дозволяє оцінити її вплив на роботу системи більш високого рівня. Для контролю ТС ЗВТ таким основним кількісним показником ефективності є *достовірність контролю* – ймовірність того, що результат контролю вірний. Визначення ефективності контролю ТС ЗВТ засноване на поділі цієї загальної задачі на часткові підзадачі, які послідовно вирішуються в процесі контролю ТС, з оцінкою для кожної з них ймовірності їх успішного виконання. Для цього здійснюється таке поділ процесу контролю ТС, при якому в межах кожного етапу умови експлуатації ЗВТ залишаються незмінними. Це дозволяє підрахувати ймовірність рішення часткових завдань, а потім ефективність контролю ТС ЗВТ.

Визначення основних підзадач контролю ТС:

- вимірювання параметрів функціонування;
- формування оцінки ТС.

Процес вирішення зазначених підзадач визначає основний зміст контролю ТС і може розглядатися як функціонування ергономічної системи, що представляє собою сукупність дій екіпажу, що враховує умови судоплавання і технічних засобів контролю. У такій постановці процес контролю ТС включає функціонування трьох елементів ергономічної системи: людини (екіпаж), техніку (бортове обладнання контролю) та середу (навігаційну обстановку і інші чинники, які характеризують умови судоплавання).

Під ефективністю вимірювання параметрів функціонування ЗВТ будемо розуміти ймовірність вимірювання без помилки, що перевищує допустимі величини в межах призначеного інтервалу часу.

Для знаходження ефективності вирішення основних підзадач контролю ТС ЗВТ необхідно визначити ступінь впливу різних факторів на зазначену вище ймовірність з необхідною точністю. Це можна зробити шляхом декомпозиції процесу з його багаторівневим описом і урахуванням ефективності розв'язання окремих підзадач, під якою домовимося розуміти ймовірність того, що дана задача буде своєчасно вирішена з точністю, не нижче необхідної.

Оцінка ефективності контролю ТС ЗВТ

Безсумнівно, що ефективність контролю ТС ЗВТ залежить від ефективності виконання всіх підзадач. Однак при розрахунках показника ефективності контролю в цілому його неможна представляти у вигляді добутку показників ефективності підзадач, внаслідок наявності між ними взаємозв'язку. Тому пропонується досліджувати ефективність контролю ТС ЗВТ з урахуванням цього взаємозв'язку на основі системного підходу. Суть якого полягає в поділі складного процесу контролю ТС ЗВТ на більш прості етапи, описі їх властивостей, виявленні їх впливу на ефективність виконання завдання контролю ТС в цілому.

Процесу контролю ТС ЗВТ притаманні всі основні риси складних процесів і систем: загальна мета виконання етапів, велике число підетапів, складна структура зв'язків етапів, складна поведінка, яка обумовлюється випадковим характером зовнішніх і внутрішніх збурень на судна і систему контролю, можливість розчленування на простіші цільові етапи, які мають самостійне призначення і локальні цілі. Тому для з'ясування ролі кожного етапу в забезпеченні вирішення завдання безвідмовної роботи і диференційованого аналізу якості виконання складного процесу розділимо її на більш прості етапи, керуючись такими принципами.

1. Кожен з етапів має забезпечити вирішення тільки певних задач, які не дубльовані іншими етапами.

2. Якщо завдання хоча б одного з етапів не виконуються, то загальна задача забезпечення безвідмовності не виконується.

3. Імовірність безвідмовної роботи повинна визначатися добутком умовних ймовірностей виконання завдань на кожному етапі.

Багаторівневий опис (декомпозиція) **забезпечення безвідмовності** передбачає розбиття цього процесу на різні за ієрархією рівні. В основу такого розбиття покладене те завдання, яке вирішується на відповідному рівні.

На першому рівні декомпозиції основним критерієм є ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу $P_{БВ}$. При забезпеченні безвідмовності обмеження накладається також і на вимоги безпеки. Скористаємося апаратом алгебри логіки для визначення ймовірності безвідмовної роботи.

Нехай B – подія, що полягає в безвідмовної роботи ЗВТ, тоді справедливо, що

$$B = B_{ТО+ТЕ+Р} \cap B_{КТС}; B \cap (\bar{B}_{ТО+ТЕ+Р} \cup \bar{B}_{КТС}) = \emptyset, \quad (4.2)$$

$$B_{КТС} = B_{ОБР} \cap B_{ММ}; B_{КТС} \cap (\bar{B}_{ОБР} \cup \bar{B}_{ММ}) = \emptyset. \quad (4.3)$$

Де $B_{TO+TE+P}$ – подія, що складається у виконанні завдань ТО, ТЕ та ремонту;

B_{KTC} – подія, що складається у виконанні завдань КТС;

B_{OBR} – подія, що складається у виконанні завдань обробки інформації;

B_{MM} – подія, що складається у виконанні завдання автоматизації на основі розроблених моделей і методів.

Отже,

$$B = B_{TO+TE+P} \cap B_{KTC} \cap B_{MM}; \quad B \cap (\overline{B_{TO+TE+P}} \cup \overline{B_{KTC}} \cup \overline{B_{MM}}) = \emptyset. \quad (4.4)$$

Тоді,

$$P(B) = P(B_{MM})P(B_{KTC} / B_{MM})P(B_{TO+TE+P} / B_{MM} \cap B_{KTC}), \quad (4.5)$$

де $P(B_{MM})$ – ймовірність вирішення завдання автоматизації на основі розроблених моделей і методів;

$P(B_{KTC} / B_{MM})$ – умовна ймовірність успішного КТС за умови, що вирішене завдання автоматизації на основі розроблених моделей і методів;

$P(B_{TO+TE+P} / B_{MM} \cap B_{KTC})$ – умовна ймовірність вирішення завдань ТО, ТЕ і ремонту за умови, що вирішені завдання КТС та автоматизації на основі розроблених моделей і методів.

Позначимо

$$P(B_{MM}) = P_{MM}; \quad P(B_{KTC} / B_{MM}) = P_{KTC}; \quad P(B_{TO+TE+P} / B_{MM} \cap B_{KTC}) = P_{TO+TE+P};$$

тоді вираз (4.4) прийме вигляд

$$P_{BB} = P_{KTC} P_{MM} P_{TO+TE+P}. \quad (4.6)$$

У даній моделі прийнято допущення про те, що функція $E_{ПЗ} = f(E_{MM})$ є додатною, монотонно-зростаючою.

Таким чином, вирази (4.2 – 4.6) є моделлю безвідмовності на першому рівні декомпозиції.

Основним завданням, розв'язуваної на **другому рівні декомпозиції** забезпечення безвідмовності, є розбиття завдання КТС на ряд етапів, на кожному з яких вирішується своє часткове завдання. Суть цього завдання – оцінити певний параметр функціонування підсистем ЗВТ. На цьому рівні декомпозиції завдання забезпечення безвідмовності обмежимося вибором необхідної множини параметрів функціонування, вимірювання їх поточних значень, а також обчислення відхилення від номінальних значень, тобто тих які визначають штатний режим експлуатації. (X, Y, Z, t) .

Відповідно до системного підходу, для визначення ефективності КТС етапи слід вибирати так, щоб в межах одного етапу не тільки завдання, але й умови функціонування судна та екіпажу, що впливають на якість її рішення, залишалися незмінними. Основним критерієм ефективності КТС на другому рівні декомпозиції є достовірність контролю параметра функціонування по трьох координатах і часу (X, Y, Z, t) . Саме три координати обрані виходячи зі здорового глузду (наприклад, при оцінці дефектів корпусу судна), хоча в більшості випадків досить і однієї координати: обороти двигуна, температура і ін.

Досвід показує, що при вимірюванні тріади (X, Y, Z) і часу t будь-якого параметра функціонування ЗВТ в цілому або його підсистем при звичайному ході процесу помилки можна вважати незалежними і такими, що підкоряються нормальному розподілу з нульовими математичними очікуваннями і середніми квадратичними відхиленнями, відповідно σ_{X_0} , σ_{Y_0} , σ_{Z_0} , σ_t . За умови, що інтервали допустимих відхилень параметрів по σ симетричні, достовірність контролю кожного параметра з дотриманням заданих вимог можна знайти за формулою

$$P_{KTC} = \Phi\left(\frac{\Delta X}{\sigma_{X_0}}\right)\Phi\left(\frac{\Delta Y}{\sigma_{Y_0}}\right)\Phi\left(\frac{\Delta Z}{\sigma_{Z_0}}\right)\Phi\left(\frac{\Delta t}{\sigma_t}\right), \quad (4.7)$$

де ΔX – допустиме відхилення параметра по координаті x ;

$\Delta Y, \Delta Z$ – допустимі відхилення параметра за координатами y, z ;

Δt – допустиме відхилення параметра за часом;

$$\Phi(X) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt - \text{інтеграл ймовірності.}$$

Вираз (4.7) записано для одного параметра, тоді для n параметрів воно матиме такий вигляд

$$P_{KTC} = \prod_{i=1}^n P_{KTCi}, \quad (4.8)$$

де P_{KTCi} – має відповідний зміст для i -го параметра. Варто відзначити, що в ряді випадків ця ймовірність носить умовний характер.

Третій рівень декомпозиції спрямований на поетапне розгляд автоматизації з детальним аналізом умов та визначенням процедури для виконання цього завдання. Завданнями етапів можуть бути завдання, які вирішуються кожною моделлю або методом автоматизації контролю ТС ЗВТ. Завдання вибору на етапі оптимальних моделей може вирішуватися різними методами. Критерієм оцінки ефективності КТС на цьому рівні є ймовірність того, що на основі моделей і методів визначається справжнє ТС ЗВТ.

В результаті помилки буде певна відмінність істинного ТС від розрахункового. Згідно з цим визначенням, відстанню n -го порядку кривої $y = f(x)$ до кривої $y = f_1(x)$ на інтервалі від x_0 до x_1 , називається максимум абсолютного значення різниці n -х похідних, тобто

$$y_n = \left| f_1^{(n)}(x) - f^{(n)}(x) \right|_{\max}, \quad x_0 \leq x \leq x_1. \quad (4.9)$$

Для кожного конкретного параметра фізичний зміст відстаней нульового, першого і другого порядків має свій зміст. У загальному вигляді

доцільно записати наступне

$$P_{MM} = \prod_{j=1}^m P_{MMj}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (4.10)$$

де P_{MMj} – відповідна ймовірність, що має сенс для j -тій моделі або методу автоматизації;

m – кількість моделей і методів.

