

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**КОНДРАШОВ КОСТЯНТИН ВІКТОРОВИЧ**

УДК: 681.518.5

**ДИСЕРТАЦІЯ  
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
АВАРІЙНО-ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СУДНА**

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

15 Автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

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

К.В. Кондрашов

Науковий керівник:

Рожков Сергій Олександрович

доктор технічних наук, професор

Херсон – 2021

## АНОТАЦІЯ

*Кондрашов К.В.* «Підвищення ефективності експлуатації аварійно-попереджувальної системи судна». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Херсонська державна морська академія Міністерства освіти і науки України, Херсон 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню проблеми підвищення ефективності експлуатації *аварійно-попереджувальної системи (АПС)* судна за рахунок впровадження системи підтримки прийняття рішень зі спостерігачем. Спостерігач дозволяє отримувати інформацію про стан суднових систем у режимі реального часу, а також прогнозувати їх майбутній стан. *Система підтримки прийняття рішень (СППР)* створює альтернативи рішень для відновлення працездатного стану системи при її відказі і формує карту пошуку виниклої несправності з точністю до несправного датчика або елемента схеми.

Оцінку якості виконуваних завдань сучасними судновими системами *аварійно-попереджувальної сигналізації (АПС)* в роботі виконано з точки зору безпеки судна та надійності суднового обладнання. Також подано докладний огляд функцій та переваг існуючих систем АПС, розглянуті їх недоліки. Обґрунтовано та приведено ієрархічну структуру системи АПС, яка є універсальною для сучасних суден.

У роботі виконано аналіз засобів діагностики відмов, які використовуються оператором в реальних умовах плавання судна для пошуку та усунення причин несправності суднових автоматизованих систем та механізмів. Систематизовані та впорядковані основні суб'єктивні та об'єктивні умови, які впливають на час, що витрачається обслуговуючим персоналом на відновлення працездатності суднової системи, яка відмовила. Для зручності сприйняття інформації створена та побудована структурна схема у вигляді діаграми Ісікави із структуризацією основних факторів, що впливають на час пошуку дефекту. На основі зібраних даних

проведена систематизація причин відмов за рівнями складності їх усунення. Наведено обґрунтування рівня підготовленості, яким повинна володіти *особа, яка приймає рішення* (ОПР), для усунення несправності, яка трапилася, щоб уникнути передчасного виходу з ладу суднового електрообладнання, а також створення ситуацій, які можуть привести до аварії або катастрофи судна.

У дисертаційній роботі запропоновано та розроблено систему СППР, яка формує рішення про необхідність технічних впливів по кожному неприпустимому стану суднової системи. Представлено загальну схему побудованої СППР на судні «MSC BRUNELLA», на якому проводилась апробація дисертаційної роботи.

В роботі показано, як СППР отримує інформацію про виниклу несправність в суднової системі, і далі, на основі отриманих даних, генеруються можливі альтернативи рішення щодо подальших дій ОПР. Для відновлення працездатності системи, яка відмовила, прийняте в СППР рішення заздалегідь формуються експертами і реалізується оператором в робочому процесі.

Результативність технічних впливів на об'єкт діагностування (несправна система) визначається в підсистемі зворотнього зв'язку, яка забезпечує порівнянність результатів на основі діагностичної інформації. У цьому сенсі, зворотний зв'язок має унікальну здатність регулятора, що дозволяє накопичувати інформацію про прийняті рішення та отримані результати, про сигнали несправності та алгоритми реагування та яка надалі є основою для розвитку СППР.

Для визначення часу, який витрачає ОПР на усунення несправності суднових систем без використання СППР та за допомогою розробленої системи, в роботі виконано експеримент з накопичувальною статистикою за півріччя в умовах морського судна-контейнеровоза «MSC BRUNELLA». Розраховано середній час на відновлення працездатності систем різних рівнів, які відмовили. Проведений експеримент по знаходженню несправності довів, що час, необхідний для відновлення робочого стану системи скорочено.

Для мінімізації часу пошуку та усуненню несправностей суднового електрообладнання у роботі обґрунтовано необхідність переходу від діючої

паперової документації до електронної експлуатаційної документації за допомогою системи прийняття рішень.

**У першому розділі** виконано аналіз функцій та завдань сучасних суднових АПС і виявлено, що такі АПС володіють загальним недоліком – вони виконують функцію лише інформаційно-попереджувального характеру про системи, які діагностуються. У разі відмови системи, проблема пошуку можливих причин цієї відмови та методів її усунення залишається відкритою. Розглянуто основні показники надійності складних технічних систем, а також моделі та особливості пошуку несправностей в суднових системах.

Суднова система розглянута як об'єкт управління, виявлені параметри, які характеризують стан системи у будь-який момент часу та розроблено модель системи пошуку причин несправності суднового обладнання за участю ОПР.

За допомогою методу діагностичних матриць описано практичний експеримент знаходження несправності в судновій системі, яка відмовила і розраховано середній час, необхідний для відновлення системи до робочого стану за участю ОПР.

Зроблено розвідувальний статистичний аналіз несправностей суднових систем та їх можливих причин за півріччя. Результати показали, що середня кількість можливих причин несправностей при виході суднової системи з працездатного стану  $\bar{x}_g = 15$  із середнім квадратичним відхиленням  $\sigma_g = 5$ . Даний результат дозволяє зробити висновок, що часто, навіть досвідчені суднові фахівці-електромеханіки витрачають багато часу на визначення алгоритмів аналізу та пошуку причин несправності та їх усунення.

**У другому розділі** показано математичну модель системи діагностування в задачах автоматичного контролю. Запропоновано модель прогнозування стану суднових систем за вектором їх параметрів у вигляді спостерігача.

Обґрунтовано модель системи пошуку причин несправності суднового обладнання з використанням СППР та спостерігача.

Виконано експеримент із відновлення працездатного стану системи, яка відмовила, з використанням СППР. Аналіз результатів експериментів показав, що

ефективність пошуку причин несправності за участю тільки ОПР нижче, ніж з використанням СППР.

**У третьому розділі** розглянуто методи аналізу інформації на основі експертних оцінок. Систематизовані та впорядковані основні умови, які впливають на час, що витрачається обслуговуючим персоналом, на відновлення працездатності суднової системи, яка відмовила. Визначені дані представлено у вигляді діаграми Ісікави. На основі цих даних зроблено рекомендації при визначенні компетентності експертів.

Розроблено структуру для формування альтернатив пошуку причин несправності. На основі даних експертних оцінок проведено розрахунок вибору найкращої альтернативи для конкретного типу несправності.

**У четвертому розділі** представлена програмна реалізація СППР мінімізації часу пошуку та усунення несправностей в судових системах. Представлено взаємозв'язок між різними блоками та інтерфейс системи. Описані вимоги до розробленої системи, зроблено опис створення проекту БД, моделей та контролерів. Представлена реалізація аутентифікації користувача та налаштування прав доступу.

В розділі дисертації показано, що розроблена система підтримки та прийняття рішень може бути використана для різних типів суден та дозволяє значно скоротити терміни обробки та аналізу судової документації, а також час, необхідний для пошуку та усунення несправності у судовій системі, яка відмовила, за рахунок швидкого отримання необхідної та не надлишкової інформації від СППР. У результаті впровадження такої системи значно поліпшується якість прийнятих рішень, що дозволяє навіть при невисокій кваліфікації обслуговуючого персоналу виконувати швидке діагностування та пошук несправностей у судових системах, які відмовили під час експлуатації.

Користуючись такою системою СППР оператор може отримувати наступну інформацією:

- можливі причини несправності системи, яка відмовила;
- пошагові алгоритми усунення конкретної несправності;

- візуальне відображення принципів, структурних схем та ключових вузлів для вирішення виниклої несправності;
- отримати рекомендації експертів про виниклу ситуацію.

Відмітною особливістю алгоритму, який реалізовано, є створення діагностичних матриць для кожної несправності та можливість їх накопичення в процесі експлуатації роботи суднового обладнання.

Використання таких систем СППР в перспективі дозволять значно знизити негативний вплив так званого «людського фактора» у сфері безпечної експлуатації та обслуговування не тільки суднового обладнання, а і інших систем і обладнання, а також підвищити безпеку людини, наприклад, екіпажу судна.

*Ключові слова:* діагностування, автоматизоване керування, інформаційна підтримка, інформаційна система, аварійно-попереджувальна сигналізація, особа, яка приймає рішення, дослідження ризиків, надійність, експлуатація, енергетична установка.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

Публікації в наукових фахових виданнях України:

1. **Кондрашов К.В.**, Терещенкова О.В. Автоматизація пошуку дефектів суднового електрообладнання // Збірник наукових праць національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова. №3, с.106-113. [https://doi.org/10.15589/znp2020.3\(481\).14](https://doi.org/10.15589/znp2020.3(481).14). p- ISSN 2311-3405, e- ISSN 2313-0415. *(Здобувачем запропоновано створення інформаційних систем для допомоги оператору на основі аналізу процесу пошуку несправностей в суднових системах).*

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та/або Європейського Союзу:

2. Oksana Tereshchenkova, **Kostyantyn Kondrashov**. Automation of the process of troubleshooting in ship systems. CEUR-WS.org/Vol-2845 - Information technology and interactions (IT&I 2020), p.418-426. *(Здобувачем запропоновано концепцію використання асимптотичного спостерігача та СППР при пошуку причин несправності в суднових системах).*

3. Sergiy Rozhkov, **Kostyantyn Kondrashov**, Oksana Tereshchenkova, Maryna Falenkova. Informational expert system for minimizing the time in searching of ship electrical equipment failures. CEUR-WS.org/Vol-2845 - Information technology and interactions (IT&I 2020), p.170-180. *(Здобувачем розроблена схема у вигляді діаграми Ісікави, яка показує сукупність факторів, що впливають на час пошуку несправностей).*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

4. **Кондрашов К.В.**, Терещенкова О.В. Анализ неисправностей судового электрооборудования // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «PERSPECTIVES OF SCIENCE AND EDUCATION» м. Київ, м. Карлові Вари 2018. С. 443-449. *(Здобувачем зроблено ранжування судових систем за критерієм складності при пошуку причин несправності).*

5. **Кондрашов К.В.** Анализ современных систем аварийно-предупредительной сигнализации судов // Міжнародна наукова інтернет-конференція на тему: "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 29) 12 червня 2018 с. 7885. *(Здобувачем зроблено порівняння сучасних судових систем діагностування. Описано їх достоїнства і недоліки).*

6. **Кондрашов К.В.**, Терещенкова О.В. Необходимость создания СППР судового электрооборудования // Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (Випуск 32) 16 жовтня 2018 р. – С. 32-35. *(Здобувачем обґрунтовано та запропоновано створення інформаційних систем допомоги оператору).*

7. **Кондрашов К.В.**, Рожков С.О., Абрамов Г.С. Анализ отказов судового электрооборудования по критерию сложности при поиске причин неисправности // Матеріали конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT - 2019», –Херсон. –С.100-107. *(Здобувачем виконано статистичний аналіз несправностей в судових системах в умовах плавання).*

8. **Кондрашов К.В.**, Терещенкова О.В. Построение экспертной системы для минимизации времени поиска дефектов судового электрооборудования // Матеріали

10-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: СЕУТТО-2019» (12-13 вересня 2019 р.) – Херсон: ХДМА, 2019. – С.72 – 74. *(Здобувачем розроблений інтерфейс взаємодії віконного інтерфейсу СППР).*

9. **Kostyantyn Kondrashov**, Oksana Tereshchenkova. Informational Expert System For Minimizing The Time For Searching Of Failures Of Ship Electrical Equipment //VII INTERNATIONAL CONFERENCE Information Technology and Interactions (Satellite) 04 December, 2020, p.170 – 180. *(Здобувачем зроблений розвідувальний аналіз для суднових несправностей, в системах різної складності, та їх можливих причин).*



## ABSTRACT

*Kondrashov K.V.* "Improving the efficiency of operation of the ship's emergency warning system." - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies". - Kherson National Technical University, Kherson State Maritime Academy of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kherson 2021.

Ship automation is a process in which the functions of control of a ship and its equipment, previously performed by man, are transferred to technical devices.

The dissertation work is devoted to the decision of a problem of increase of efficiency of operation of alarm monitoring system of the vessel at the expense of introduction of system of support of decision-making with the observer. The observer allows to receive information about the state of ship systems in real time, as well as to predict their future state. DSS generates alternative solutions (algorithms) to restore the serviceability of the system in case of failure. The program can independently offer a map to find the fault with the accuracy of a faulty sensor or circuit element.

The paper evaluates the quality of tasks performed by modern ship alarm monitoring systems (AMS) in terms of ship safety and reliability of ship equipment. A detailed overview of the functions and advantages of existing AMS is given, as well as the disadvantages are considered. The hierarchical structure of the AMS system, which is universal for all existing modern ships, is substantiated and presented.

The analysis of failure diagnostics tools used by the operator in real sailing conditions to find and eliminate the causes of failure of ship automated systems and mechanisms is performed. Systematized and streamlined the main subjective and objective conditions that affect the time spent by service personnel, the restoration of the judicial system, which refused. For the convenience of information perception, a structural diagram in the form of an Ishikawa diagram is created and constructed, with structuring of the main factors influencing the time of defect search. On the basis of the collected data the systematization of the reasons of failures on levels of complexity of their elimination is carried out. Mathematically calculated and substantiated the high level of preparedness

that the DM must have to eliminate the malfunction that occurred to avoid premature failure of ship's electrical equipment, as well as to create situations that could lead to an accident or even a shipwreck.

The paper proposes and develops a system of DSS that forms and proposes a solution to the need for technical influences on each unacceptable state of the judicial system, taking into account all factors. DSS receives information about a malfunction in any of the ship systems. On the basis of the obtained data, possible alternatives are generated – a decision on further actions of the DM, which is formed by experts to restore the system that failed in working order. The decision made in DSS is implemented by the operator in the workflow.

The effectiveness of technical influences on the object of diagnosis (faulty system) is determined in the feedback subsystem. The feedback subsystem provides comparability of results based on diagnostic information. In this sense, feedback has a unique ability of the regulator, which allows you to collect statistics on decisions and results. Accumulated information about fault signals and response algorithm is the basis for the development of DSS.

The paper performed an experiment with cumulative statistics (for half a year) to determine the time spent by DM to troubleshoot ship systems without the use of DSS and with the help of the system. The average time for recovery of systems of different levels that failed is calculated. An experiment to find the fault, using the developed system, showed that the calculation of the average time required to restore the system to working condition was significantly reduced.

The paper substantiates the need to move from existing paper documentation to electronic operating documentation using a decision-making system to minimize search time and troubleshoot marine electrical equipment. The general scheme of the built DSS on which approbation on the ship «MSC BRUNELLA» was carried out is presented.

The first section provides an analytical review of the functions and tasks of modern ship AMS. It is revealed that modern AMS systems have a general disadvantage: they perform the function of only informational and warning nature about the systems being

diagnosed. In case of system failure, the problem of finding possible causes of this failure and methods of its elimination remains open.

The main indicators of reliability of complex technical systems, as well as models and features of troubleshooting in ship systems are considered. The ship system is considered as an object of management. The values that characterize the state of the system at any time, the model of the system for finding the causes of failure of ship equipment with the participation of DM.

A practical experiment of finding a fault in a shipwreck system that failed using the method of diagnostic matrices is described. The average time required to restore the system to working condition with the participation of DM is calculated.

An exploratory statistical analysis of ship system failures and their possible causes for six months has been made. The results showed that the average number of possible causes of malfunctions in the exit of the judicial system from working condition  $\bar{x}_g = 15$  with a standard deviation  $\sigma_g = 5$ . This result allows us to conclude that very often, even experienced electro mechanics spend a lot of time searching and analysis of the causes of malfunctions and algorithms for their elimination.

The second section describes the mathematical model of the diagnostic system in automatic control problems. A model for predicting the state of ship systems by the vector of their parameters in the form of an observer is proposed. The model of the system of search of the reasons of malfunction of the ship equipment with use of DSS and the observer is substantiated.

A practical experiment of restoring the working condition of a system that failed using DSS was made. Analysis of the experimental results showed that the efficiency of finding the causes of the fault with the participation of DM alone is much lower than with the use of DSS.

The third section discusses the methods of information analysis based on expert assessment. Systematized and streamlined the main subjective and objective conditions that affect the time spent by service personnel, the restoration of the judicial system that refused. The data are presented in the form of a diagram of Ishikawa. Based on these data, calculations were made to select the most competent experts.

The structure of formation of alternatives at search of the reasons of malfunction is constructed. Based on the data of expert assessments, different methods were used to calculate the choice of the best alternative for a specific fault.

The fourth section presents the software implementation of DSS to minimize search time and troubleshooting in ship systems. The relationship between different blocks and the system interface is presented. The requirements to the developed system are described, the description of creation of the project of a DB, models and controllers is made.

Implementation of user authentication and configuration of access rights is presented. The system of adjustment has been broken up and the solution can be accepted for any type of vessel that the speed of the processing term and the analysis of ship documentation is allowed, as well as the hour necessary for the joke and the inevitability of the inequality of the vessels in the systems superfluous information from the DSS. As a result of the implementation of such a system, there is a significant increase in the number of decisions that have been taken, so that it is possible to navigate in case of poor quality of service personnel when they are able to diagnose and diagnose malfunctions in ship systems, which in some cases have failed.

Using the system, the operator can use the following information:

- all possible causes of inequities in the system, such as defect;
- a visual representation of the principles, structural diagrams and key universities for the determination of vicious injustice;
- step by step algorithms using specific injustice;
- review the recommendations of the experts about the situation.

Due to the peculiarity of the given software product, the establishment of diagnostic matrices for skin irregularities and the power accumulated in the process of operating the ship's robotics. Prospects for the management of such systems on ships will significantly reduce the negative inflow of the so-called "human factor" in the field of exploitation and servicing of the ship's regulations, as well as to improve the safety of the ship.

**Key words: diagnostics, automated control, information support, information system, alarm system, decision maker, risk research, reliability, operation, power plant.**

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	16
ВСТУП	17
<b>РОЗДІЛ 1 СИСТЕМА АВАРІЙНО-ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ СУДНА ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	26
1.1. Сучасні суднові системи діагностування, що працюють в режимі реального часу	26
1.2. Основні показники надійності складних технічних об'єктів	28
1.2.1. Ефективність та надійність роботи суднових систем	28
1.2.2. Поняття про імовірнісні та статистичні показники надійності в суднових системах	31
1.3. Методи пошуку несправностей в суднових системах	34
1.4. Суднова система діагностування як об'єкт управління	40
1.5. Модель системи пошуку причин несправності суднового обладнання за участю ОПР	42
1.6. Розрахунок середнього часу відновлення працездатності несправної суднової системи	44
1.7. Практичний досвід пошуку несправності суднового обладнання	46
1.7.1. Застосування методу діагностичних матриць для пошуку несправності	46
1.7.2. Побудова діагностичної матриці для відновлення працездатності суднової системи за участю ОПР	48
1.8. Розвідувальний статистичний аналіз несправностей суднових систем та їх можливих причин	52
1.9. Висновки по першому розділу	58

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ТА ПОБУДОВА СИСТЕМИ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЧАСУ ПОШУКУ НЕСПРАВНОСТЕЙ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ	60
2.1. Математична модель системи діагностування в задачах автоматичного контролю	60
2.2. Модель системи пошуку причин несправності суднового обладнання з використанням СППР та спостерігача	69
2.3. Практичний досвід відновлення працездатного стану системи яка відмовила з використанням СППР	73
2.4. Висновки по другому розділу:	75
РОЗДІЛ 3 ПІДХОДИ ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РІШЕННЯ ПО УСУНЕННЮ СУДНОВИХ НЕСПРАВНОСТЕЙ	76
3.1. Процес прийняття рішень	76
3.1.1. Поняття кількості та якості інформованості	76
3.1.2. Інтегральний показник інформованості та його особливості	79
3.1.3. Процес прийняття рішення в СППР	79
3.2. Критерії вибору експертів	81
3.3. Методи обробки та узагальнення експертної інформації	89
3.3.1. Метод безпосередньої оцінки	89
3.3.2. Метод парних порівнянь	91
3.3.3. Метод Дельфі	93
3.4. Оцінка узгодженості експертної інформації	95
3.5. Висновки по третьому розділу	98
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СППР МІНІМІЗАЦІЇ ЧАСУ ВІДНОВЛЕННЯ СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ДО ПРАЦЕЗДАТНОГО СТАНУ	99
4.1. Постановка вимог до розроблюваної системи	99
4.2. Створення проекту БД, моделей та контролерів	101
4.3. Реалізація аутентифікації користувача та налаштування прав доступу.	104
4.4. Висновки по четвертому розділу	109

ВИСНОВКИ	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	113
ДОДАТОК А РОЗПОДІЛ СУДНОВИХ СИСТЕМ ЗА КРИТЕРІЄМ СКЛАДНОСТІ ПРИ ПОШУКУ ПРИЧИН НЕСПРАВНОСТІ	124
ДОДАТОК Б ЕЛЕМЕНТИ БАЗИ ДАНИХ	129
ДОДАТОК В ФРАГМЕНТИ ПРОГРАМНОГО КОДУ	145
ДОДАТОК Г ДОВІДКИ ПРО ВИКОРИСТАННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ	162

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АПС – аварійно-попереджувальна сигналізація;
- ОД – об'єкт діагностування;
- СО – структурні одиниці;
- ЕЗА – електричні засоби автоматизації;
- СТС – складна технічна система;
- ОПР – особа, яка приймає рішення;
- ППР – процес прийняття рішень;
- СППР – система підтримки прийняття рішень;
- САУ – системи автоматичного управління;
- АСУ – автоматизовані системи управління;
- ЕС – експертна система;
- САПС – система аварійно-попереджувальної сигналізації;
- БД – база даних;
- БЗ – база знань;
- СТС – складна технічна система;
- СЕУ – суднова енергетична установка;
- ТС – технічна система;
- AI – analog input (аналоговий вхід);
- AO – analog output (аналоговий вихід);
- DI – digital input (цифровий вхід);
- DO – digital output (цифровий вихід);
- SCU – segmentation control unit (блок управління сегментацією);
- CAN – controller area network (мережа контролерів);
- OS – operation station (станція оператора);
- AMS – alarm monitoring system (аварійно-попереджувальна система);
- DSS – decision support system (система підтримки рішення);
- DM – decision maker (людина, яка приймає рішення).



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Безпека мореплавання є головною якістю морського флоту і представляється найважливішою умовою можливості ефективної експлуатації суден [63].

Будь-яке сучасне судно являє собою складну автоматизовану систему з конкретною метою [9]. Для забезпечення виконання поставленого завдання, всі механізми та пристрої судна повинні виконувати кожен свою конкретну функцію. І тільки злагоджена робота всіх систем судна, дозволяє забезпечити, як живучість судна, так і безпеку всіх членів екіпажу [95, 96]. Одну з найважливіших ролей у забезпеченні безпеки на судні грає система діагностування судових механізмів в режимі реального часу (аварійно-попереджувальна сигналізація судна), основним завданням якої є контроль стабільної роботи всіх судових систем та попередження оператора в разі появи будь-якої несправності [92, 93].

Більшість відмов, які впливають на безпеку експлуатації судових електроенергетичних систем, зароджуються і проявляються саме в процесі експлуатації, що вимагає наявності ефективної системи діагностування, яка в режимі реального часу визначає технічний стан судових систем [1, 5, 7, 8]. Також, особлива увага приділяється кількості та якості можливостей сучасних систем діагностування [2, 15, 16].

Стрімкий розвиток в області електроніки та автоматики призвів до своєрідного парадоксу: з одного боку, використання сучасних автоматизованих систем судна значно полегшує працю обслуговуючого персоналу судна і підвищує надійність судноводіння, але з іншого – об'єктивно породжує нові проблеми, які обумовлені процесами взаємодії людини та технічних засобів. Чим більш складними стають функції різних автоматичних систем судна, тим гостріше виникає необхідність в координації управління обслуговуючим персоналом в разі виникнення несправності [30 – 34].

Сучасні системи АПС надають інформацію про відмови систем і механізмів, а також про перевищення або зниження допустимих значень деяких параметрів, що ні

передбачає правильної діагностики несправності та розумного реагування з боку обслуговуючого персоналу.

Труднощі усунення несправностей в суднових системах обумовлені багатопараметричністю, багатозв'язністю та нелінійністю процесів, що протікають в цих системах і які вимагають значних часових ресурсів. Навіть досвідчені фахівці часто виявляються безсилі швидко і безпомилково розібратися з несправностями, що трапилися в суднових системах та прийняти вірне рішення для їх усунення. Це не рідко спричиняє проблеми, які пов'язані із виходом з ладу як окремих механізмів, так і цілих комплексів автоматизованих систем [36, 42].

Таким чином, існує гостра необхідність впровадження спеціальних інформаційних систем, що дозволяють навіть при невисокій кваліфікації обслуговуючого персоналу та низькій ефективності контролю об'єкта діагностування (суднової системи), швидко здійснювати пошук дефектів в судновій системі, яка відмовила [32, 35].