Варто підкреслити, те що ймовірність $P_{TO+TE+P}$ досить добре розглянута в науковій літературі [16,17,42,44,46]. Тому маємо наступний загальний вигляд

$$P_{TO+TE+P} = \prod_{j=1}^L P_{TO+TE+Pj}. \quad (4.11)$$

Таким чином, вирази (4.1 – 4.11) визначають етапи методики оцінки ефективності моделей та методів автоматизації контролю технічного стану ЗВТ, та дають відповідь на питання – як зміниться безвідмовність ЗВТ за рахунок впровадження запропонованих в роботі моделей та методів автоматизації контролю ТС ЗВТ. Далі представлено модельний приклад використання даної методики.

Модельний приклад оцінки впливу моделей та методів автоматизації контролю технічного стану на безвідмовність ЗВТ

Розглянемо наступну ситуацію для моделювання, яку досліджували на судні типу OCEANIS 423 “THALASSA”. На даному судні уже реалізовані елементи технології Integrated Bridge System, тому майбутнє практичне впровадження наукових результатів дисертаційного дослідження може бути зведено до встановлення в існуючу комп’ютерну систему нового математичного та програмного забезпечення. Вхідні данні на результати розрахунків зведені до таблиць 4.1 – 4.6.

Таблиця 4.1

Ефективність контролю параметра (без використання НР)

Характеристика	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	Параметр 1	Параметр 2	Параметр 3	Параметр 4	Параметр 5	Параметр 6
ΔX , (м)	3000	29	300	29	1500	230
σ_{X_0} , (м)	1000	0,2	100	0,2	500	0,2
ΔZ , (м)	3000	30	300	30	1500	30
σ_{Z_0} , (м)	1000	0,2	100	0,2	500	0,2
ΔY , (м)	2000	28	200	28	1000	28
σ_{Y_0} , (м)	10	0,2	10	0,2	10	0,2
Δt , (с)	2	2	2	2	2	2
σ_t , (с)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$P_{КТС}$	0,79	0,79	0,8	0,8	0,81	0,81

Таблиця 4.2

Ефективність моделей та методів (які не включені до НР)

Характеристика	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	Параметр 1	Параметр 2	Параметр 3	Параметр 4	Параметр 5	Параметр 6
$P_{ММ}$	0,79	0,81	0,84	0,86	0,89	0,91

Таблиця 4.3

Ймовірність безвідмовної роботи (без використання НР)

Показник	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
$P_{КТС}$	0,79	0,8	0,81
$P_{ММ}$	0,8	0,85	0,9
$P_{ТО+ТЕ+Р}$	0,8	0,9	0,95
$P_{БВ}$	0,51	0,61	0,69

Таблиця 4.4

Ефективність контролю параметра (з використанням НР)

Характеристика	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	Параметр 1	Параметр 2	Параметр 3	Параметр 4	Параметр 5	Параметр 6
$P_{КТС}$	0,79	0,81	0,80	0,82	0,81	0,83

Таблиця 4.5

Ефективність моделей та методів (які включені до наукових результатів)

Характеристика	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	Параметр 1	Параметр 2	Параметр 3	Параметр 4	Параметр 5	Параметр 6
P_{MM}	0,95	0,97	0,96	0,98	0,97	0,99

Таблиця 4.6

**Ймовірність безвідмовної роботи
(з використанням НР)**

Показник	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
P_{KTC}	0,8	0,81	0,82
P_{MM}	0,96	0,97	0,98
$P_{TO+TE+P}$	0,8	0,9	0,98
$P_{БВ}$	0,61	0,69	0,78

Таким чином, застосування запропонованих моделей і методів дозволяє підвищити достовірність контролю технічного стану до 12 %. При цьому, за результатами математичного моделювання, можливе підвищення ймовірності виконання безвідмовного судноплавання до 8-10 % за рахунок впровадження на практиці.

Висновки до розділу 4

1. Доведена доцільність реалізувати запропоновані в дисертації моделі та методи автоматизації контролю ТС ЗВТ в технології Integrated Bridge System на основі спеціалізованого веб-порталу.

2. Дослідження сучасних веб-технологій дозволяють обрати для використання ASP.NET MVC Framework – фреймворк для створення веб-додатків, який реалізує шаблон Model-View-Controller. Це аргументоване тим, що, по-перше, будь-якому члену екіпажу зручніше користуватися інформацією

про ТС ЗВТ за допомогою веб-технологій, де в кожного фахівця є певний досвід. По-друге, архітектурний патерн Model-View-Controller (MVC) розділяє додаток на три основних компоненти: модель, уявлення і контролер. Платформа ASP.NET MVC являє собою альтернативу схем і веб-форм ASP.NET при створенні веб-додатків. По-третє, ASP.NET MVC є легковаговою платформою відображення з широкими можливостями тестування.

3. Аналіз показав, що оцінку ефективності розроблених в дисертації моделей та методів автоматизації доцільне виконати по визначенню їх впливу на таку властивість як надійність. А саме, так як ці моделі та методи є підсистемою для забезпечення безвідмовної роботи в цілому ЗВТ або комплектуючих підсистем та елементів, то і оцінювати їх ефективність доцільно за тим впливом, який вони надають на безвідмовність.

4. Дослідження на модельному прикладі показує, що застосування запропонованих моделей і методів дозволяє підвищити достовірність контролю технічного стану підсистем ЗВТ до 12 %. При цьому, за результатами математичного моделювання, можливе підвищення ймовірності виконання безвідмовної роботи до 8-10 % за рахунок впровадження на практиці.

ВИСНОВКИ

В результаті дисертаційних досліджень, виконаних автором, вирішено нове актуальне наукове завдання удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації. Дане наукове завдання має важливе значення для теорії і практики підвищення ефективності контролю технічного стану транспортної техніки, встановлення закономірностей змінювання параметрів технічного стану у процесі експлуатації, впровадження методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану засобів транспорту, що забезпечують високу ефективність їх використання та надійність роботи. Відсутність аналогічних рішень в нашій країні і за кордоном робить результати досліджень пріоритетними.

На підставі проведених досліджень зроблені наступні висновки:

1. Підтверджено, що в сучасних умовах активне виконується державне завдання інтенсивного економічного та соціального розвитку країни та її участі в міжнародній інтеграції. Особа роль в цьому відводиться транспортній галузі, а саме морським та річним перевезенням. На підставі результатів аналізу досвіду експлуатації встановлено, що водний транспортний комплекс є складною структурою, яка, охоплює низку завдань та функцій. Але рівень безпеки, показники ефективності перевезень пасажирів та вантажів, інші важливі властивості не відповідають сучасним вимогам. На думку фахівців особливу увагу потрібно приділити саме проблемам безпеки судноплавства, надійності технічних засобів та завданню автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації.

2. Виконане аналіз основних напрямків підвищення ефективності контролю технічного стану засобів водного транспорту; доведено, що сучасним інноваційним напрямком є автоматизація та комплексні підходи. Питанням автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту

присвячено багато наукових та практичних робіт. Але коло проблем звужується досить повільно. Це обумовлено багатьма факторами, в тому числі її складністю завдання.

3. Доведена актуальність теми дисертації, яка визначається невідповідністю існуючих методів та способів автоматизації реальним умовам функціонування. На практиці не існує такого підходу, який ґрунтується на сучасному науково-обґрунтованому апараті та дає відповідні результати.

4. Встановлено те, що в умовах інтенсивного розвитку інформаційних технологій, які дозволяють вирішувати будь-які складні завдання за рахунок автоматизації прогресивною є тенденція інтегрування та автоматизації всіх функцій на судні, в тому числі її завдань контролю технічного стану судна. Також в роботі доведена актуальність та важливість існуючої тенденції створення інтегрованого обладнання ходової рубки, яка полягає в розробленні інтегрованої системи навігаційного містка (Integrated Bridge System).

5. Таким чином, наукове завдання розробці моделей та методів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації з метою впровадження їх в математичному та програмному забезпеченні автоматизованого робочого міста в Integrated Bridge System є новим та актуальним.

6. Дослідження принципів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту визначило такі основні принципи: принцип узгодженості, суть якого в тому, що всі дії в процесі, що автоматизується повинні бути узгоджені між собою та зі входами і виходами процесу. У разі неузгодженості дій може статися порушення виконання процесу; принцип інтеграції – процес, що автоматизується повинен мати можливість інтегруватися в загальне середовище; принцип незалежності виконання – процес, що автоматизується повинен виконуватися самостійно, без участі людини, або з мінімальним контролем з боку людини. Людина не повинна втручатися в процес, якщо процес виконується відповідно до встановлених вимог.

7. Найбільш ефективною є стратегія удосконалення моделі автоматизованого контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка на відміну від існуючих базується на марковських процесах, методі Рунге-Кутта чисельного рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова та апріорної інформації про інтенсивності переходів зі стану в стан. Використання програмної реалізації моделі значно покращує показники оперативності за рахунок ергономічності інтерфейсу та зменшення кількості операцій.

8. Моделювання технічного стану ЗВТ за допомогою розробленого програмного забезпечення свідчить про те, що розробка є функціональною, програмне забезпечення задовольняє усім потребам користувача. Модель є адекватною, а програмне забезпечення є досить надійним. Інтерфейс програми зручний та ергономічний. Завдяки використанню швидких математичних апаратів для розрахунків та відображення результату програмне забезпечення є ефективне.

9. Евристична модель оперативного визначення технічного стану засобів водного транспорту в умовах відсутності достовірної статистичної інформації, яка вперше розроблена, має відмінну особливість, суть якої у використанні при опису процесу зміни стану ланцюжків причино-наслідкових зв'язків та продукційної моделі оператора переходу; це дозволяє значно скоротити обчислювальні витрати та час на визначення стану.