Актуальність роботи також обумовлена необхідністю пошуку рішень в зниженні негативного впливу, так званого "людського фактора" в сфері експлуатації та обслуговування суднового обладнання, що прописано в резолюції ІМО А.884 (21) [96]. У тому числі, необхідністю підвищення безпеки екіпажу судна, а також можливістю підвищення експлуатаційного терміну роботи суднового обладнання.

Аналіз існуючих публікацій на тему підвищення ефективності систем діагностування показує [10 -13, 45, 47, 67 - 71], що для суднових систем і механізмів в даний час недостатньо повно розроблені методи та технічні засоби діагностування. Більшість методів не дозволяють швидко, особливо, при невисокій кваліфікації обслуговуючого персоналу, проводити пошук дефектів, з глибиною пошуку до елемента принципової схеми, що, найчастіше, необхідно для відновлення працездатності системи яка відмовила.

У даний час найбільш активним напрямком досліджень є системи діагностики та прогнозування, предметна область яких пов'язана саме з методами оцінки надійності та прогнозування стану суднових складних систем [9, 19 - 22].

Вагомий внесок у вирішенні науково-технічної проблеми підвищення ефективності експлуатації суднових технічних систем шляхом розвитку методів діагностування та прогнозу оцінок їх технічного стану, ризиків відмов внесли: В.А. Акімов [1], Б.П. Башуров [3], В.В. Вичужанін [8, 13], В.М. Горбов [67], С.В. Головка [15], В.М. Гуменюк [18], В.Г. Денисов [20], В.П. Калявин [27], Ю.Н. Мясников [41], А.М. Никитин [42], Н.Н. Портнягин [47], И.А. Рябинин [58] та ін.

Розробкою класифікації завдань технічної діагностики, аналізом форм організації систем тестового та функціонального діагнозу, а також розробкою процедур технічного діагностування та обґрунтування методики застосування логічних алгоритмів для пошуку причин порушення працездатності складних технічних систем з дискретними характеристиками займалися такі автори як: В.В. Вичужанін [8, 13], Е.В. Колесникова [28], Бигус Г.А. [5]. Більшість вітчизняних і зарубіжних авторів визначають тільки окремі складові та їх параметри [9-13, 52-56, 68-72].

Незважаючи на велику актуальність, завдання підвищення ефективності суднових систем діагностування вирішуються достатньо повільно, тому що процеси зносу та старіння електротехнічного обладнання досить складно піддаються точному математичному опису та залежать від численних факторів [24, 25, 46].

Аналіз цих робіт показав, що досить широка аудиторія дослідників ставила перед собою завдання саме прогнозу і попередження відмови суднових систем. У підсумку, розроблені і впроваджені методи допомагали знизити кількість відмов електрообладнання [40, 71]. Але слід зазначити, що недоліком такого підходу є відсутність координації ОПР з фактами відмов, що відбулися, а це в деяких випадках може приводити до катастрофічних наслідків. Це обумовлює актуальність та необхідність подальших досліджень в цій області.

У зв'язку з цим актуальною науково-технічною задачею є вирішення науково-практичної задачі з розробки та створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень для пошуку та усунення несправностей електрообладнання в умовах нечіткої вхідної інформації про технічний стан суднових систем.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційні дослідження виконані на кафедрі експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики в межах науково-технічної роботи «Методи, моделі та інформаційне забезпечення автоматизованих систем керування судновим пропульсивним комплексом» (Державний реєстраційний номер 0121U100457).

Особистий внесок автора полягає у:

- проведенні розвідувального статистичного аналізу та побудові варіаційно-частотного ряду спостережень середньої кількості несправностей які трапляються протягом певного часу на судні та середньою кількістю можливих причин цих несправностей;
- проведенні детального аналізу суб'єктивних та об'єктивних факторів, що впливають на час пошуку, та усунення несправності відмови об'єкта діагностування (побудована діаграма Ісікави);
- розробці моделі прийняття рішень з урахуванням пріоритетності перевірок при пошуку несправностей, на основі експертних оцінок та урахуванням діагностичних ознак несправності;
- проведенню експерименту з розрахунком середнього часу відновлення працездатності системи, яка відмовила силами ОПР, та за допомогою розробленої СППР.

**Основний зміст роботи** та її основні задачі відповідають стандартам та вимогам до компетенції персоналу машинного відділення, які сформульовані у главі III в Міжнародній конвенції про стандарти підготовки, сертифікації та вахти моряків (STCW6 Code. IMO, London, 2017) із поправками, прийнятими в Манілі у 2010 р..

**Мета та задачі дослідження.** Метою досліджень є підвищення ефективності роботи суднової системи діагностування за рахунок автоматизації пошуку причин несправності системи яка відмовила, шляхом інтеграції модуля СППР зі спостерігачем, а також запропоновані методи та алгоритми при пошуку причин відмов систем в різних умовах експлуатації.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

- аналіз методів, якими проводиться пошук несправностей в реальних умовах плавання в конкретних об'єктах діагностики та їх структурних одиницях;
- обґрунтовано рівень підготовленості, яким повинен володіти ОПР, для відновлення системи до працездатного стану, зроблено за рахунок статистично-розвідувального аналізу несправностей судових систем та їх можливих причин;
- обґрунтовано вплив різних чинників, та інформаційних потреб ОПР при виборі оптимального рішення;
- розроблено модель прийняття рішень з урахуванням пріоритетності перевірок при пошуку несправностей на основі експертних оцінок та урахуванням діагностичних ознак несправності. Створені ефективні алгоритми та відповідна інформаційна технологія, що підвищує інформативність ОПР в питаннях пошуку причин несправностей;
- удосконалено модель системи діагностування судна за рахунок інтеграції даних до СППР для використання оператором при пошуку та усуненні причин несправності судових автоматизованих систем та механізмів. За допомогою «спостерігача» система діагностування може отримувати інформацію про стан судових систем у режимі реального часу, а також прогнозувати їх майбутній стан;
- здійснено апробацію працездатності запропонованих моделей на судні-контейнеровозі «MSC BRUNELLA». Проведено експеримент, по відновленню працездатності несправної системи використовуючи можливості СППР. Наочно продемонстровано, що ефективність пошуку причин несправності за участю тільки ОПР набагато нижче ніж з використанням СППР.

**Об'єкт дослідження:** суднова система АПС, процеси пошуку несправностей в судових системах.

**Предмет дослідження:** процеси пошуку та усунення несправності у судових системах.

**Методи дослідження.** Для вирішення завдань, поставлених у дисертаційному дослідженні, використані експериментально-теоретичні методи, в тому числі, системний аналіз та моделювання. Основні наукові результати отримані із застосуванням методів: експертних оцінок, теорії ймовірності та математичної статистики, теорії прийняття рішень, теорії інформації, теорії надійності. Застосовано системний підхід до подання судовий АПС як ієрархічної системи взаємопов'язаних і взаємодіючих підсистем.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- виконано ранжування судових систем за критерієм складності при пошуку причин несправності;
- проведений розвідувальний статистичний аналіз, побудований варіаційно-частотний ряд спостережень середньої кількості несправностей, які трапляються протягом певного часу на судні, та середньою кількістю можливих причин цих несправностей;
- проведений аналіз суб'єктивних та об'єктивних факторів, що впливають на час пошуку та усунення несправності об'єкта діагностування (судової системи), побудовано діаграму Ісікави;
- розроблено СППР зі спостерігачем для пошуку та усуненні причин несправності судових автоматизованих систем та механізмів. Спостерігач дозволяє отримувати інформацію про стан судових систем у режимі реального часу, а також прогнозувати їх майбутній стан. СППР генерує альтернативи рішень (алгоритмів) для відновлення працездатного стану системи при її відказі. В інтерфейсі програми реалізовано карту пошуку виниклої несправності з точністю до несправного датчика або елемента схеми.

Отримало подальший розвиток:

- концепція побудови баз знань, що надає ОПР ненадлишкову інформацію і алгоритми з глибиною пошуку до вузла/елемента функціональної схеми, що дозволяють максимально мінімізувати час, необхідний на пошук та усунення несправностей;

- алгоритм автоматизованої системи для мінімізації часу пошуку несправності з урахуванням пріоритетності перевірок на основі експертних оцінок і діагностичних ознак несправності.

Удосконалено:

- діагностичну систему судна за рахунок встановлення СППР зі спостерігачем.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропонована СППР зі спостерігачем являє собою програмний продукт, який може бути використаний з програмним забезпеченням суднової системи діагностування. Використання результатів дисертаційного дослідження Кондрашова К.В. підтверджено в професійно-технічній і навчально-тренажерній діяльності ТОВ «Херсонський морський спеціалізований тренажерний центр» при Херсонській державній морській академії. Результати дослідження впроваджено при викладанні курсу Marine Automation and Control Systems Training, що оформлено Актом впровадження від 10 червня 2021 р. Це дозволяє значно скоротити час знаходження причини несправностей та одержувати алгоритми дії для її усунення.

Розроблений в рамках дисертаційного дослідження СППР зі «спостерігачем» апробовано в програмному забезпеченні системи АПС на судні-контейнеровозі «MSC Brunella» як система підтримки прийняття рішень і використовується фахівцями в повсякденній роботі, що оформлено відповідним Актом впровадження від 07 червня 2021 р.

Результати дисертаційної роботи Кондрашова К.В. використано в освітньому процесі в Херсонській державній морській академії на кафедрі експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики при викладанні дисциплін «Автоматизація електроенергетичних систем та комплексів», «Автоматизовані електроенергетичні пропульсивні установки і спеціалізовані суднові електроприводи» (Акт впровадження від 09 червня 2021 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати, що становлять основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. У роботах, написаних у співавторстві, внесок здобувача визначається таким чином: [36] – створення інформаційних систем для допомоги оператору на основі аналізу процесу

пошука несправностей в суднових системах; [65] – запропоновано концепцію використання асимптотичного спостерігача та СППР при пошуку причин несправності в суднових системах; [35] – розроблена схема у вигляді діаграми Ісікави, яка показує сукупність факторів, що впливають на час пошуку несправностей; [34] – зроблено ранжування суднових систем за критерієм складності при пошуку причин несправності; [30] – зроблено порівняння сучасних суднових систем діагностування. Описано їх достоїнства і недоліки; [32] – обґрунтовано та запропоновано створення інформаційних систем допомоги оператору; [31] – зроблено статистичний аналіз несправностей в суднових системах за півріччя; [33] – розроблений інтерфейс взаємодії вікон СППР; [35] – зроблений розвідувальний аналіз для суднових несправностей, в системах різної складності, та їх можливих причин.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на 6 міжнародних науково-практичних конференціях, у тому числі:

1. IV міжнародна науково-практична конференція «PERSPECTIVES OF SCIENCE AND EDUCATION» м. Київ, м. Карлові Вари 2018.
2. Міжнародна наукова інтернет-конференція на тему: "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 29) 12 червня 2018р.
3. Міжнародна наукова інтернет-конференція на тему: "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 32) 16 жовтня 2018 р.
4. XI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» MINTT-2019, (28-30 травня 2019 р., м. Херсон, Херсонська державна морська академія).
5. X Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» SEUTTOO-2019. (12-13 вересня 2019р., м. Херсон, Херсонська державна морська академія).



6. VII INTERNATIONAL CONFERENCE Information Technology and Interactions (Satellite) 04 December, 2020 p.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи викладено в 9 наукових працях, в тому числі: 1 стаття у науковому фаховому виданні, 2 статті у періодичному науковому виданні, яке індексується у SCOPUS; 6 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 106 найменувань та 4 додатків на 40 сторінках. Загальний обсяг роботи складає 164 сторінки, основний зміст викладено на 112 сторінках. Робота містить 47 рисунків, 22 таблиці.

## РОЗДІЛ 1

### СИСТЕМА АВАРІЙНО-ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ СУДНА ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1. Сучасні судові системи діагностування, що працюють в режимі реального часу

Всі сучасні судна, незалежно від типу та конструкції, мають системи діагностування обладнання в режимі реального часу - аварійно-попереджувальною сигналізацією (АПС). До числа найбільш ефективних систем можна віднести наступні системи АПС:

- німецька «NORCONTROL 8810»;
- найчастіше використовується на контейнерному флоті «UMS 2100» датської фірми «LINGSO MARINE»;
- система нового покоління «AUTO CHIEF-700» німецької фірми «KONGSBERG»;
- система АПС «MANAGER 301M», популярна для танкерного флоту [92, 93].

Сучасні системи нового покоління являють собою ієрархічну структуру, яка представлена на рис. 1.1.

Нижній рівень АСУ – датчики, пристрої та виконавчі механізми, де відбувається збір інформації про контрольовані параметри судових систем. Другий рівень включає в себе електронні модулі аналогового та цифрового типу (AI/AO; DI/DO). Сюди надходять сигнали з нижнього рівня та переводяться у бінарний код, для подальшої відправки на третій рівень. Комутація пакетів інформації відбувається, наприклад, за допомогою CAN шини, по CAN протоколами. На цьому рівні відбувається формування сигналу для управління виконавчими механізмами, що знаходяться на нижньому рівні.

Третій рівень складається з електронних модулів типу SCU (segment controller unit), які отримують інформацію від конкретних груп модулів другого рівня. На цьому рівні відбувається сегментація сигналів по групам та передача їх в наступну

CAN-мережу. Як правило, для підвищення надійності системи АПС, SCU карти дублюються (SCU A, SCU B).

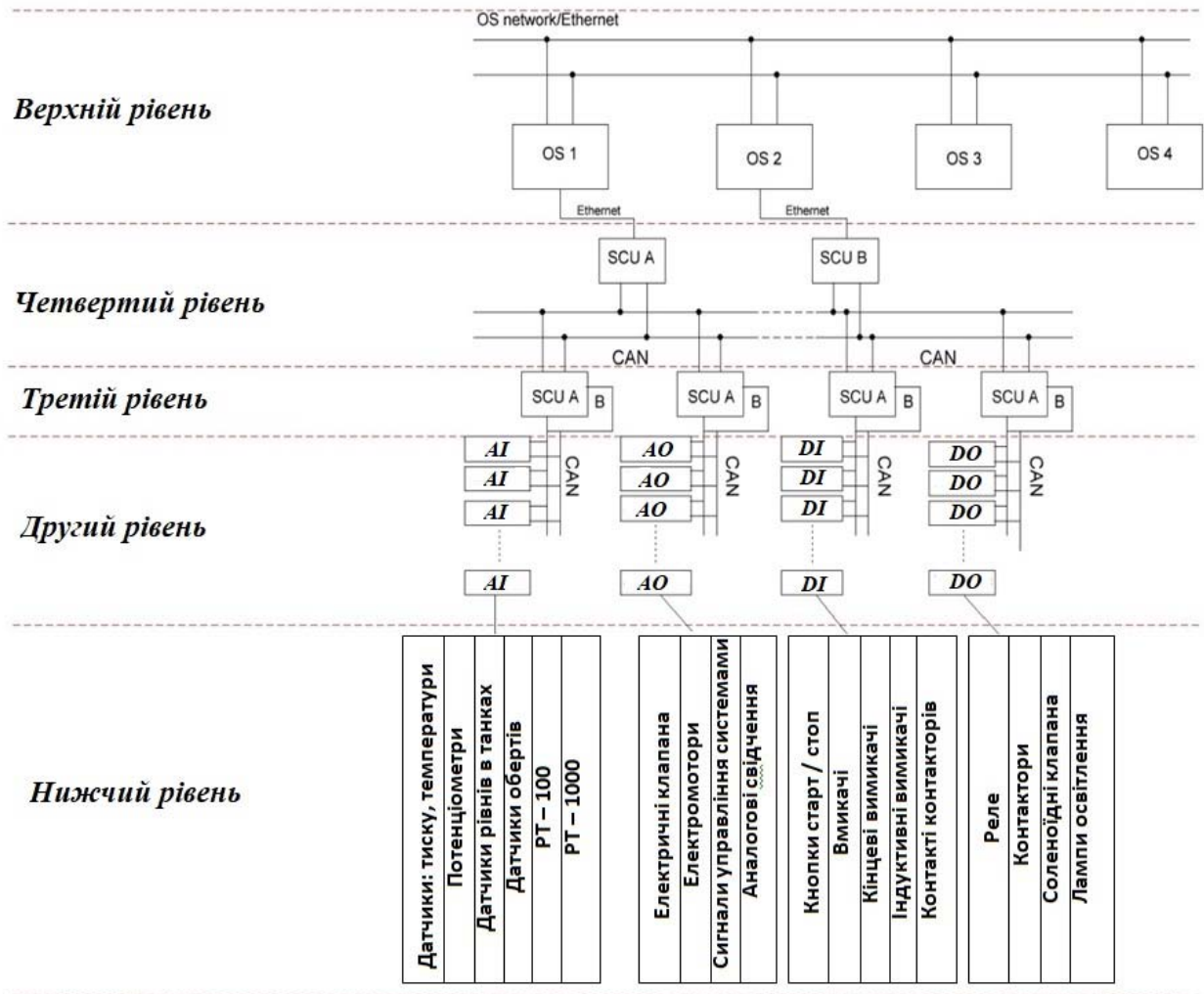


Рис. 1.1 – Загальна ієрархічна структура суднових систем АПС

Четвертий рівень включає в себе два мережевих маршрутизатора, які комутують інформацію з CAN-мережі в LAN-мережу, в якій знаходяться головні контролери системи АПС. Для збільшення надійності системи АПС маршрутизаторів зазвичай два (А і В), вони повністю дублюють інформацію, яка надходить.

Верхній рівень складається зі станцій управління із основними контролерами. На цьому рівні відбувається постійна обробка інформації, що надходить з четвертого рівня. На цьому рівні оператор має можливість керувати виконавчими механізмами нижнього рівня в ручному режимі. Також на цьому рівні проводиться

доступ до параметрів і зміна налаштувань контрольованих параметрів при необхідності.

Основне завдання сучасних систем АПС судна передбачає безперервне діагностування судових систем в режимі реального часу, а в разі будь-якої несправності, попереджує оператора світловим та звуковим сигналом.

Суть процесу роботи будь-якої сучасної системи АПС можна описати двома етапами:

Отримання інформації про стан об'єкту діагностування і перетворення її для подальшої обробки;

Виявлення в інформації, що надходить, ознак відхилення параметрів і формування попереджувального або аварійного сигналу про настання цієї події.

Тобто відбувається наступне: сигнали від датчиків (цифрових або аналогових) надходять на модулі вводу / виводу (відповідно аналогові або цифрові), далі сигнали обробляються і, наприклад, по CAN-шині через маршрутизатор надходять в блок головного процесора (CPU). В блоці процесора CPU данні порівнюються з допустимими значеннями для кожного конкретного параметра. Будь-яке порушення в стані агрегатів автоматичних енергетичних установок, від яких надійшов сигнал з відхиленнями від норми, супроводжується світловою і звуковою сигналізацією, а також реєстрацією даної події.

Недоліком сучасних систем діагностування є виконання ними функцій тільки інформаційно-попереджувального характеру, але для пошуку та усунення зареєстрованого відхилення або несправності необхідне втручання кваліфікованого фахівця.

## **1.2. Основні показники надійності складних технічних об'єктів**

### **1.2.1. Ефективність та надійність роботи судових систем**

Якщо розглядати судно як єдиний комплекс, складну систему, що складається з взаємодіючих підсистем, то надійність, як її властивість, проявляється протягом всього часу його експлуатації [58, 72, 91, 94, 97]. Схему взаємодії систем судна показано на рис. 1.2.

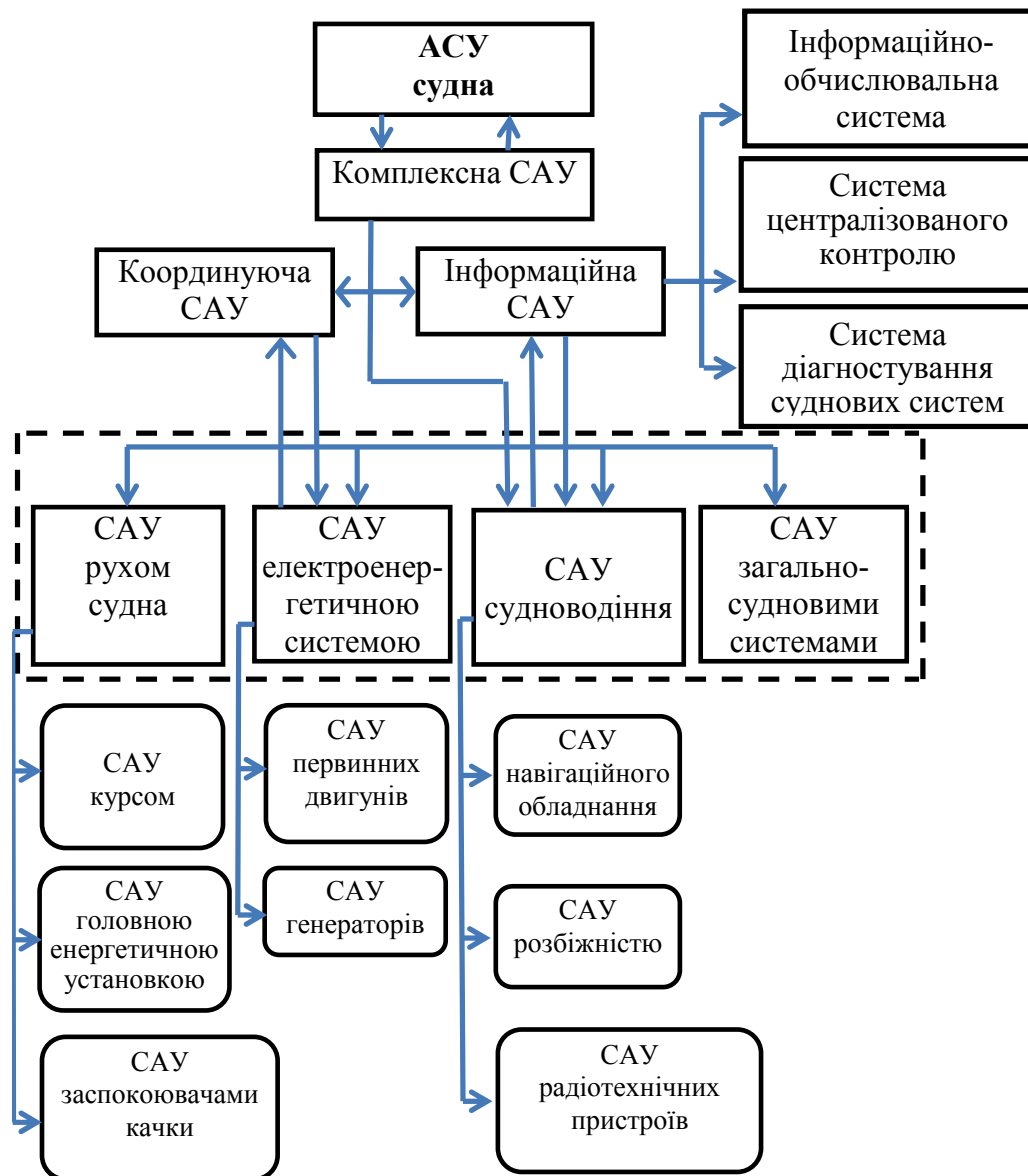


Рис. 1.2 – Схема взаємодії систем судна

Тривалість життєвого циклу суднових систем можна описати як потік випадкових подій таких, як включення в робочий режим, зупинки, переключення в режим діагностування, відмови, відновлення та ін. Отже, кількісні оцінки надійності та її складових частин мають імовірнісний характер і можуть бути представлені у вигляді показників, які використовуються для характеристики випадкових величин і випадкових процесів [46, 75, 80, 83].

У свою чергу, надійність є однією зі складових частин більш широкого поняття ефективності, де під ефективністю суднових систем розуміється узагальнена властивість системи, що характеризує її пристосованість до виконання поставлених завдань [18, 19, 24].

На рис. 1.3 приведена структурна схема зв'язків складових частин ефективності та надійності суднової системи.