10. Однією з проблем автоматизації процесу контролю технічного стану судна є проблема достовірності статистичних даних для формування моделі прогнозу. Доведено, що знижують достовірність ряд факторів, пов'язаних, як з неточністю вимірювань, так і з недостатньою кількістю самих вимірювань. Тому класична задача вирівнювання динамічних рядів є актуальною. Аналіз показав, що в умовах неточності вимірювань та недостатньою кількістю вимірів використовувати традиційні методи при вирішенні поставленого завдання недостатньо ефективно. Тому в дисертаційній роботі пропонується новий підхід, а саме, інтелектуальна модель вирівнювання динамічних рядів.

11. З метою інтелектуалізації процедури вирівнювання динамічних рядів доведена ефективність моделі гештальттеорії Макса Вертгеймера та необхідність математичної формалізації її в один раціональний закон. Цей закон є основою запропонованої в дисертації математичної моделі, яка в свою чергу визначає науковий результат – метод автоматизації визначення технічного стану ЗВТ.

12. В інтелектуальній моделі вирівнювання динамічних рядів введені оператори μ_1, μ_2, μ_3 та μ_4 , що зв'язують індивідуальні особливості реалізації розглянутих факторів, а потім системоутворюючий оператор μ що зв'язує ці чинники у єдине ціле. У наведеній ієрархічній структурі всі її елементи задані нерівнозначно, тому в моделі зроблено припущення про те, що чинники стимулюють мінімізацію суми квадратів різниць відповідних точок та реалізоване перехід до системи лінійних алгебраїчних рівнянь, вирішення яких розв'язує задачу в цілому.

13. Доведена доцільність реалізувати запропоновані в дисертації моделі та методи автоматизації контролю технічного стану ЗВТ в технології Integrated Bridge System на основі спеціалізованого веб-порталу. Дослідження сучасних веб-технологій дозволяють обрати для використання ASP.NET MVC Framework – фреймворк для створення веб-додатків, який реалізує шаблон Model-View-Controller. Це аргументоване тим, що, будь-якому члену екіпажу зручніше користуватися інформацією про технічний стан за допомогою веб-технологій, де в кожного фахівця є певний досвід; ASP.NET MVC є легковаговою платформою відображення з широкими можливостями тестування.

14. Аналіз показав, що оцінку ефективності розроблених в дисертації моделей та методів автоматизації доцільне виконати по впливу на таку властивість як надійність. А саме, так як ці моделі та методи є підсистемою для забезпечення безвідмовної роботи в цілому ЗВТ або комплектуючих підсистем та елементів, то і оцінювати їх ефективність доцільно за тим впливом, який вони надають на безвідмовність.

15. Дослідження на модельному прикладі показує, що застосування запропонованих моделей і методів дозволяє підвищити достовірність контролю технічного стану підсистем ЗВТ до 12 %. При цьому, за результатами математичного моделювання, можливе підвищення ймовірності виконання безвідмовної роботи до 8-10 % за рахунок впровадження на практиці.

16. Таким чином, мета дослідження щодо підвищення достовірності контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації за рахунок впровадження запропонованих моделей та методів автоматизації досягнута і всі часткові завдання вирішені повністю. Наукові результати досліджень є внеском в розвиток наукових і методологічних основ підвищення ефективності контролю технічного стану транспортної техніки, встановлення закономірностей змінювання параметрів технічного стану у процесі експлуатації, впровадження методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану засобів транспорту, що забезпечують високу ефективність їх використання та надійність роботи, а також внеском в теорію автоматизованих систем контролю технічного стану даних засобів.

17. Основні результати дисертаційних досліджень можуть бути використані дослідно-конструкторськими організаціями та підприємствами при розробці або удосконаленні програмних засобів автоматизованих систем контролю технічного стану засобів водного транспорту.

18. Напрямами подальших досліджень у зазначеній галузі можуть бути ті, які стосуються створення та модифікація ерготичних інтелектуальних систем для автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адрианова В. Е. Деятельность человека в системах управления. Ленинград: Издательство ЛГУ, 1974. 135 с.
2. Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Симоненко С.В. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса : Феникс, 2009. 518 с.
3. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за I півріччя 2017 р. URL: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/analiz_2017/analiz_avariynosti_i_pivrichchya_2017.pdf (дата звернення 12.12.2018).
4. Анучин О. Н. Емельянцева Т.Н. Интегрированные навигационные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. Санкт-Петербург: Государственный Научный Центр Российской Федерации. 1999. 357 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/126419/> (дата звернення 12.12.2018).
5. Александров Е.А. Основы теории эвристических решений. Москва : Сов. радио, 1975. 256 с.
6. Баранов Г. Л., Носовський А. М., Тихонов І. В. Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах: монографія. Київ: КДАВТ, 2012. 149 с.
7. Баранов Г.Л., Тихонов І.В. Концепція побудови функціонально стійкого навігаційного обслуговування об'єктів водного транспорту в зонах підвищеного ризику плавання. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2009. Вип.2(10). С. 17-21.
8. Баранов Г.Л., Тихонов І.В. Ефективність інтелектуалізації інтегрованих систем навігації і управління рухомими транспортними засобами. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2010. Вип. 1 С. 13-20.

9. Беллман Р. Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях: сборник переводов. Москва: Мир, 1976. С. 172-215.
10. Белов П. Г. Запорожченко Ю. Ф. Сущность и методы прогнозирования техногенного риска. *Вісник КМУЦА*. 1999. №1. С. 260–264.
11. Бень А.П. Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений. *Вестник ХНТУ: сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета*. 2009. Вып. 1 (34). С. 429-433.
12. Бенькович Е. С. Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б. Практическое моделирование динамических систем: учебное пособие. Петербург, 2002. 464 с.
13. Боглаев Ю. П. Вычислительная математика и программирование: учебное издание. Москва: Высшая Школа, 1990. 546 с.
14. Вентцель Е.С. Исследование операций. Москва: Советское радио, 1972. 552 с.
15. Вагущенко Л. Л. Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна: учебное пособие. Одесса: Латстар, 2002. 310 с.
16. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна: учебное пособие. 3-е издание перераб.и доп. Одесса: Феникс, 2007. 376 с.
17. Вычужанин В.В., Рудниченко Н.Д. Технические риски сложных комплексов функционально взаимосвязанных структурных компонентов суденых энергетических установок. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2014. № 2. С. 68–77.
18. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учебник. Питер, 2000. 384 с.
19. Гаранов М. Ю., Шепета Ю. Н., Лебедев А. Е. Технология интегрирования оборудования рулевой рубки скоростных судов. *Морские информационно-управляющие системы*. 2014, № 1 (4). С. 112 – 115.

20. Гаскаров Д. В. Истомин Е. П., Кутузов О. И. Сетевые модели распределенных автоматизированных систем. Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1998. 353 с.

21. Герасимов Б. М. Оксіюк О. Г., Шворов С. О. Проектування та застосування експертно-навчальних систем: монографія. Київ: Європейський університет, 2008. 263 с.

22. Герасимов Б. М. Тарасов В. А., Токарев И. В. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. Київ: Наукова думка, 1993. 184 с.

23. Голиков В. В. Методологические основы гарантированной безопасности судоходства. Материалы науч.-методич. конференции 16–19 ноября 2014 г. Одесса, 2014. С. 162–167.

24. Гома Х. UML Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений/ пер. с англ. Москва: ДМК Пресс, 2002. 698 с.

25. Горбань І.І. Теорія ймовірностей і математична статистика для наукових працівників та інженерів . Київ : НАНУ. ІПММС. 2003. 244 с.

26. Горошко К. О. Оцінка сучасного стану та перспективні шляхи розвитку внутрішнього водного транспорту України: збірник наукових праць ДЕГУТ. Сер. «Економіка і управління». Вип 26. Київ: ДЕГУТ, 2013. С. 169 – 173.

27. Груверман А. Технология создания мостиковых систем с применением интеграторов информации от разнородных датчиков. Алгоритмы распределенной обработки и регистрации полученных данных. *Управление и диагностика технических средств для судов различного класса автоматизации ЗАО «Транзас»*. URL: <https://docplayer.ru/31427735-Tehnologiya-sozdaniya-mostikovykh-sistem-s-primeneniem-integratorov-informacii-ot-raznorodnyh-datchikov.html> (дата звернення: 12.12.2018).

28. Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. «Водний транспорт». Розділ «Морський транспорт». Міністерство транспорту України. 2002. Вип.67. 128 с.

29. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. URL: https://dnaop.com/html/2273/doc_2860-94 (дата звернення: 21.12.2018).

30. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. Москва, 1990. 286 с.

31. Заде Л. А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных интеллектуальных систем. Новости искусственного интеллекта. Перевод с англ. И.З. Батыршина. 2001. № 2–3. С. 7–11.

32. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Киев: Слово, 2008. 344 с.

33. Зайченко Ю.П. Основи проектування інтелектуальних систем. Киев: Слово, 2004. 352 с.

34. Закон України «Про транспорт» від 28.12.2015 р. №233/94-ВР URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/232/94-вр> (дата звернення 12.12.2018).

35. Захаров И. Г. Проблемы комплексирования и интеграции боевых систем и технических средств при создании кораблей нового поколения. *Морская радиоэлектроника*. 2006. №3(17).

36. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / Геловани В. А. Башлыков А. А., Бритков В. Б., Вязилов Б. Д. Москва: Эдиториал УРСС, 2001. 304 с.

37. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень / Герасимов Б. М., Локазюк В. М., Окслюк А. Г., Поморова О. В. Київ: Європейський університет, 2007. 335 с.

38. Качинский А. Б. Засады системного анализа безопасности сложных систем. Киев: ДП «НВЦ» Євроатлантикінформ, 2006. 336 с.

39. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. Москва: Радио и связь, 1990. 544 с.

40. Колесников А. В. Кириков И. А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем Москва: ИПИ РАН, 2007. 387 с.

41. Коломієць О. М., Кучерук Н. В. Оцінювання функціонала в автоматизованих системах водного транспорту. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2017. Вип. 1 (104). С. 20–23.

42. Коломієць О. М., Тимощук О. М., Данік О. В. Выбор показателей надежности с учетом интенсивности эксплуатации судна. *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy*. 2017. №2. С. 90–95.

43. Коломієць О. М., Данік О. В. Оцінювання впливу застосування інтелектуальної системи експлуатації судна на вирішення завдань безпеки. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2017. Вип. 2 (105). С. 75–78.