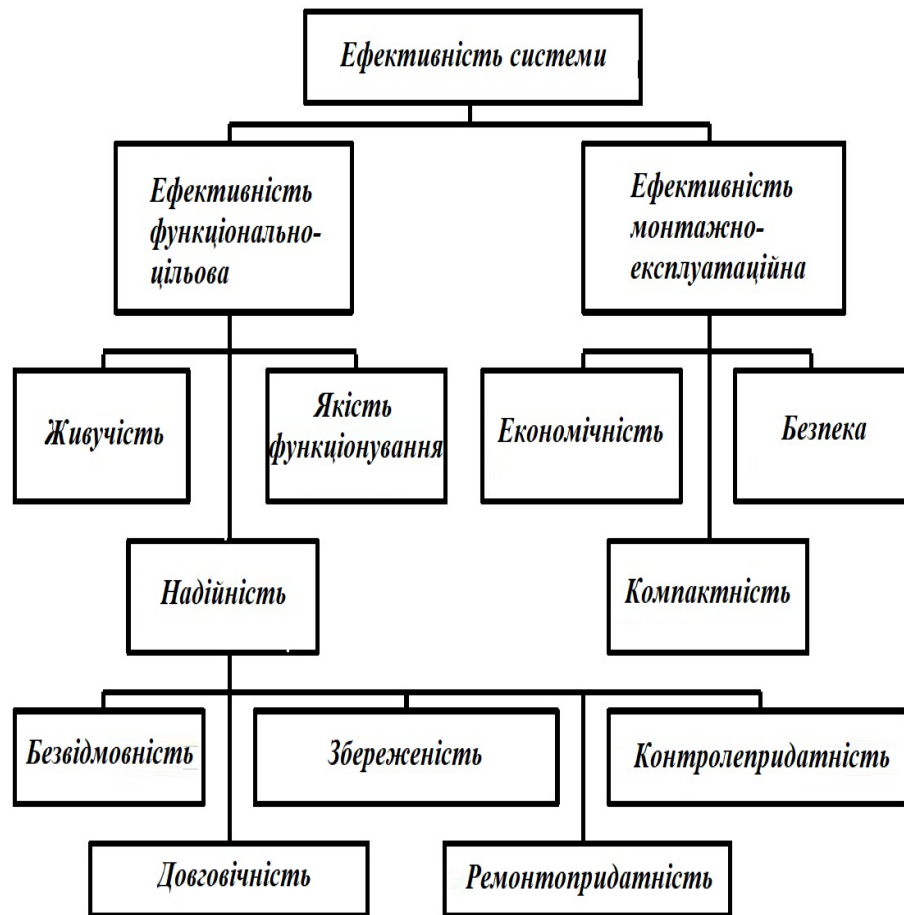


Рис. 1.3 – Структура ефективності суднових систем

В період експлуатації суднових систем, діагностування проводиться з метою встановлення факту перебування її в одному з двох можливих станів - працездатному або непрацездатному, та оцінки ступеня її працездатності. У цьому випадку на відповідність технічним вимогам перевіряють не всі ознаки, що характеризують властивості системи, а лише певну їх підмножину. Така перевірка, зазвичай, базується на аналізі характеру реакції об'єкта на керуючі впливи та впливи збурювання у різних режимах його функціонування [3, 11, 40].

До числа робочих вихідних та проміжних сигналів відносяться сигнали, що характеризують результати виконання системою або її елементами передбачених робочих функцій. Це можуть бути амплітуда та частота напруги, кутова швидкість обертання, тиск, температура і т.п.

### 1.2.2. Поняття про імовірнісні та статистичні показники надійності в суднових системах

Показники надійності, зазвичай, представляють у двох формах: ймовірнісної і статистичної [41, 58]. Вірогідну форму зручніше використовувати при аналітичних розрахунках надійності, а статистичну для експериментальних досліджень надійності технічних об'єктів.

Важливим поняттям, присутнім у багатьох формулюваннях показників надійності є напрацювання – це тривалість або обсяг роботи об'єкта. Тобто, напрацювання може вимірюватися не тільки в одиницях часу, а й в одиницях вироблення системи.

Моделі і методи, описані в цьому розділі, орієнтовані на аналіз по відношенню до раптових відмов, тобто відмов, що характеризується стрибкоподібною зміною значень одного, або декількох основних параметрів об'єкта.

При визначенні показників будемо використовувати такі позначення:

$\xi_1$  – випадкове напрацювання об'єкта до першої відмови;

$\xi_1(i)$  – реалізація випадкової величини  $\xi_1$  для  $i$ -го об'єкта;

$F_1(t) = P(\xi_1 < t)$  – розподіл часу до першої відмови;

$n(t)$  – число відмовили об'єктів до моменту часу  $t$ ;

$N(t)$  – число працездатних об'єктів до моменту часу  $t$ ;

$\Delta n(t, t')$  – число об'єктів, які відмовили на інтервалі часу  $(t, t')$ .

При статистичному поданні будемо розглядати схему, коли кілька об'єктів працюють до відмови. В цьому випадку статистичні показники мають просте частотне тлумачення і з ростом числа випробовуваних об'єктів будуть сходитися в межі до аналогічних імовірнісним показникам.

1. Імовірність безвідмовної роботи об'єкта на інтервалі часу від  $0$  до  $t$

$$P(t) = P(0, t) = \text{Pr ob}(\xi_1 \geq t) = 1 - F_1(t) \quad (1.1)$$

Ймовірність безвідмовної роботи визначається як ймовірність того, що об'єкт пропрацює безвідмовно протягом заданого часу (напрацювання)  $t$  при початку роботи в нульовий момент часу.

Статистичний показник (точкова оцінка) ймовірності безвідмовної роботи визначається як відношення числа об'єктів, безвідмовно пропрацювали до моменту часу  $t$ , до числа об'єктів, справних в початковий момент часу:

$$P'(t) = \frac{N(t)}{N(0)} \quad (1.2)$$

2. Ймовірність відмови об'єкта на інтервалі часу від  $0$  до  $t$ .

$$Q(t) = Q(0, t) = \text{Pr ob}(\xi_1 \leq t) = F_1(t) = 1 - P(t) \quad (1.3)$$

$$Q'(t) = \frac{n(t)}{N(0)} = 1 - P'(t) \quad (1.4)$$

3. Ймовірність безвідмовної роботи об'єкта на інтервалі часу від  $t$  до  $t_0$

$$P(t, t + t_0) = \text{Pr ob}(\xi_1 \geq t + t_0 / \xi_1 \geq t) = P(0, t + t_0) / P(0, t) = P(t + t_0) / P(t), \quad (1.5)$$

тобто  $P(t, t + t_0)$  є ймовірність того, що випадкове напрацювання об'єкта до відмови виявиться більше величини  $t + t_0$  за умови, що об'єкт уже пропрацював безвідмовно до моменту часу  $t$ .

При статистичній інтерпретації це є відношення числа об'єктів, які працювали до моменту часу  $t + t_0$ , до числа об'єктів, справних до моменту  $t$ .

$$P'(t, t + t_0) = N(t + t_0) / N(t) \quad (1.6)$$

4. Щільність розподілу відмов

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \frac{d}{dt} Q(t) = -\frac{d}{dt} P(t) \quad (1.7)$$



$(t, t + \Delta t)$  - статистична щільність визначається як відношення числа відмов в інтервалі до твору числа справних об'єктів в початковий момент часу  $t=0$  на тривалість інтервалу  $\Delta t$

$$f'(t) = \frac{n(t, t + \Delta t) - n(t)}{N(0)\Delta t} = \frac{N(t) - N(t, t + \Delta t)}{N(0)\Delta t} = \frac{\Delta n(t, t + \Delta t)}{N(0)\Delta t} \quad (1.8)$$

5. Інтенсивність відмов об'єкта в момент часу  $t$

$$\lambda(t) = \frac{1}{1 - F(t)} \cdot \frac{d}{dt} F(t) = -\frac{f(t)}{P(t)} \quad (1.9)$$

$\lambda(t)$  – умовна щільність ймовірності відмови об'єкта до моменту часу  $t$  за умови, що до цього моменту часу відмови об'єкта не було.

Статистичне визначення показника:

$$\lambda'(t) = \frac{n(t, t + \Delta t) - n(t)}{N(t)\Delta t} = \frac{N(t) - N(t, t + \Delta t)}{N(t)\Delta t} = \frac{\Delta n(t, t + \Delta t)}{N(t)\Delta t} \quad (1.10)$$

На рис. 1.4 показана залежність інтенсивності відмов від часу на всіх основних періодах життя технічних об'єктів.

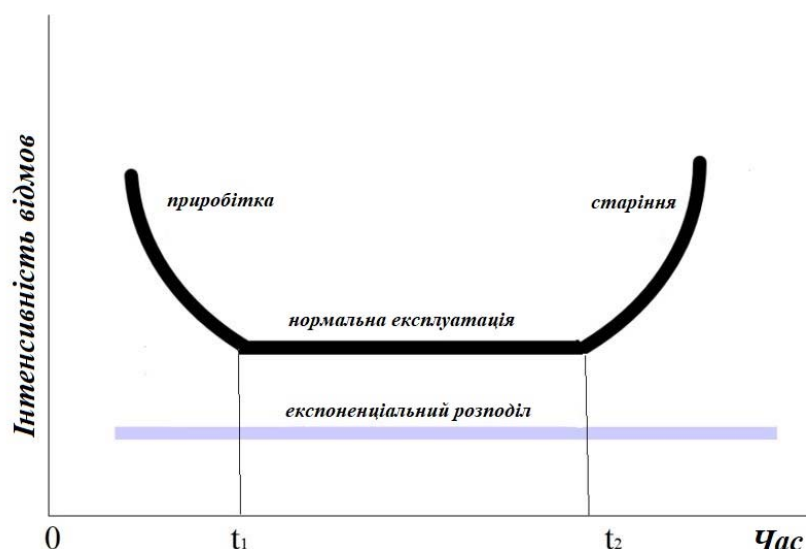


Рис. 1.4 – Залежність інтенсивності відмов від часу

Період приробітки  $(0, t_1)$ , система зазнає випробувань, під час яких відмовляють і замінюються новими всі ненадійні елементи, тобто система

характеризується підвищеною інтенсивністю відмов. Тут також виявляються і усуваються помилки проектування та виробничі недоліки. Для моделювання цього етапу слід застосовувати функції розподілу з порядку спадання умовної щільності, наприклад, розподіл Вейбулла з параметром форми  $< 1$ .

Період нормальної експлуатації  $(t_1, t_2)$ , при якому відмови викликаються випадковими чинниками і мають постійну інтенсивність, адекватно описується експоненціальним розподілом.

У період старіння  $(t > t_2)$  інтенсивність відмов збільшується через процеси старіння елементів, а також зносу обладнання. Тут застосовують "старіючі" розподіли зі зростаючою функцією інтенсивності, наприклад, розподіл Вейбулла з параметром форми  $> 1$ .

6. Середнє напрацювання об'єкта до першої відмови (математичне сподівання випадкової напрацювання до першої відмови):

$$T_1 = M[\xi_1] = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} \tau dQ(\tau) = \int_0^{\infty} P(\tau) d\tau \quad (1.11)$$

$$T_1'(t) = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} \xi_1^i \quad (1.12)$$

Показники (1.1-1.12) характеризують випадковий час появи першої відмови, тому вони отримали назву - показники безвідмовності.

### 1.3. Методи пошуку несправностей в суднових системах

Процес пошуку несправностей є найбільш складним при ремонті електрообладнання, так як сучасні автоматизовані системи являють собою складну, взаємопов'язану мережу електричних та електронних кіл [6, 23, 89].

Завдання з пошуку несправного елемента полягає в знаходженні такої послідовності перевірок, при якій на пошук дефекту витрачається мінімум часу.

В основу методики діагностування САУ покладено ієрархічний принцип поступового збільшення глибини пошуку дефекту відповідно до оцінки доцільності

заданого рівня глибини пошуку та можливістю подання ОД декількома рівнями ділення. У процесі такого поділу на кожному етапі діагностування відбувається поступове уточнення місця дефекту. Спочатку визначається непрацездатний блок (конструктивно оформлений структурний елемент ОД), потім проводиться діагностування виявленого блоку з глибиною пошуку до вузла / елемента функціональної схеми і т.д. Завершувальний етап полягає в діагностуванні на рівні елемента функціональної схеми з глибиною пошуку до елемента принципової схеми [64, 77].

Після підтвердження факту відмови системи, починається період пошуку дефекту, який привів до цієї відмови. З огляду на те, що основна частина часу від моменту відмови до моменту відновлення працездатності витрачається саме на пошук несправності, цей період ми розглянемо докладно.

На рисунку 1.5 представлено схему побудови дерева відмов, яка може бути універсальною для будь-якої складної технічної системи.

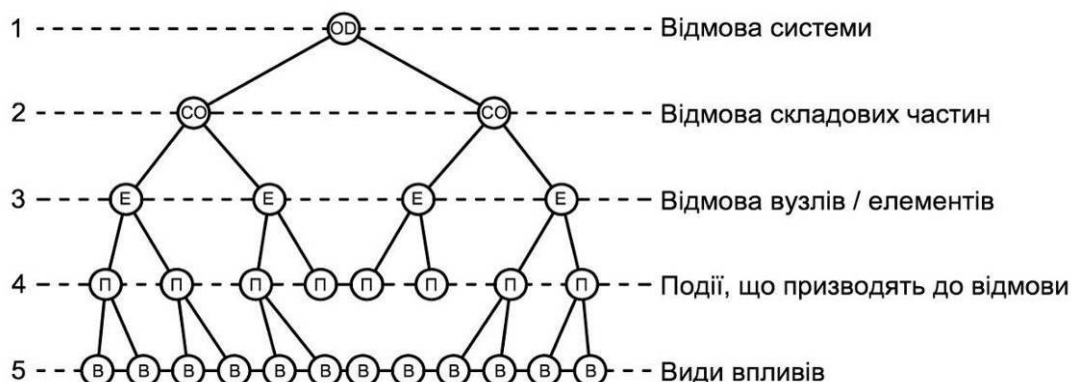


Рис. 1.5 – Схема побудови дерева відмов суднової системи, яка вийшла з ладу

Системи яка відмовила (об'єкт діагностики) умовно ділиться на складові частини - *структурні одиниці* (СО) з'єднані послідовно. Для уявлення СО графічно, зазвичай користуються моделями ОД у вигляді структурних, функціональних, монтажних схем, а також схем з'єднань та підключень. Кожна СО може являти собою окремий модуль, блок, вузол, ділянку і т.д.

ОПР вибирає стратегію подальшого пошуку дефекту, тобто спосіб за яким він буде локалізувати несправність в конкретній СО. Таких способів три.

Послідовний спосіб пошуку дефекту ведеться шляхом вимірювання сигналу в контрольних точках по черзі, від  $CO_1$  до  $CO_n$ , тобто перевіряється вихідний сигнал кожної *структурної одиниці* (СО). Як правило, найбільш зручні моделі для вибору контрольних точок - принципіві та структурні схеми ОД.

На рисунку 1.6 показаний універсальний алгоритм пошуку дефектної СО послідовним способом.

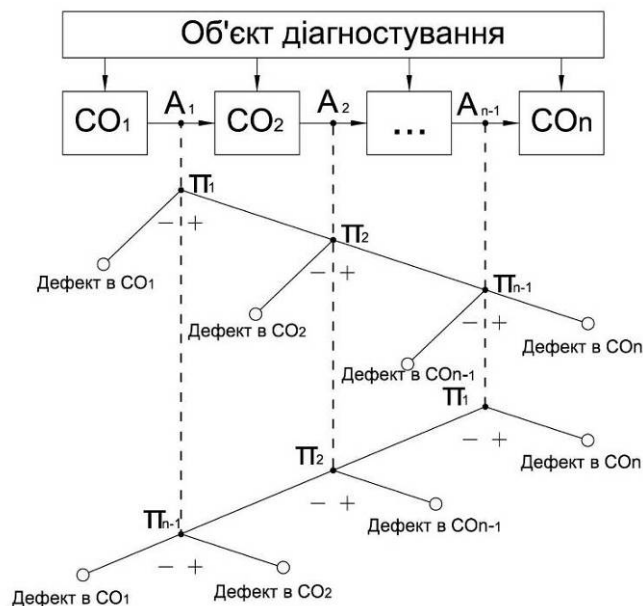


Рис. 1.6 – Універсальний алгоритм пошуку дефектної СО послідовним способом:  
 $CO_1, CO_2, CO_n$  – структурні одиниці об'єкта діагностування;  
 $A_1, A_2, A_{n-1}$  – контрольні точки (вихідні сигнали з кожної СО);  
 $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_{n-1}$  – перевірки,  $n$  – порядковий номер СО в схемі

Послідовність виконання перевірок при пошуку дефекту представлена у вигляді графа (дерева), де вершинами є перевірки, а гілки вказують напрямок переходу в залежності від результату перевірки, кінцеві вершини - виявлені дефекти.

Перевірку наявності дефекту в СО можна проводити двома шляхами: від початку до кінця і від кінця до початку. У першому випадку необхідно виконати перевірку  $\Pi_1$  в точці  $A_1$ . Якщо сигнал в допустимих межах, то перевірку  $\Pi_2$  слід виконати в точці  $A_2$ , яка дозволить визначити стан  $CO_2$ . Якщо результат перевірки негативний, то дефект в даній структурній одиниці, якщо позитивний, то необхідно виконати перевірку в наступній точці і т.д.

У другому випадку (від кінця до початку), якщо результат перевірки  $\Pi_1$  в точці  $A_{n-1}$  негативний, то наступну перевірку  $\Pi_2$  необхідно виконати в точці  $A_{n-2}$ .

При позитивному результаті - дефект в  $CO_{n-1}$ , при негативному - виконується наступна перевірка. В результаті виконання послідовності перевірок, пошук призводить до певного стану, відповідному виявленню СО, яка відмовила.

Паралельний спосіб пошуку – коли ОД розбивається кожною перевіркою на дві рівні, або майже рівні частини, якщо відповідно має парне або непарне число СО. На рисунку 1.7 показаний універсальний алгоритм пошуку дефектної СО паралельним способом.

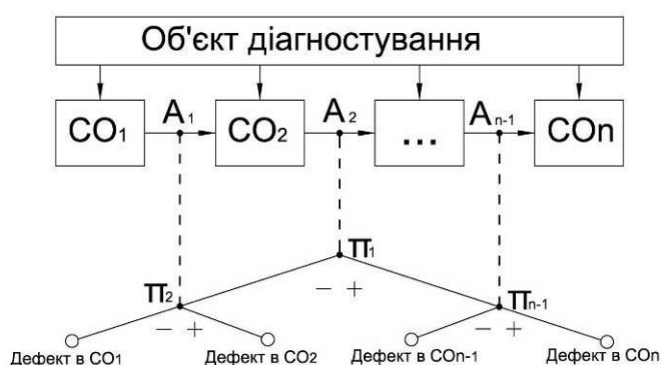


Рис. 1.7 – Універсальний алгоритм пошуку дефектної СО паралельним способом:  
 $CO_1, CO_2, CO_n$  – структурні одиниці об'єкту діагностування;  
 $A_1, A_2, A_{n-1}$  – контрольні точки (вихідні сигнали з кожної СО);  
 $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_{n-1}$  – перевірки;  $n$  – порядковий номер СО в схемі

Наприклад, для ОД, яка складається з 4-х структурних одиниць ( $n = 4$ ) пошук проводиться таким чином: перша перевірка  $\Pi_1$  виконується в точці  $A_2$ . Якщо результат негативний, то наступна перевірка  $\Pi_2$  виконується в точці  $A_1$ , в результаті чого визначається місце знаходження дефекту ( $CO_1$  або  $CO_2$ ). В іншому випадку призначається перевірка  $\Pi_{n-1}$  в точці  $A_{n-1}$ , що дозволяє визначити дефект в  $CO_{n-1}$  або  $CO_n$ .

При комбінованому способі пошуку дефектної СО має місце поєднання послідовного і паралельного способів.

Після виявлення дефектної СО переходять до пошуку несправного елемента. Для дефектної СО будується блок схема, за якою шукається несправний елемент, рис. 1.8.

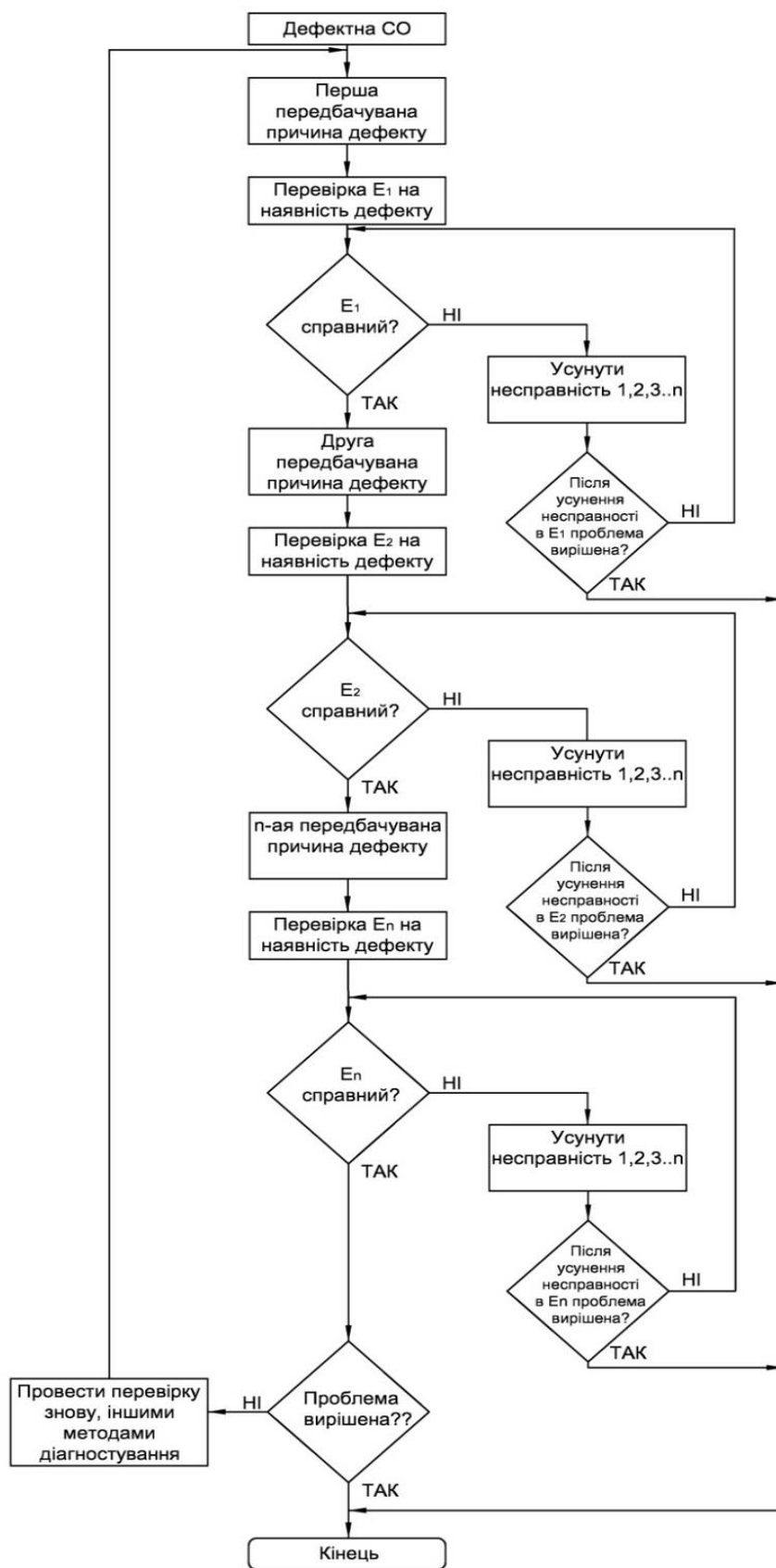


Рис. 1.8 –Алгоритм пошуку дефекту в СО

Для складання алгоритму пошуку дефекту використовуються такі моделі ОД, як принципові схеми, схеми з'єднань та підключень, а також об'єднані схеми. СО розбивається на окремі взаємопов'язані вузли або прості елементи, та проводиться перевірка кожного. Перевірки проводяться різними методами в залежності від рішення ОПР. Після знайдення несправності, система тестується та повертається до виконання своїх функцій.

На сьогоднішній день, підвищення ефективності САУ намагаються досягти двома способами.

*Перший спосіб* - це підготовка висококваліфікованого персоналу. Для швидкого знаходження та усунення дефекту ОД, ОПР повинен володіти багатьма знаннями та досвідом, а також володіти широким спектром особистих якостей. Крім того, вміти пристосовуватися до об'єктивних причин, що утрудняє пошук несправностей.

Проблема в тому, що навіть при наявності всіх цих якостей в одному ОПР (що вкрай мало ймовірно) процес пошуку дефекту може відбуватися досить довго. Так відбувається тому, що обсяг інформації, одержуваної оператором, в кожному конкретному випадку найчастіше носить надлишковий характер. Один і той же ОД, як правило, представлений різними моделями, а обсяг інформації про його елементи та взаємозв'язки між ними, а також різні особливості, значно перевищує рівень, необхідний для відшукання дефекту.

В результаті виходить, що неможливо швидко скласти чіткої схеми дій при пошуку дефекту. ОПР завжди змушений тримати в голові всі способи і алгоритми перевірок, розуміти, коли слід замінити один метод іншим в процесі пошуку одного і того ж дефекту, постійно осмислювати, що використовувати в даний момент часу. В цьому випадку спрацьовує такий фактор людської психіки, як обмеженість переробляти велику кількість інформації (від 5 до 9) в одиницю часу.

У підсумку, навіть компетентний ОПР при пошуку несправності, потрапляє в обов'язкові тимчасові рамки, які збільшують процес пошуку несправності.

*Другий спосіб* - це підвищення надійності ОД шляхом посилення контролю над працездатністю основних вузлів ОД та взаємозв'язків між ними.