44. Коломієць О. М., Богом'я В. І. Методи підвищення ефективності процесу експлуатації суднових комплексів. *Новітні технології*. 2017. Вип. 1(3). С. 42–48.

45. Коломієць О. М., Тимощук О. М., Данік О. В. Вибір критерію оптимальності системи відновлення суднових комплексів. *Економіка та держава*. 2017. № 4. С. 102–104.

46. Критерій оптимальності процесу технічного обслуговування суднових комплексів/ Коломієць О. М., Тимощук О.М., Дакі О.А., Трофименко І.В. *Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України*. 2017.№4(29). С.132–136.

47. Коломієць О. М., Данік О. В., Дакі О. А., Горбань А. В. Верифікація технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю системи навігації та управління рухом. *Новітні технології*. 2018. Вип. 1(5). С. 29–42.

48. Коломієць О. М., Тимощук О. М., Дакі О. А. Обґрунтування застосування сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних приладів засобів водного транспорту. *Новітні технології*. 2018. Вип. 2(6). С. 39–45.

49. Разработка методов сжатия сообщений о воздушных объектах и управления дискретностью их выдачи от источников радиолокационной информации/ Коломієць О. М., Воробьєв Е. С., Шевченко А. П., Мазур А. М. та ін. *Новітні технології*. 2018. Вип. 3(7). С. 217–230.

50. Коломієць О. М. Методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту. *Новітні технології*. 2019. Вип. 1(8). С. 30–42.

51. Коломієць О. М. Особливості автоматизації контролю технічного стану морського транспорту. World Science. Warsaw: RS Global Sp. z O.O. 2019. Вип. 3(43). С. 54–62.

52. Коломієць О.М., Данік О.В., Дакі О.А. Верифікація технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю. Науково-технічна конференція «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу»: тези доповідей. Київ : ДЕА, 2018. С.59–60.

53. Коломієць О.М., Данік О.В. Методи аналізу системи навігації та управління рухом суден. III Міжнародна науково-практична конференція «Стандартизація, сертифікація, метрологія та менеджмент»: тези доповідей. Київ : ДП «УкрНДНЦ». 2017. С.16.

54. Коломієць О.М. Методи аналізу системи управління рухом суден. I Міжнародна науково-практична конференція «Водний транспорт»: тези доповідей. Київ : ДУІТ. 2019. С.16.

55. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. Москва: МЦМНО, 1999. 960 с.

56. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. Москва: Мир, 1982. 432с.

57. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход Москва: Мир, 1978. 402 с.

58. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. Москва, 2001. 382 с.

59. Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. Москва: Издательство физ.-мат. лит., 2001. 224 с.
60. Крыжановский Г. А., Купин В. В., Плясовских А. П. Теория транспортных систем: учебное пособие / под ред. Г. А. Крыжановского. С. Петербург, 2008. 208 с.
61. Кудрицька Н. В. Транспортнодорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку: монографія. Киев: НТУ, 2010. 338 с.
62. Кузнецов О. П., Адельсон-Вельский Г. М. Дискретная математика для инженера. Москва, 1988. 480 с.
63. Кунцевич В. М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. Киев: Наукова думка, 2006. 264с.
64. Лингер Р., Миллс Х., Уитт Б. Теория и практика структурного программирования. Москв: Мир, 1982. 406 с.
65. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта. Москва: Мир, 1991. 568 с.
66. Майстренко О., Гурченков О. Стан виробничого потенціалу суднобудування та перспективи його розвитку URL: http://www.nbuu.gov.ua/portal/Soc_Gum/Ecan/2011_9_2/pdf (дата звернення 12.12.2018).
67. Максимей И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ. Москва: *Радио и связь*, 1988. 232 с.
68. Маринов М. Л., Клименко В. Д. Учет человеческого фактора в аварийных ситуациях на море. Эксплуатация морского транспорта. 2008. №2. С. 25-29.
69. Митюшкин Ю. И., Мокин Б. И., Ротштейн А.П. Soft Computing: Идентификация закономерностей нечеткими базами знаний. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. 145 с.

70. Міронова В. Л. Адаптивна інтелектуалізації інформаційно-аналітичної технології з безпеки руху високошвидкісних транспортних засобів. Проблеми транспорту: збірник наукових праць: Вип. 8. Київ: НТУ, 2011. с. 187-193.

71. Многоуровневое структурное проектирование программ: Теоретические основы, инструментарий / Ющенко Е. Л., Цейтлин Г. Е., Грицай В. П., Терзян Т. К. Москва: *Финансы и статистика*, 1989. 208 с.

72. Національної доповіді про стан техногенної природної безпеки в Україні у 2013 році. URL: http://www.mns.gov.ua/files/prognoz-report/2013/2_5.pdf (дата звернення 12.12 2018).

73. Небылов А.В. Гарантирование точности управления. Москва: *Наука. Физматлит*, 1998. 304 с.

74. Нечаев Ю. И., Сизов В. Г. Принятие решений при управлении судном в экстремальных ситуациях на основе современной теории катастроф / Суденождение: сб. научн. трудов ОНМА. Одесса: «ИздатИнформ», 2010. Вип. 20. С. 130–142.

75. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Аверкин А. Н., и др.; Москва: Наука, 1986. 312 с.

76. Обмін думками щодо проекту закону « Про внутрішній водний транспорт» Васьков Ю. URL: http://old.kmu.gov.ua/kmu/control/publish/article?art_id=248226636 (дата звернення 12.12.2018).

77. Паспорт спеціальності 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту. URL: <http://inmad.vntu.edu.ua/upload/aspi/052220.pdf> (дата звернення: 09.12.2018).

78. Письменна К. С. Стан і тенденції розвитку суднобудівної промисловості в Україні: господарсько-правовий аспект URL: <http://vuzlib.com/content/view/2516/27/> (дата звернення 12.12.2018).

79. Прогнозирование и оценка технического состояния корпуса судна по замерам остаточных толщин /Баева Л.С. та ін.. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 7-1. С. 7-10.

URL: <http://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=9746> (дата звернення: 30.11.2018).

80. Проект Закону України «Про внутрішній водний транспорт» від 09.07.2018 № 2475а-д URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=64397 (дата звернення 12.12.2018).

81. Публічний звіт Голови Державної служби України з безпеки на транспорті М. Ноняка за 2017 рік. Державна служба України з безпеки на транспорті : веб сайт. URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/publichnyy-zvit-golovy-derzhavnoyi-sluzhby-ukrayiny-z-bezpeky-na-transporti-myhayla-0> (дата звернення: 09.12.2018).

82. Публічний звіт Голови Державної служби України з безпеки на транспорті М. Ноняка по основних показниках діяльності Державної служби України з безпеки на транспорті за 2016 рік URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/publichnyy-zvit-golovy-derzhavnoyi-sluzhby-ukrayiny-z-bezpeky-na-transporti-myhayla-nonyaka> (дата звернення: 09.12.2017).

83. Пятаков Э. Н. Требование к процедуре формирования второго уровня иерархической системы управления взаимодействием суден. Суденождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Одесса: *ИздаТИнформ*, Вып.13. 2007. С. 145 – 148.

84. Равин А.А. Диагностическое обеспечение суденого энергетического оборудования. PRoATOM: веб-сайт. URL: <http://proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=4403> (дата звернення: 09.12.2018).

85. Равин А.А. Диагностическое обеспечение суденого энергетического оборудования: проблемы и решения : дис.... д-ра техн. наук : 05.08.05. URL: <http://docplayer.ru/44925881-Ravin-aleksandr-aleksandrovich-diagnosticheskoe-obespechenie-sudovogo-energeticheskogo-oborudovaniya-problemy-i-resheniya.html> (дата звернення: 30.11.2018).

86. Разработка метода оценки и прогнозирования технического состояния суденых сложных систем / В. В. Вычужанин та ін. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. №6/9 (84). URL:

<http://journals.uran.ua/eejet/article/download/85605/87615> (дата звернення: 09.12.2018).

87. Розвиток річкового транспорту у контексті реалізації євроінтеграційних планів України URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1763/> (дата звернення 12.12.2018).

88. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. 320 с.

89. Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. Навігаційне забезпечення управління рухом суден (навчальний посібник). Вид.1-е.–К.:ДВВП «Компас», 2012 . 336 с.

90. Седова Н. А., Седова Н. А. Теоретические аспекты нейросетевого управления курсом судна. Транспортное дело России. Москва: Морские вести России, 2006. Спецвыпуск № 7.С. 54– 57.

91. Сетлак Г. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений. Киев: Логос, 2004. 251 с.

92. Богом'я В.І., Єлезаров О.П., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимощук О.М. за заг. ред О.М. Тимощук. Основи технічної експлуатації автоматизованої системи управління судном: підручник. Київ, 2018. 305 с.

93. Собакар' А. О. Забезпечення безпеки судноплавства на морському та річковому транспорті засобами державного контролю. Часопис Академії адвокатури України. 2011. №12 (3). С. 1-6.

94. Структурное моделирование та символічні перетворення для управління рухом транспортних засобів/ Баранов Г. Л. та ін. Київ, 2014. 310 с.

95. Толстых Т. Н., Толстых С. С. Структурный анализ в региональной экономике. Воронеж: Истоки, 1998. 68 с.

96. Транспортные услуги URL : <http://www.ukr-konteiner.com.ua/ru/catalog/27/>


97. Управління технічною експлуатацією флоту : конспект лекцій. URL: http://www.kma.ks.ua/ua/images/2_library/methodical/sud_energ/department/avtomatyka/utef/u1.pdf (дата звернення: 09.12.2018).

98. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. Москва: Вильямс, 2006. 1104 с.
99. Шапиро Д. И. Принятие решений в системах организационного управления. Использование расплывчатых категорий. Москва: Энергоатомиздат, 1983. 185 с.
100. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. Москва: Горячая линия: Телеком, 2007. 228 с.
101. Щодо стратегічних пріоритетів реалізації потенціалу України як морської держави. URL: <http://od.niss.gov.ua/articles/490/> (дата звернення 12.12.2018).
102. Ярушкина Н. Г. Нечеткие нейронные сети. Новости искусственного интеллекта. 2001. № 3. С. 47-51.
103. Bootstrap. URL: <http://twbs.docs.org.ua/> (дата звернення 08.01.2019)
104. Buckley J.J., Hayashi Y. Fuzzy neural networks: a survey Fuzzy Sets and Systems. 1994. Vol. 66. P.p. 1-13.
105. De Marco T. Structured Analysis and System Specification N.Y.: Yourdon Press, 1988. 236p.
106. Fuzzy Expert System Tools / M. Schneider, A. Kandel, G. Langholz, G. Chew.- John Willey & Sons, 1996. 198 p.
107. Fuzzy Expert System Tools / M. Schneider, A. Kandel, G. Langholz, G. Chew.- John Willey & Sons, 1996. 198 p.
108. Goldberg D.E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison Wesley, 1989. 196 p.
109. Holland J.H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. London: Bradford book edition, 1994. 211 p.
110. Hollstein R.B. Artificial genetic adaptation in computer control systems. PhD Thesis: University of Michigan, 1971. 213 p.
111. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System / IEEE Trans. Systems & Cybernetics. 1993. Vol. 23. P. 665–685.

112. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system / The Archives of Transport. 2005. No 3-4, Vol. XVII. P. 133 –147.
113. Recommendation of the European Parliament and of the Council of 23 April 2008 on the establishment of the European Qualifications Framework for lifelong learning. Text with EEA relevance. 2008. C 111/01.
114. Reform in the inland water transport: China's experience URL: <https://www.unescap.org/our-work/transport> (дата звернення 12.12.2018).
115. Sustainable development of inland waterway transport in China (2009). Theme I of a World Bank Project: Comprehensive Transport System Analysis in China URL: <http://siteresources.worldbank.org/EXTPRAL/Resources/china.pdf> (дата звернення 12.12.2018).
116. Takagi T., Sugeno M Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics. 1985. Vol. 15. P. 116–132.
117. The work plans of the 11 European Coordinators for the TENT have been finalised, establishing the basis for action until 2030. / Carlo Secchi, Karla Peijs, Laurens Jan Brinkhorst and others. Brussel, Belgium: European Commission, Directorate General for Mobility and Transport, May 2015 URL: http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/news/20150528_coordinatorworkplans_en.htm (дата звернення 12.12.2018).
118. Von Altrock C. Fuzzy Logic & Neuro-Fuzzy Applications Explained / New Jersey: Prentice Hall PTR. 1995. 350 p.
119. Zadeh L.A. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. Computer and Mathematics. 1983. Т № 9, p. 149-184.

Додаток А

Акти впровадження результатів




МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО ВОДНИХ ШЛЯХІВ
«УКРВОДШЛЯХ»

04070, м. Київ-70, вул. Петра Сагайдачного, 12; адреса для листування: 04071, м. Київ-71, вул. Електриків, 14
 Код ЄДРПОУ 03150102, р/р №2600830028067 у Філії ГУ по м. Києву та Київській області АТ «Ошадбанк» МФО 322669
 тел. (044) 337-45-13; факс: (044) 428-88-46; e-mail: office@ukrvodshliah.org.ua

19. лютого 2019 р. № 05-18/27

ЗАТВЕРДЖУЮ
 В. о. начальника ДП «Укрводшлях»
 Д. О. Шершньов
 _____ 2019 р.



Акт впровадження матеріалів дисертаційних досліджень Коломієць О. М.

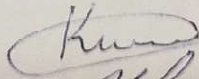

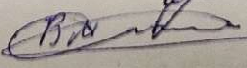
Комісія у складі: голови – начальника служби Камар'янця Р. Р. та членів: провідного інженера Чернокапської С. М., методиста Польчука В. П. встановила, що матеріали наукових досліджень автора, а саме:


тенденції розвитку, удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації, у тому числі запропоновану удосконалену модель автоматизованого контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка базується на методі Рунге-Кутта, чисельного рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова та апріорної інформації про інтенсивності переходів зі стану в стан

використовуються при навчанні судноводіїв у Центрі підготовки фахівців морського та річкового транспорту "Укрводшлях – Training".

Використання матеріалів дослідження дозволяє проводити аналіз різноманітних умов експлуатації суднового обладнання, що у свою чергу дозволяє використовувати її у якості складової технології автоматизації процесу контролю технічного стану судна.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії:  Р. Р. Камар'янець
 Члени комісії:  С. М. Чернокапська
 В. П. Польчук



СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКОСТЮ
 СЕРТИФІКОВАНА НА
 ВІДПОВІДНІСТЬ ДСТУ ISO 9001-2009
 Регістром судногосподарства України

ЗАТВЕРДЖУЮ

ректор інституту підготовки фахівців
НОС ДП «УкрНДНЦ»

Заслужений винахідник України,

д-т.н., професор

В.І. Богом'я



19 червня 2017 року

АКТ № 44/a

впровадження результатів дисертаційних досліджень Коломієць О.М.

Комісія у складі: голови – завідувача кафедри метрології Чубенка В.Ю. та членів: завідувача кафедри оцінки відповідності Кириченко В.О., помічника ректора Базаренко Г.П. встановила, що результати наукових досліджень автора, а саме:

надані автором науково-технічні рекомендації щодо підвищення якості експлуатації засобів водного транспорту, у тому числі особливості дослідження методів експлуатації систем навігації в різних середовищах, засобів навігаційного обслуговування й управління рухом засобів водного транспорту, підвищення їхньої точності, цілісності, надійності й експлуатаційної готовності;

наведені автором особливості розроблення методів комплексної обробки інформації та способів їх застосування в системах спостереження, розпізнавання об'єктів, навігації й управління рухом засобів водного транспорту;

наведені автором особливості розроблення методів і засобів дистанційного виявлення та розпізнавання небезпечних об'єктів на траєкторії руху або в зоні відповідальності, дослідження зв'язків інформаційних параметрів активного та пасивного дистанційного зондування середовища з характеристиками об'єктів та безпекою об'єктів і траєкторій руху засобів водного транспорту

використовувались при створенні курсу лекцій з дисциплін «Сертифікація систем управління якістю», «Метрологічне забезпечення вимірювання механічних величин, геометричних величин», а також при підготовці кандидатів в аудитори з сертифікації продукції машинобудування.

Також, результати дисертаційних досліджень Коломієць О.М. впроваджені у науково-дослідної роботі, що проводилася у ДП «УкрНДНЦ» за темою: «Науково-методичне та науково-технічне забезпечення організації робіт із національної стандартизації» (Програма-1) за 2016 рік (державний реєстраційний номер № РК 0116U006800).

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова:

В.Ю. Чубенко

Члени:

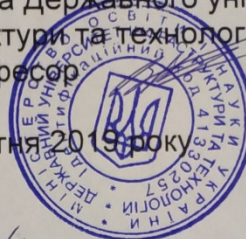
В.О. Кириченко

Г.П. Базаренко

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. ректора Державного університету
інфраструктури та технологій
д.т.н., професор **В.В. ПАНІН**

«21» жовтня 2019 року



АКТ № 2/А

впровадження результатів дисертаційних досліджень
Коломієць О.М.

Комісія у складі: голови – завідувача кафедри експлуатації засобів транспорту на внутрішніх водних шляхах Войченко Т.О. та членів: Богом'я В.І., Ганношиної І.М., встановила, що результати наукових досліджень автора, а саме:

удосконалена модель автоматизованого контролю технічного стану засобів водного транспорту. Використання програмної реалізації моделі значно покращує показники оперативності за рахунок ергономічності інтерфейсу та зменшення кількості операцій;

удосконалений метод автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту на основі інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів. Застосування методу дозволяє забезпечити компенсацію похибок вимірювань із допустимим індексом розбіжності 0,9-5%;

використовувались в навчальному процесі при підготовці з освітніх програм бакалаврів і магістрів «Управління судновими технічними системами і комплексами», «Експлуатація суднових енергетичних установок» та «Судноводіння» спеціальності 271 «Річковий та морський транспорт» при створенні курсу лекцій з дисциплін «Технічні засоби судноводіння» та «Експлуатація засобів водного транспорту».

Також, результати дисертаційних досліджень Коломієць О.М. впроваджені у науково-дослідній роботі: «Розробка комплексного показника якості пасажирських круїзних суден змішаного плавання в системі безпересадкових круїзних перевезень між портами Дніпра, Чорного моря та Дунаю» (номер держреєстрації 0116U03946), яка виконувалася у Київській державній академії водного транспорту, в якій автор приймала участь як виконавець.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова:

Т.О. Войченко

Члени:

В.І. Богом'я

І.М. Ганношина

Додаток Б

Код програми

Form1.cs

```
using Microsoft.Research.Oslo;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Drawing.Drawing2D;
using System.Globalization;
using System.Linq;
using System.Linq.Expressions;
using System.Reflection;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace Diplom
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public static Graph graph;
        Point? cursorCoordinates;
        Node selectedNode;
        bool drawLineMode;
        bool mousePressed;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            this.DoubleBuffered = true;
            graph = new Graph();
            drawLineMode = false;
            mousePressed = false;
            this.MouseDown += delegate (object sender, MouseEventArgs e)
            {
                mousePressed = true;
            };
            this.MouseUp += delegate (object sender, MouseEventArgs e)
            {
                mousePressed = false;
            };
        }
    }
}
```

```

};
CultureInfo cultureInfo = new CultureInfo("en-US");
cultureInfo.NumberFormat.NumberDecimalSeparator = ".";
CultureInfo.DefaultThreadCurrentCulture = cultureInfo;
}
Rectangle rec = new Rectangle(0, 0, 0, 0);
private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e)
{
    using (Pen arrowPen = new Pen(Brushes.Green, 4f))
    {
        arrowPen.EndCap = LineCap.ArrowAnchor;
        foreach (var node in graph.Nodes)
        {
            using (Pen ellipsePen = new Pen(Color.Red, 3))
            {
                e.Graphics.DrawEllipse(ellipsePen, node.Coordinates.X -
node.Size.Width / 2, node.Coordinates.Y - node.Size.Height / 2, node.Size.Width,
node.Size.Height);
            }
            SizeF size = e.Graphics.MeasureString(node.Number.ToString(),
this.Font);
            e.Graphics.DrawString(node.Number.ToString(), this.Font,
Brushes.Black, node.Coordinates.X - size.Width / 2, node.Coordinates.Y - size.Height / 2);

            foreach (var link in node.OutcomeLinks)
            {
                var dx = link.From.Coordinates.X - link.To.Coordinates.X;
                var dy = link.From.Coordinates.Y - link.To.Coordinates.Y;
                var len = Math.Sqrt(Math.Pow(dx,2) + Math.Pow(dy,2));

                var X1 = link.From.Coordinates.X - ((node.Size.Width / 2) *
(dx / len));
                var Y1 = link.From.Coordinates.Y - ((node.Size.Height / 2) *
(dy / len));
                var X2 = link.To.Coordinates.X + ((node.Size.Width / 2) * (dx
/ len));
                var Y2 = link.To.Coordinates.Y + ((node.Size.Height / 2) *
(dy / len));

                var middlePoint = new Point((link.From.Coordinates.X +
link.To.Coordinates.X) / 2, (link.From.Coordinates.Y + link.To.Coordinates.Y) / 2);
                var startPoint = new Point((int)(X1), (int)(Y1));

```

```

var endPoint = new Point((int)(X2), (int)(Y2));

var offset = 20;
double degreeOffset = 30;

if (GetPointPositionOnVector(startPoint, endPoint, new
Point(middlePoint.X + offset, middlePoint.Y + offset)) == PointPosition.LeftToVector)
{
    middlePoint = new Point(middlePoint.X + offset,
middlePoint.Y + offset);

    double cosOffset = Math.Cos(degreeOffset * (Math.PI /
180.0));

    double sinOffset = Math.Sin(degreeOffset * (Math.PI /
180.0));

    X1 = link.From.Coordinates.X - ((node.Size.Width / 2) *
((dx / len) * cosOffset - (dy / len) * sinOffset));
    Y1 = link.From.Coordinates.Y - ((node.Size.Height / 2) *
((dy / len) * cosOffset + (dx / len) * sinOffset));

    cosOffset = Math.Cos(-degreeOffset * (Math.PI / 180.0));
    sinOffset = Math.Sin(-degreeOffset * (Math.PI / 180.0));
    X2 = link.To.Coordinates.X + ((node.Size.Width / 2) *
((dx / len) * cosOffset - (dy / len) * sinOffset));
    Y2 = link.To.Coordinates.Y + ((node.Size.Height / 2) *
((dy / len) * cosOffset + (dx / len) * sinOffset));
    startPoint = new Point((int)(X1), (int)(Y1));
    endPoint = new Point((int)(X2), (int)(Y2));
}
else
{
    middlePoint = new Point(middlePoint.X - offset,
middlePoint.Y - offset);

    double cosOffset = Math.Cos(degreeOffset * (Math.PI /
180.0));

    double sinOffset = Math.Sin(degreeOffset * (Math.PI /
180.0));

    X1 = link.From.Coordinates.X - ((node.Size.Width / 2) *
((dx / len) * cosOffset - (dy / len) * sinOffset));
    Y1 = link.From.Coordinates.Y - ((node.Size.Height / 2) *
((dy / len) * cosOffset + (dx / len) * sinOffset));

    cosOffset = Math.Cos(-degreeOffset * (Math.PI / 180.0));

```

```

        sinOffset = Math.Sin(-degreeOffset * (Math.PI / 180.0));
        X2 = link.To.Coordinates.X + ((node.Size.Width / 2) *
((dx / len) * cosOffset - (dy / len) * sinOffset));
        Y2 = link.To.Coordinates.Y + ((node.Size.Height / 2) *
((dy / len) * cosOffset + (dx / len) * sinOffset));
        startPoint = new Point((int)(X1), (int)(Y1));
        endPoint = new Point((int)(X2), (int)(Y2));
    }
    e.Graphics.DrawCurve(arrowPen, new[] { startPoint,
middlePoint, endPoint });

    if (link.numTextBox != null)
    {
        link.numTextBox.Location = middlePoint;
    }
}
if (drawLineMode)
{
    var dx = selectedNode.Coordinates.X - cursorCoordinates.Value.X;
    var dy = selectedNode.Coordinates.Y - cursorCoordinates.Value.Y;
    var len = Math.Sqrt(Math.Pow(dx, 2) + Math.Pow(dy, 2));

    if(len == 0)
    {
        return;
    }

    var X1 = selectedNode.Coordinates.X - ((selectedNode.Size.Width /
2) * (dx / len));
    var Y1 = selectedNode.Coordinates.Y - ((selectedNode.Size.Height
/ 2) * (dy / len));

    e.Graphics.DrawLine(arrowPen, new Point((int)(X1), (int)(Y1)),
cursorCoordinates.Value);
}
}
}
private void Form1_MouseDown(object sender, MouseEventArgs e)
{
    var node = graph.GetNode(e.Location);
    if (!drawLineMode)
    {
        if (e.Button == MouseButtons.Left && node == null)

```

```

    {
        graph.AddNode(e.Location);
        Invalidate();
    }
    else if (e.Button == MouseButton.Left && node != null)
    {
        EnableDrawLineMode(node);
    }
    else if (e.Button == MouseButton.Right && node != null)
    {
        graph.RemoveNode(node);
        Invalidate();
    }
}
else
{
    if (e.Button == MouseButton.Right)
    {
        DisableDrawLineMode();
        Invalidate();
    }
    else if (e.Button == MouseButton.Left && node != null && node !=
selectedNode)
    {
        var link = graph.AddLink(selectedNode, node);
        NumberTextBox txtBox = new NumberTextBox(0, 1, link);
        txtBox.Location = new Point((selectedNode.Coordinates.X +
node.Coordinates.X)/2, (selectedNode.Coordinates.Y + node.Coordinates.Y) / 2);
        this.Controls.Add(txtBox);
        link.numTextBox = txtBox;
        DisableDrawLineMode();
        Invalidate();
    }
}
}
private void Form1_MouseMove(object sender, MouseEventArgs e)
{
    var node = graph.GetNode(e.Location);
    if(mousePressed)
    {
        DisableDrawLineMode();
    }
    if (!drawLineMode && mousePressed)

```

```

    {
        if (e.Button == MouseButton.Left && node != null)
        {
            node.Coordinates = e.Location;
            Invalidate();
        }
    }
    else if(drawLineMode && !mousePressed)
    {
        cursorCoordinates = e.Location;
        Invalidate();
    }
}

public void EnableDrawLineMode(Node node)
{
    selectedNode = node;
    drawLineMode = true;
}
public void DisableDrawLineMode()
{
    selectedNode = null;
    cursorCoordinates = null;
    drawLineMode = false;
}

private void SolveBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if(graph.Nodes.Count < 1)
    {
        MessageBox.Show("Нет состояний");
        return;
    }
    SolvePrompt form = new SolvePrompt();
    form.Show();
}

private PointPosition GetPointPostionOnVector(Point from, Point to, Point
point)
{
    var res = ((to.X - from.X) * (point.Y - from.Y) - (to.Y - from.Y) *
(point.X - from.X));
    if (res > 0)

```

```

    {
        return PointPosition.LeftToVector;
    }
    else if (res < 0)
    {
        return PointPosition.RightToVector;
    }
    else
    {
        return PointPosition.OnVector;
    }
}
private enum PointPosition
{
    OnVector,
    LeftToVector,
    RightToVector
}
}
}

```

Form1.Designer.cs

```

namespace Diplom
{
    partial class Form1
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;

        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should be disposed;
otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)
        {
            if (disposing && (components != null))
            {
                components.Dispose();
            }
            base.Dispose(disposing);
        }
    }
}

```

```

}

#region Windows Form Designer generated code

/// <summary>
/// Required method for Designer support - do not modify
/// the contents of this method with the code editor.
/// </summary>
private void InitializeComponent()
{
    this.SolveBtn = new System.Windows.Forms.Button();
    this.SuspendLayout();
    //
    // SolveBtn
    //
    this.SolveBtn.Anchor =
((System.Windows.Forms.AnchorStyles)((System.Windows.Forms.AnchorStyles.Top |
System.Windows.Forms.AnchorStyles.Right)));
    this.SolveBtn.Location = new System.Drawing.Point(939, 35);
    this.SolveBtn.Name = "SolveBtn";
    this.SolveBtn.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
    this.SolveBtn.TabIndex = 0;
    this.SolveBtn.Text = "Решить";
    this.SolveBtn.UseVisualStyleBackColor = true;
    this.SolveBtn.Click += new System.EventHandler(this.SolveBtn_Click);
    //
    // Form1
    //
    this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(8F, 16F);
    this.AutoScaleMode = System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
    this.ClientSize = new System.Drawing.Size(1050, 498);
    this.Controls.Add(this.SolveBtn);
    this.Name = "Form1";
    this.Text = "Form1";
    this.Paint += new
System.Windows.Forms.PaintEventHandler(this.Form1_Paint);
    this.MouseDown += new
System.Windows.Forms.MouseEventHandler(this.Form1_MouseDown);
    this.MouseMove += new
System.Windows.Forms.MouseEventHandler(this.Form1_MouseMove);
    this.ResumeLayout(false);
}

```

```

        #endregion

        private System.Windows.Forms.Button SolveBtn;
    }
}