Проблема, тут, в тому, що конструктивні, схемні та технологічні можливості підвищення надійності суднових систем обмежені, та практично вичерпані. Більш того, підвищення надійності ОД за рахунок конструктивного ускладнення систем діагностування, як правило, передбачає зростання кількості вимірювань с збільшенням розмірності ланцюга, який діагностують, а це вимагає збільшення кількості контрольних точок в ОД, що неминуче породжує нову проблему, пов'язану з надійністю самих систем діагностування. Крім того, їх помилкові спрацьовування можуть запускати ланцюжок неправильних дій оператора.

В результаті, навіть багатофункціональні системи діагностування хоч і допомагають знизити кількість відмов електрообладнання, шляхом своєчасного інформування оператора про порушення в роботі того чи іншого механізму, але мало сприяють швидкому знаходженню та усуненню дефекту, в разі виникнення відмови суднової системи. А це вимагає високу кваліфікацію обслуговуючого персоналу та велику тривалість виконання перевірок, що в умовах автономного плавання і при низькій кваліфікації персоналу може призвести до небажаних наслідків.

Таким чином, можна зробити висновок про необхідність впровадження спеціальних інформаційних систем, що дозволять навіть при невисокій кваліфікації обслуговуючого персоналу та низьку ефективність контролю ОД швидко здійснювати пошук несправностей в суднової системі, яка відмовила.

#### **1.4. Суднова система діагностування як об'єкт управління**

На сучасний час автоматика перетворилася на величезну область людських знань, цінність яких полягає не тільки в їх практичному використанні, але і в світоглядному аспекті [24].

Уявімо судно, як складний динамічний об'єкт, що складається з декількох зв'язкових підсистем [9, 25, 79, 106]. Для більш повного розуміння досліджуваного нами об'єкту уявімо суднову АПС у вигляді схеми керованого об'єкта, рис. 1.9.





Рис. 1.9 – Система АПС, як об'єкт управління

Вхідні впливи – це сигнали, що входять в систему АПС, які є зовнішніми по відношенню до суднової системи діагностування, та впливають на її поведінку. Зовнішні сигнали поділяють на сигнали керуючі  $u_1, u_2, \dots, u_m$  та збуджуючі впливи  $g_1, g_2, \dots, g_k$ .

До керуючих сигналів відносять:

- сигнали, що вводить оператор, які корегують параметри системи;
- підтверджуючі сигнали, отримані оператором у вигляді зворотного зв'язку про виникнення помилки;
- сигнали на пуск/вимикання допоміжних/резервних механізмів судна.

До збуджуючих впливів відносять діагностичні сигнали від контрольованих параметрів судових систем. Вихідні змінні, або змінні, що дозволяють описати деякі аспекти поведінки судових систем, що представляють інтерес для оператора про можливості їх подальшого функціонування  $y_1, y_2, \dots, y_s$ . Змінні стану (проміжні змінні)  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , які характеризують стан контрольованих систем, представлено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Величини, що характеризують стан системи

№ пп	Стан	Управління	Збурення	Вихідні значення
1	$x_1$	$u_1$	$g_1$	$y_1$
2	$x_2$	$u_2$	$g_2$	$y_2$
...	...	...	...	...
n	$x_n$	$u_m$	$g_k$	$y_s$

Для зручності оперування з багатовимірними величинами сукупність керуючих змінних представляємо у вигляді вектора управління  $\vec{u}$ . Аналогічним чином введемо поняття вектора збурення  $\vec{f}$ , вектора виходу  $\vec{y}$  та вектора стану  $\vec{x}$ :

$$\vec{u} = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_m \end{pmatrix}; \quad \vec{f} = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_k \end{pmatrix}; \quad \vec{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_s \end{pmatrix}; \quad \vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}. \quad (1.13)$$

Множина всіх значень, які може прийняти вектор  $\vec{u}$  в момент часу  $t$ , утворює простір управління. Аналогічно введемо поняття простору збурень, простору виходів та простору станів.

Тобто в будь-який момент часу  $t$  стан системи є функцією початкового стану  $\vec{x}(t_0)$  та векторів  $\vec{u}(t_0, t)$  і  $\vec{g}(t_0, t)$ . Якщо відомо, як змінювалися ці вектори на інтервалі  $[t_0, t]$ , то однозначно можна визначити стан системи  $\vec{x}(t)$ :

$$\vec{x}(t) = F\{\vec{x}(t_0), \vec{u}(t_0, t), \vec{g}(t_0, t)\} \quad (1.14)$$

Вектор виходу в момент часу  $t$  є функцією тих же змінних:

$$\vec{y}(t) = \Psi\{\vec{x}(t_0), \vec{u}(t_0, t), \vec{g}(t_0, t)\} \quad (1.15)$$

### 1.5. Модель системи пошуку причин несправності суднового обладнання за участю ОПР

Пошук несправностей порівняно простого по конструкції електрообладнання не викликає особливих труднощів, а для виявлення несправностей складного електрообладнання та складних схем управління потрібно складати алгоритми пошуку несправностей, які дозволяють визначити найбільш раціональну послідовність виконання операцій. При цьому повинні забезпечуватися мінімальні витрати часу та коштів на проведення пошуку.

Модель системи пошуку причин несправності суднового обладнання за участю ОПР розглянемо у вигляді схеми (рис. 1.10).

Процес пошуку причини несправності  $Z$  характеризується набором наступних показників:

$$Z = \{T_B, Y^Z, Q^Z, X^Z\}, \quad (1.16)$$

де  $Z = \{1 \dots b\}$  – кількість відмов які надійшли в одиницю часу;

$T_B$  – середній час усунення несправності;

$Y^Z = \{Y_1^Z, Y_2^Z \dots Y_h^Z\}$  – вхідні параметри: числові та буквені ідентифікатори по несправностей, які виникли;

$Q^Z = \{Q_1^Z, Q_2^Z \dots Q_w^Z\}$  – рівень складності системи яка відмовила, конструктивні особливості, суб'єктивні якості особи що приймає рішення, наявність необхідних запасних частин, зовнішні умови і т.д.

$X^Z = \{X_1^Z, X_2^Z \dots X_v^Z\}$  – вихідні характеристики: пріоритетність вибору причини, способи та методи усунення несправності.

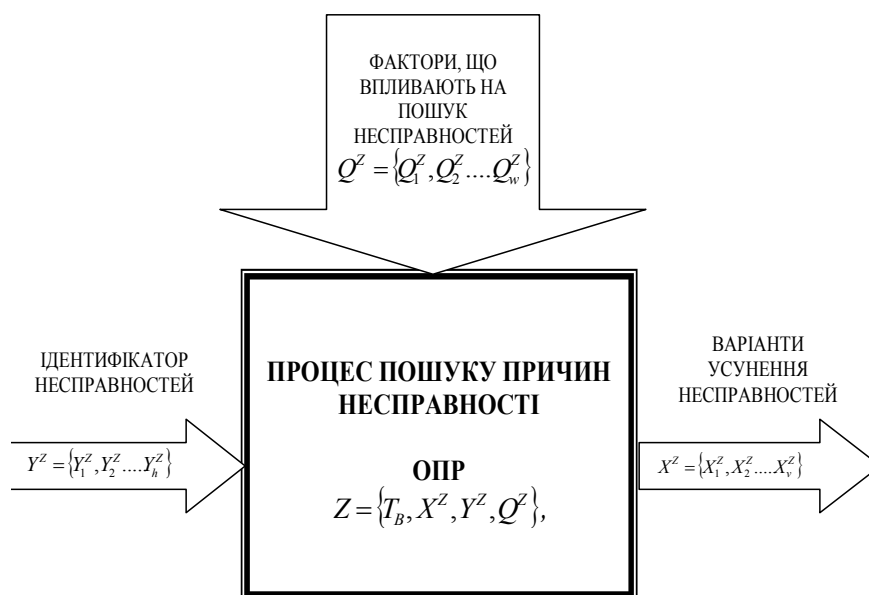


Рис. 1.10 – Узагальнена модель усунення несправності за участю ОПР

В якості входів розглядається кількість відмов за одиницю часу, що впливають на підтримання системи в працездатному стані, а в якості виходів - сукупність

варіантів усунення несправності. Вплив факторів, що впливають на відновлення працездатності можуть мати випадковий характер і виявлятися у зміні  $Q^Z$ .

### 1.6. Розрахунок середнього часу відновлення працездатності несправної суднової системи

Час відновлення працездатного стану обладнання повинний включати в себе: середній час пошуку та аналізу необхідної інформації, час на відшукання конкретної причини несправності, час на усунення несправності та час на її перевірку [6, 60, 85, 86].

Під середнім часом відновлення працездатності суднової системи слід розуміти математичне очікування часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови, яке визначається за формулою:

$$T_{\epsilon} = t_{no} + t_{oy} + t_y + t_{np} \quad (1.17)$$

де:  $T_{\epsilon}$  – середній час відновлення працездатності суднової системи;  
 $t_{no}$  – середній час пошуку та аналізу необхідної інформації;  
 $t_{oy}$  – середній час відшукання конкретної причини несправності;  
 $t_y$  – середній час усунення несправності;  
 $t_{np}$  – середній час перевірки функціонування системи.

Значення  $t_{no}$  визначаємо за формулою:

$$t_{no} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \quad (1.18)$$

де:  $t_1$  – час на пошук та аналіз необхідної документації, а саме: час на пошук принципових схем, час на пошук структурних, монтажних схем, а також схем з'єднань та підключень. А також час на аналіз принципу дії системи яка відмовила.

$t_2$  – час на пошук взаємозв'язків між структурними одиницями та їх елементами на схемах;

$t_3$  – час на вироблення методів та алгоритмів пошуку несправності, виходячи зі знайденої та проаналізованої інформації;

$t_4$  – час на пошук фізичного місця розташування ключових вузлів, терміналів з'єднань, сполучних коробок та інших компонентів які потрібно перевірити (датчиків, реле, контакторів, електронних карт і т.д.);

$t_5$  – час на аналіз результатів перевірок та внесення необхідних коректив на підставі додаткової інформації.

Значення  $t_{oy}$  простих систем та систем середньої складності визначаємо за формулою:

$$t_{oy} = \sum_{j=1}^N t_j \quad (1.19)$$

де  $N$  – число діагностичних ознак, за якими оператор визначає можливу причину несправності;

$t_j$  – час оцінки  $j$ -й можливої причини несправності;

Значення  $t_{oy}$  для складних систем визначаємо формулою:

$$t_{oy} = P_0 \sum_{j=1}^N t_j + (1 - P_0) \cdot t_{om} \quad (1.20)$$

Значення  $P_0$  визначається по формулі:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \cdot \lambda_{i0}}{\sum_{i=1}^m n_i \cdot \lambda_i} \quad (1.21)$$

де  $P_0$  – ймовірність правильної роботи об'єкта діагностування;

$n_i$  – число структурних одиниць в складі обладнання;

$\lambda_i$  – інтенсивність надходження сигналів про відмови від ОД;

$\lambda_{i0}$  – інтенсивність коректного спрацювання сигналів, які надійшли про відмови в ОД;

$t_{om}$  – середній час відшукування несправності в структурній одиниці об'єкта діагностування.

Для розрахунку середнього часу відшукування несправної структурної одиниці використовується формула:

$$t_{об} = t_{он} + \sum_{j=1}^{M_1} \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^{M_1} \lambda_j} t_{оуj} , \quad (1.22)$$

де  $t_{об}$  – середній час відшукування несправної структурної одиниці ОД;

$t_{он}$  – середній час визначення конкретної ознаки несправності;

$M_1$  – число можливих ознак несправності;

$\lambda_j$  – інтенсивність відмов пристрою, що призводять до  $j$ -ї ознаки несправності;

$t_{оуj}$  – середній час відшукування та усунення відмови пристрою при виявленні  $j$ -ї ознаки несправності.

Для розрахунку середнього часу відшукування несправності в структурній одиниці використовується формула:

$$t_{ом} = \sum_{i=1}^M t_i , \quad (1.23)$$

де  $t_{ом}$  – середній час відшукування несправності в структурній одиниці об'єкта діагностування;

$t_i$  – середній час перевірки  $i$ -го елемента структурної одиниці;

$M$  – кількість послідовно виконуваних операцій в алгоритмі відновлення.

## **1.7. Практичний досвід пошуку несправності суднового обладнання**

### **1.7.1. Застосування методу діагностичних матриць для пошуку несправності**

Всі можливі стани об'єкта діагностування утворюють кінцеву множину станів. В даному випадку несправна суднова система є «чорним ящиком» не тому, що її внутрішня структура та параметри повністю не відомі, а тому, що накладається заборона на доступ до них і стан системи можна визначати, тільки досліджуючи її

вихідні параметри. Для представлення об'єкту діагностування у вигляді «чорного ящика» задаємо: множину вхідних впливів від стимулюючих пристроїв та зовнішнього середовища; множину всіх вихідних (діагностичних) параметрів – ситуацій, що характеризують стан системи; множину всіх можливих причин конкретної проблемної ситуації; множину ознак, що характеризують конкретну причину несправності [6, 88, 90].