```

Graph.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace Diplom
{
    public class Graph
    {
        public readonly List<Node> Nodes;
        public Graph()
        {
            Nodes = new List<Node>();
        }
        public void AddNode(Point coordinates)
        {
            Nodes.Add(new Node(Nodes.Select(x => x.Number).DefaultIfEmpty().Max() +
1, coordinates));
        }
        public void RemoveNode(Node node)
        {
            Nodes.Remove(node);
            foreach(var item in Nodes)
            {
                item.OutcomeLinks = item.OutcomeLinks.RemoveWhere(y => y.To ==
node).ToList();
            }
            foreach (var i in Nodes)
            {
                i.IncomeLinks = i.IncomeLinks.RemoveWhere(y => y.From ==
node).ToList();
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    public Node GetNode(Point coordinates)
    {
        return Nodes.FirstOrDefault(x => x.Coordinates.X + x.Size.Width/2 >
coordinates.X - x.Size.Width / 2 &&
x.Coordinates.X - x.Size.Width/2 <
coordinates.X + x.Size.Width / 2 &&
x.Coordinates.Y + x.Size.Height/2 >
coordinates.Y - x.Size.Height / 2 &&
x.Coordinates.Y - x.Size.Height/2 <
coordinates.Y + x.Size.Height / 2);
    }
    public bool Intersects(Node node)
    {
        var space = Properties.Settings.Default.NodeSpace/2;
        return Nodes.Any(x => x.Coordinates.X + x.Size.Width/2 + space >
node.Coordinates.X - x.Size.Width / 2 - space&&
x.Coordinates.X - x.Size.Width/2 - space <
node.Coordinates.X + x.Size.Width / 2 + space &&
x.Coordinates.Y + x.Size.Height/2 + space >
node.Coordinates.Y - x.Size.Height / 2 -space &&
x.Coordinates.Y - x.Size.Height/2 - space <
node.Coordinates.Y + x.Size.Height / 2 +space &&
x != node);
    }
    public Link AddLink(Node from, Node to)
    {
        var link = new Link(from, to);
        from.AddOutcomelink(link);
        to.AddIncomeLink(link);
        return link;
    }
}
}

```

Link.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace Diplom

```

```

{
    public class Link
    {
        public readonly Node From;
        public readonly Node To;
        public double Weight;
        public NumberTextBox numTextBox;
        public Link(Node from, Node to, double weight = 0)
        {
            From = from;
            To = to;
            Weight = weight;
        }
    }

    public static class Extensions
    {
        public static IEnumerable<Link> RemoveWhere (this IEnumerable<Link>
collection, Predicate<Link> predicate)
        {
            var copy = collection.ToList();
            foreach (var item in collection)
            {
                if (predicate(item))
                {
                    copy.Remove(item);
                    item.numTextBox.Dispose();
                }
            }
            return copy.AsEnumerable();
        }
    }
}

```

Node.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace Diplom

```

```
{  
    public class Node  
    {  
        public readonly int Number;  
        public List<Link> IncomeLinks;  
        public List<Link> OutcomeLinks;  
        private Rectangle Rectangle;  
        public Point Coordinates  
        {  
            get  
            {  
                return Rectangle.Location;  
            }  
            set  
            {  
                Rectangle.Location = value;  
            }  
        }  
        public Size Size  
        {  
            get  
            {  
                return Rectangle.Size;  
            }  
            set  
            {  
                Rectangle.Size = value;  
            }  
        }  
        public Node(int number, Point coordinates)  
        {  
            Number = number;  
            Rectangle = new Rectangle(coordinates, new Size()  
            {  
                Width = Properties.Settings.Default.NodeSize,  
                Height = Properties.Settings.Default.NodeSize  
            });  
            IncomeLinks = new List<Link>();  
            OutcomeLinks = new List<Link>();  
        }  
  
        public void AddIncomeLink(Link link)  
        {
```

```

        if (!IncomeLinks.Any(x => x.From == link.From))
        {
            IncomeLinks.Add(link);
        }
    }
    public void AddOutcomeLink(Link link)
    {
        if (!OutcomeLinks.Any(x => x.To == link.To))
        {
            OutcomeLinks.Add(link);
        }
    }
}
}

```

NumberTextBox.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace Diplom
{
    public class NumberTextBox : System.Windows.Forms.TextBox
    {
        private string mPrevious;
        private double mMin;
        private double mMax;
        private Link link;
        public NumberTextBox(Link link) : this(0, Double.MaxValue, link) { }
        public NumberTextBox(double min, double max, Link link)
            : base()
        {
            if ((min > max) || min < 0 || max < 0)
            {
                throw new Exception("Minimum and maximum values are not supported");
            }
            mMin = min;
            mMax = max;
        }
    }
}

```

```

        this.link = link;
        this.Size = new Size(30,10);
        this.Text = min.ToString();
    }

    protected override void OnKeyPress(KeyPressEventArgs e)
    {
        mPrevious = this.Text;
        e.Handled = !char.IsDigit(e.KeyChar) && !char.IsControl(e.KeyChar) &&
e.KeyChar != '.' && e.KeyChar != ',';
    }

    protected override void OnTextChanged(EventArgs e)
    {
        if (this.Text == string.Empty)
        {
            return;
        }
        var text = this.Text.Replace(',', '.');
        double num;
        if (Double.TryParse(text, out num))
        {
            if (num > mMax)
            {
                this.Text = mPrevious;
                this.Select(this.Text.Length, 0);
            }
            else
            {
                link.Weight = num;
            }
        }
        else
        {
            this.Text = mPrevious;
            this.Select(this.Text.Length, 0);
        }
    }

    protected override void OnLeave(EventArgs e)
    {
        double num;
        var text = this.Text.Replace(',', '.');
    }

```

```

        if (!Double.TryParse(text, out num) || num < mMin || num > mMax)
        {
            this.Text = mPrevious;
            // To move the cursor at last
            this.Select(this.Text.Length, 0);
        }
    }
}
}

```

Program.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace Diplom
{
    static class Program
    {
        /// <summary>
        /// The main entry point for the application.
        /// </summary>
        [STAThread]
        static void Main()
        {
            Application.EnableVisualStyles();
            Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
            Application.Run(new Form1());
        }
    }
}

```

SolvePrompt.cs

```

using Microsoft.Research.Oslo;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Linq.Expressions;

```

```

using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using Microsoft.Research.Science.Data;
using Microsoft.Research.Science.Data.Imperative;
using ZedGraph;

namespace Diplom
{
    public partial class SolvePrompt : Form
    {
        ZedGraphControl zgc;
        public SolvePrompt()
        {
            InitializeComponent();
            numericUpDown.Maximum = Form1.graph.Nodes.Select(x => x.Number).Max();
            numericUpDown.Minimum = Form1.graph.Nodes.Select(x => x.Number).Min();
            numericUpDown.Value = numericUpDown.Minimum;
            zgc = new ZedGraphControl();
            zgc.Location = new Point(10, 10);

            zgc.Size = new Size((int)(this.ClientRectangle.Width * 0.9 - 300),
(int)(this.ClientRectangle.Height * 0.9 - 100));
            zgc.EditButtons = System.Windows.Forms.MouseButtons.Left;
            zgc.EditModifierKeys =
((System.Windows.Forms.Keys)((System.Windows.Forms.Keys.Alt |
System.Windows.Forms.Keys.None)));
            zgc.IsAutoScrollRange = false;
            zgc.IsEnableHEdit = false;
            zgc.IsEnableHPan = true;
            zgc.IsEnableHZoom = true;
            zgc.IsEnableVEdit = false;
            zgc.IsEnableVPan = true;
            zgc.IsEnableVZoom = true;
            zgc.IsPrintFillPage = true;
            zgc.IsPrintKeepAspectRatio = true;
            zgc.IsScrollY2 = false;
            zgc.IsShowContextMenu = true;
            zgc.IsShowCopyMessage = true;
            zgc.IsShowCursorValues = false;
            zgc.IsShowHScrollBar = false;
            zgc.IsShowPointValues = false;
            zgc.IsShowVScrollBar = false;

```

```

zgc.IsSynchronizeXAxes = false;
zgc.IsSynchronizeYAxes = false;
zgc.IsZoomOnMouseCenter = false;
zgc.LinkButtons = System.Windows.Forms.MouseButtons.Left;
zgc.LinkModifierKeys =
((System.Windows.Forms.Keys)((System.Windows.Forms.Keys.Alt |
System.Windows.Forms.Keys.None)));
zgc.Name = "zg1";
zgc.PanButtons = System.Windows.Forms.MouseButtons.Left;
zgc.PanButtons2 = System.Windows.Forms.MouseButtons.Middle;
zgc.PanModifierKeys =
((System.Windows.Forms.Keys)((System.Windows.Forms.Keys.Shift |
System.Windows.Forms.Keys.None)));
zgc.PanModifierKeys2 = System.Windows.Forms.Keys.None;
zgc.PointDateFormat = "g";
zgc.PointValueFormat = "G";
zgc.ScrollMaxX = 0;
zgc.ScrollMaxY = 0;
zgc.ScrollMaxY2 = 0;
zgc.ScrollMinX = 0;
zgc.ScrollMinY = 0;
zgc.ScrollMinY2 = 0;
zgc.TabIndex = 0;
zgc.ZoomButtons = System.Windows.Forms.MouseButtons.Left;
zgc.ZoomButtons2 = System.Windows.Forms.MouseButtons.None;
zgc.ZoomModifierKeys = System.Windows.Forms.Keys.None;
zgc.ZoomModifierKeys2 = System.Windows.Forms.Keys.None;
zgc.ZoomStepFraction = 0.1;

this.Controls.Add(this.zgc);

}

private Func<Vector, double> CreateLambda(List<Node> lst, Node item)
{
    var parameter = Expression.Parameter(typeof(Vector));
    Expression sum = Expression.Constant(0.0);

    for (int i = 0; i < item.IncomeLinks.Count; i++)
    {
        var index = lst.IndexOf(item.IncomeLinks[i].From);

```

```

        var mult =
Expression.Multiply(Expression.Constant(item.IncomeLinks[i].Weight),
Expression.Property(parameter, "Indexer", Expression.Constant(index)));
        sum = Expression.Add(sum, mult);
    }
    for (int i = 0; i < item.OutcomeLinks.Count; i++)
    {
        var index = lst.IndexOf(item);
        var mult =
Expression.Multiply(Expression.Constant(item.OutcomeLinks[i].Weight),
Expression.Property(parameter, "Indexer", Expression.Constant(index)));
        sum = Expression.Subtract(sum, mult);
    }
    Expression body = sum;

    var exp = Expression.Lambda<Func<Vector, double>>(body, parameter);
    return exp.Compile();
}

private void SolveBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    var startState = Form1.graph.Nodes.FirstOrDefault(x => x.Number ==
numericUpDown.Value);
    if (startState == null)
    {
        MessageBox.Show("Данного начального состояния не существует");
        return;
    }

    var x0 = new double[Form1.graph.Nodes.Count];
    x0[Form1.graph.Nodes.IndexOf(startState)] = 1;

    List<Func<Vector, double>> ODEsSystem = new List<Func<Vector, double>>();
    foreach (var node in Form1.graph.Nodes)
    {
        ODEsSystem.Add(CreateLambda(Form1.graph.Nodes, node));
    }
    var sol = Ode.RK547M(
        0,
        new Vector(x0),
        (t, x) => new Vector(ODEsSystem.Select(z =>
z(x)).ToArray()));

```

```

var points = sol.SolveFromToStep(0, (int)StepNumber.Value, 1).ToArray();

zgc.GraphPane.CurveList.Clear();
GraphPane myPane = zgc.GraphPane;

myPane.XAxis.Title.Text = "Время";
myPane.YAxis.Title.Text = "Вероятность";
myPane.Title.Text = "График зависимости вероятности от времени";
// Make up some data points from the Sine function
List<PointPairList> list = new
List<PointPairList>(Form1.graph.Nodes.Count);
for (var i = 0; i < Form1.graph.Nodes.Count; i++)
{
    list.Add(new PointPairList());
    foreach (var sp in points)
    {
        list[i].Add(sp.T, sp.X[i]);
    }
}

for (var i = 0; i < Form1.graph.Nodes.Count; i++)
{
    // Generate a blue curve with circle symbols, and "My Curve 2" in the
legend
    LineItem myCurve = myPane.AddCurve((i+1).ToString(), list[i],
CreateRandomColor(),
        SymbolType.None);
    // Fill the area under the curve with a white-red gradient at 45
degrees

    // Make the symbols opaque by filling them with white
    myCurve.Symbol.Fill = new Fill(CreateRandomColor());
}
// Fill the axis background with a color gradient
myPane.Chart.Fill = new Fill(Color.White, Color.LightGoldenrodYellow,
45F);

// Calculate the Axis Scale Ranges
zgc.AxisChange();

```

```

        this.Refresh();

    }

    Random randomGen = new Random();

    private Color CreateRandomColor()
    {
        Color randomColor = Color.FromArgb(randomGen.Next(255),
randomGen.Next(255), randomGen.Next(255));

        return randomColor;
    }

    private void SolvePrompt_ResizeEnd(object sender, EventArgs e)
    {
        zgc.Size = new Size((int)(this.ClientRectangle.Width * 0.9 - 300),
(int)(this.ClientRectangle.Height * 0.9 - 100));
    }
}
}

```

SolvePrompt.Designer.cs

```

namespace Diplom
{
    partial class SolvePrompt
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;

        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should be disposed;
otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)
        {
            if (disposing && (components != null))
            {
                components.Dispose();
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    base.Dispose(disposing);
}

#region Windows Form Designer generated code

/// <summary>
/// Required method for Designer support - do not modify
/// the contents of this method with the code editor.
/// </summary>
private void InitializeComponent()
{
    this.StartStateLbl = new System.Windows.Forms.Label();
    this.numericUpDown = new System.Windows.Forms.NumericUpDown();
    this.SolveBtn = new System.Windows.Forms.Button();
    this.StepNumberLbl = new System.Windows.Forms.Label();
    this.StepNumber = new System.Windows.Forms.NumericUpDown();

    ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.numericUpDown)).BeginInit();

    ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.StepNumber)).BeginInit();
    this.SuspendLayout();
    //
    // StartStateLbl
    //
    this.StartStateLbl.Anchor =
    ((System.Windows.Forms.AnchorStyles)((System.Windows.Forms.AnchorStyles.Top |
    System.Windows.Forms.AnchorStyles.Right)));
    this.StartStateLbl.AutoSize = true;
    this.StartStateLbl.Location = new System.Drawing.Point(510, 38);
    this.StartStateLbl.Name = "StartStateLbl";
    this.StartStateLbl.Size = new System.Drawing.Size(154, 17);
    this.StartStateLbl.TabIndex = 0;
    this.StartStateLbl.Text = "Начальное состояние";
    //
    // numericUpDown
    //
    this.numericUpDown.Anchor =
    ((System.Windows.Forms.AnchorStyles)((System.Windows.Forms.AnchorStyles.Top |
    System.Windows.Forms.AnchorStyles.Right)));
    this.numericUpDown.Location = new System.Drawing.Point(670, 38);
    this.numericUpDown.Name = "numericUpDown";
    this.numericUpDown.Size = new System.Drawing.Size(120, 22);

```

```

        this.numericUpDown.TabIndex = 1;
        //
        // SolveBtn
        //
        this.SolveBtn.Anchor =
((System.Windows.Forms.AnchorStyles)((System.Windows.Forms.AnchorStyles.Top |
System.Windows.Forms.AnchorStyles.Right)));
        this.SolveBtn.Location = new System.Drawing.Point(670, 126);
        this.SolveBtn.Name = "SolveBtn";
        this.SolveBtn.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
        this.SolveBtn.TabIndex = 2;
        this.SolveBtn.Text = "Решить";
        this.SolveBtn.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.SolveBtn.Click += new System.EventHandler(this.SolveBtn_Click);
        //
        // StepNumberLbl
        //
        this.StepNumberLbl.Anchor =
((System.Windows.Forms.AnchorStyles)((System.Windows.Forms.AnchorStyles.Top |
System.Windows.Forms.AnchorStyles.Right)));
        this.StepNumberLbl.AutoSize = true;
        this.StepNumberLbl.Location = new System.Drawing.Point(510, 71);
        this.StepNumberLbl.Name = "StepNumberLbl";
        this.StepNumberLbl.Size = new System.Drawing.Size(129, 17);
        this.StepNumberLbl.TabIndex = 4;
        this.StepNumberLbl.Text = "Количество шагов";
        //
        // StepNumber
        //
        this.StepNumber.Anchor =
((System.Windows.Forms.AnchorStyles)((System.Windows.Forms.AnchorStyles.Top |
System.Windows.Forms.AnchorStyles.Right)));
        this.StepNumber.Location = new System.Drawing.Point(670, 71);
        this.StepNumber.Minimum = new decimal(new int[] {
1,
0,
0,
0});
        this.StepNumber.Name = "StepNumber";
        this.StepNumber.Size = new System.Drawing.Size(120, 22);
        this.StepNumber.TabIndex = 5;
        this.StepNumber.Value = new decimal(new int[] {
1,

```

```

    0,
    0,
    0});
    //
    // SolvePrompt
    //
    this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(8F, 16F);
    this.AutoScaleMode = System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
    this.ClientSize = new System.Drawing.Size(800, 450);
    this.Controls.Add(this.StepNumber);
    this.Controls.Add(this.StepNumberLbl);
    this.Controls.Add(this.SolveBtn);
    this.Controls.Add(this.numericUpDown);
    this.Controls.Add(this.StartStateLbl);
    this.Name = "SolvePrompt";
    this.Text = "SolvePrompt";
    this.ResizeEnd += new System.EventHandler(this.SolvePrompt_ResizeEnd);

    ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.numericUpDown)).EndInit();
    ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.StepNumber)).EndInit();
    this.ResumeLayout(false);
    this.PerformLayout();

    #endregion

    private System.Windows.Forms.Label StartStateLbl;
    private System.Windows.Forms.NumericUpDown numericUpDown;
    private System.Windows.Forms.Button SolveBtn;
    private System.Windows.Forms.Label StepNumberLbl;
    private System.Windows.Forms.NumericUpDown StepNumber;
}
}

```

Додаток В

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Коломієць О. М., Кучерук Н. В. Оцінювання функціонала в автоматизованих системах водного транспорту. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2017. Вип. 1 (104). С. 20–23.
2. Коломієць О. М., Тимощук О. М., Данік О. В. Выбор показателей надежности с учетом интенсивности эксплуатации судна. *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy*. 2017. №2. С. 90–95.
3. Коломієць О. М., Данік О. В. Оцінювання впливу застосування інтелектуальної системи експлуатації судна на вирішення завдань безпеки. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2017. Вип. 2 (105). С. 75–78.
4. Коломієць О. М., Богом'я В. І. Методи підвищення ефективності процесу експлуатації судових комплексів. *Новітні технології*. 2017. Вип. 1(3). С. 42–48.
5. Коломієць О. М. Розроблення моделей автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту. *Наукоємні технології*. 2019. Вип. 2(41). С. 42–48.
6. Критерій оптимальності процесу технічного обслуговування судових комплексів/ Коломієць О. М., Тимощук О.М., Дакі О.А., Трофименко І.В. *Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України*. 2017. №4(29). С.132–136.
7. Коломієць О. М., Данік О. В., Дакі О. А., Горбань А. В. Верифікація технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю системи навігації та управління рухом. *Новітні технології*. 2018. Вип. 1(5). С. 29–42.
8. Коломієць О. М. Методи автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту. *Новітні технології*. 2019. Вип. 1(8). С. 30–42.

9. Коломієць О. М. Особливості автоматизації контролю технічного стану морського транспорту. *World Science*. Warsaw: RS Global Sp. z O.O. 2019. Вип. 3(43). С. 54–62.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

10. Коломієць О. М., Тимощук О. М., Данік О. В. Вибір критерію оптимальності системи відновлення судових комплексів. *Економіка та держава*. 2017. № 4. С. 102–104.

11. Разработка методов сжатия сообщений о воздушных объектах и управления дискретностью их выдачи от источников радиолокационной информации/ Коломієць О. М., Вороб'єв Е. С., Шевченко А. П., Мазур А. М. та ін. *Новітні технології*. 2018. Вип. 3(7). С. 217–230.

12. Коломієць О. М., Тимощук О. М., Дакі О. А. Обґрунтування застосування сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних приладів засобів водного транспорту. *Новітні технології*. 2018. Вип. 2(6). С. 39–45.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Коломієць О.М., Данік О.В., Дакі О.А. Верифікація технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю. Науково-технічна конференція «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу»: тези доповідей. Київ : ДЕА, 2018. С.59–60.

14. Коломієць О.М., Данік О.В. Методи аналізу системи навігації та управління рухом суден. III Міжнародна науково-практична конференція «Стандартизація, сертифікація, метрологія та менеджмент»: тези доповідей. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2017. С.16.

15. Коломієць О.М. Методи аналізу системи управління рухом суден. I Міжнародна науково-практична конференція «Водний транспорт»: тези доповідей. Київ : ДУІТ. 2019. С.16.