Завдання знаходження несправності формулюється так: за даними значеннями діагностичних параметрів визначаємо ситуацію, за якої відбулася відмова системи. Задаємо поточні значення всіх можливих причин для даної ситуації:  $S_1, S_2, \dots, S_m$ , тоді по кожній з них буде  $X_1, X_2, \dots, X_m$  ознак. Якщо відомі функціональні залежності між можливою причиною та ознаками, отримаємо:

$$\begin{aligned} S_1 &= \varphi_1(X_1, X_2, \dots, X_m) \\ S_2 &= \varphi_2(X_1, X_2, \dots, X_m) \\ &\dots \\ S_m &= \varphi_m(X_1, X_2, \dots, X_m) \end{aligned} \tag{1.24}$$

Ця система рівнянь є, по суті, математична модель об'єкта діагностування, що має  $n$  причин несправності та  $m$  ознак по кожній з них.

Для взаємозв'язку між можливими причинами несправностей та їх ознаками найбільшого поширення набули діагностичні матриці. Алгоритм застосування таких матриць полягає в наступному:

- складається повний перелік можливих причин несправностей;
- для кожної можливої причини несправності складається перелік ознак;
- множину технічних станів об'єкта замінюється кінцевою множиною, кожна з яких пов'язане з певною причиною.

Діагностична матриця, по суті, є формою запису системи рівнянь технологічного стану суднової системи, або її вузла. Кожному стовпцю матриці відповідають ознаки несправності  $X_i$ , таблиця 1.2.

Таблиця 1.2 – Діагностична матриця

Можлива причина відмови суднової системи, $S_i$	Ознаки несправностей			
	$X_1$	$X_2$	...	$X_m$
$S_1$	$X_{11}$	$X_{21}$	...	$X_{m1}$
$S_2$	$X_{12}$	$X_{22}$	...	$X_{m2}$
...	...	...	...	...
$S_n$	$X_{1n}$	$X_{2n}$		$X_{mn}$

З кожною  $i$ -ї несправністю поєднана конкретна ознака, що приймає два значення:

$$X_i = \begin{cases} 0 & \text{при відсутності признака} \\ 1 & \text{при наявності признака} \end{cases} .$$

Діагностичне завдання в цьому випадку формулюється так: для можливих причин несправності  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , отриманих при діагностичному обстеженні, визначити значення ознак  $X_1, X_2, \dots, X_m$  в момент перевірки, якщо відомі функціональні залежності (ознаки належать конкретної несправності).

Процес усунення несправності на основі моделі об'єкта діагностування, вираженої у вигляді діагностичної матриці, складається з наступних етапів:

- встановлюються всі можливі причини несправності  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ;
- значення ознак, для цих причин підставляються в систему рівнянь (2.12)
- процес знаходження несправності в системі, яка відмовила, полягає в знаходженні максимальної кількості "одиниць" (збіглих ознак) у одній або декількох можливих причин несправності.

### **1.7.2. Побудова діагностичної матриці для відновлення працездатності суднової системи за участю ОПР**

Експеримент з розрахунку середнього часу відновлення працездатності суднової системи був проведений на контейнеровозі «MSC Brunella»,



електромеханіком зі стажем роботи 15 років. Суднова система діагностування сигналізувала про несправності в системі кондиціонування повітря - SUCTION PRESSURE IS EXCESSIVELY LOW (низький тиск всмоктування). Для даної ситуації, аналізуючи наявну документацію ( $t_1$ ) по судну «MSC Brunella», отримано одинадцять можливих причин несправності та дванадцять сукупних ознак. На основі отриманих даних була складена діагностична матриця ( $t_2$ ) для даної ситуації, табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Узагальнена діагностична матриця для ситуації SUCTION PRESSURE IS EXCESSIVELY LOW (низький тиск всмоктування).

Можливі причини несправності, $S_n$		Ознаки, $X_m$											
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$
$S_1$	Частково забитий фільтр (Filter-drier partially plugged)	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
$S_2$	Мала заправка фреоном (Low refrigerant charge)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$S_3$	ТРВ клапан несправний (Expansion valve defective)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$S_4$	Соленоїдний клапан закритий (Liquid solenoid valve not opened)	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
$S_5$	No evaporator air flow or restricted air flow (немає потоку повітря через випарник)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$S_6$	Обмерзання випарника (Excessive frost on evaporator coil)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$S_7$	Обертання вентиляторів в зворотну сторону (Evaporator fan(s) rotating backwards)	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0

S <sub>8</sub>	Регулятор тиску несправний (Pressure regulator valve defective)	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S <sub>9</sub>	Датчик всмоктування несправний (Faulty suction pressure transducer)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S <sub>10</sub>	Збилася конфігурація контролера (Incorrect software and/or controller configuration)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S <sub>11</sub>	Несправний ТРВ (EEV control malfunction)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Ознаки несправності: X<sub>1</sub> – Filter drier is frozen (обмерзлий фільтр); X<sub>2</sub> – The current of compressor is lower than normal (ток компресора менше звичайного); X<sub>3</sub> – The unit can't reach set point (пристрій не може досягти уставки); X<sub>4</sub> – EV is excessively frozen (ТРВ обмерзлий); X<sub>5</sub> – The valve no click if test it by magnet (при перевірці магнітом клапана не клацають); X<sub>6</sub> - Visible ice on the evaporator coil (видимий лід на випарнику); X<sub>7</sub> - Condenser pressure is low (низький тиск в конденсаторі); X<sub>8</sub> - Compressor start and at once stopped by high pressure (компресор запускається і відразу зупиняється по високому тиску); X<sub>9</sub> - Evaporator coil is frozen (обмерзлий випарник); X<sub>10</sub> - No visible Freon flow in sight glass (не видно фреону в оглядове скло); X<sub>11</sub> - The coil is not warm if touch it (катушка соленоїда не тепла); X<sub>12</sub> - Controller give same errors (контролер видає багато помилок).

Множину діагностичних симптомів вихідної матриці розбито на групи, включаючи стовпчики з однаковими комбінаціями 0 та 1. Виявили ознаки, які мають у всіх рядках 1, вони не несуть будь-якої інформації та можуть бути виключені. У нашому експерименті це ознаки X<sub>3</sub> і X<sub>10</sub>. Потім записали вирази для всіх можливих несправностей, вказуючи діагностичні ознаки, що мають значення

В результаті ознаки несправності розподілилися наступним чином:

$$S_1 = S_2 = S_3 = S_5 = S_6 = S_7 = S_8 = S_9 = S_{10} = S_{11} = X_3 \wedge X_{10}$$

$$S_4 = X_3 \wedge X_5 \wedge X_7 \wedge X_{10} \wedge X_{11}$$

Так як виявлення несправностей  $S_1, S_2, S_3, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}$  здійснювалися за однаковими симптомами  $X_3$  і  $X_{10}$ , то ці несправності розглянуто як одну. Обрано передбачувану причину несправності з максимальною кількістю одиниць в шпальтах ознак. Найбільш ймовірна причина виходу з ладу системи кондиціонування була  $S_4$  - Liquid solenoid valve not opened (соленоїдний клапан закритий). Вибрано методи перевірок та алгоритми усунення для даної причини ( $t_3, t_4$ ). В даному експерименті причина  $S_4$  виявилася невірною і була перевірена наступна за пріоритетом "одиниць" причина ( $t_5$ )  $S_1$  - Filter-drier partially plugged (частково забитий фільтр). Ця причина виявилася вірною і після її усунення система повернулася в працездатний стан. Таким чином, час повернення системи в працездатний стан склало 12 годин. Виходячи з формули (1.17), (1.18) отримано:

$$T_g = 12 \text{ год.}; t_{no} = 9 \text{ год.}; t_{oy} = 2 \text{ год.}; t_y = 0,5 \text{ год.}; t_{np} = 0,5 \text{ год.}$$

Отримані значення відтворено у вигляді діаграми, рис. 1.11.



Рис. 1.11 – Діаграма витрати часу на відновлення працездатності системи без СППР

Узагальнюючи отриманий результат можна побачити, що 75% (9 годин з 12) йде на пошук та аналіз необхідної інформації, а також вироблення методів і алгоритмів для перевірки та усунення несправності. Також слід врахувати, що час значно збільшується при недостатньому знанні та досвіді обслуговуючого персоналу.

## 1.8. Розвідувальний статистичний аналіз несправностей суднових систем та їх можливих причин

Наступний експеримент був проведений для розрахунку кількості несправностей, зареєстрованих системою АПС в суднових системах за півріччя, а також кількості можливих причин цих несправностей. Дані про судові несправності (на протязі шести місяців) зібрані, умовно розбиті по рівням складності та приведені в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Несправності, зареєстровані за півріччя судновою системою АПС Kongsberg K-Chief 600 на контейнеровозі «MSC Brunella»

№ пп	Кількість несправностей, зареєстрованих системою АПС				
	Прості елементи (перший рівень складності)	Прості системи (другий рівень складності)	Системи середньої складності (третій рівень складності)	Складні системи (четвертий рівень складності)	Дуже складні системи (п'ятий рівень складності)
1	1. Pipe Duct BW level high (Приміщення труб, високий рівень води)	1. Ballast valve 061 open fail (Баластовий клапан 061 не откр.)	1. SCU 0800 NET COMMERR (Карта 0800 видає помилку)	1. Boiler burner swing out. (Полум'я котла нестійке)	1. PTG synchronization fail (Синхронізація турбогенератора не вдала)
2	2. HFO TK (PS) level high (Паливний танк (ЛБ), високий рівень води)	2. C/H 7 sup. Fan start fail (Вентилятор No.7 не запускається)	2. Bilge water oil content high (Вміст олії у воді високий)	2. SW cool. pump No.1 inverter abnormal (Інвертор насоса охолодження No.1 несправний)	2. Elevator abnormal (Лифт несправний)
...	...	...	...	...	...

24. ULS HFO Tк (PS) temp. Low (Паливний танк (ЛБ), низька температура)	126. Heating temp. of oil st-by AE 1 too low (Низька темп. нагріву генератора 1)	198. Working air compressor fail (Компресор робочого повітря несправний)	168. EDG common alarm (Аварійний генератор несправний)	12. Bow thruster not operation (Підрулюючий пристрій несправний)
Всього – 24	Всього – 126	Всього – 198	Всього – 168	Всього – 12

Для побудови розвідувального статистичного аналізу несправностей суднових систем дані з таблиці 1.4 перетворені в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Дані для побудови розвідувального статистичного аналізу

№	Змінна	Значення	Характеристика
1	M	180	кількість днів протягом яких реєструвалися несправності;
2	n	522	середня кількість несправностей за півроку
3	m	5	кількість рівнів складності
4	H <sub>1</sub>	від 2 до 6	кількість можливих причин несправності для простих елементів
5	H <sub>2</sub>	від 6 до 12	кількість можливих причин несправності для простих систем
6	H <sub>3</sub>	від 12 до 18	кількість можливих причин несправності для систем середньої складності
7	H <sub>4</sub>	від 18 до 24	кількість можливих причин несправності для складних систем
8	H <sub>5</sub>	від 24 до 30	кількість можливих причин несправності для дуже складних систем
9	X <sub>1</sub>	4	середня кількість можливих причин несправності для простих елементів

10	$X_2$	9	середня кількість можливих причин несправності для простих систем
11	$X_3$	15	середня кількість можливих причин несправності для систем середньої складності
12	$X_4$	21	середня кількість можливих причин несправності для складних систем
13	$X_5$	27	середня кількість можливих причин несправності для дуже складних систем
14	$N_1$	24	несправності за півроку, що відносяться до простих елементів
15	$N_2$	126	несправності за півроку, що відносяться до простих систем
16	$N_3$	198	несправності за півроку, що відносяться до систем середньої складності
17	$N_4$	162	несправності за півроку, що відносяться до складних систем
18	$N_5$	12	несправності за півроку, що відносяться до дуже складних систем

В таблиці 1.5 наведено дані, зареєстрованих системою АПС протягом 6 місяців. На базі цих даних побудовано варіаційно-частотний ряд спостережень (табл. 1.6) для кількості несправностей та кількістю можливих причин для кожної несправності, які необхідно перевірити, щоб усунути їх, де  $H_j$  – інтервал гістограми – кількість можливих причин для кожної несправності;  $N_j$  – частота несправностей на заданому інтервалі.

Таблиця 1.6 – Варіаційно-частотний ряд спостережень несправностей зареєстрованих судновою системою АПС

$H_j$	2-6	6-12	12-18	18-24	24-30	$\Sigma$
$N_i$	24	126	198	162	12	$n=522$
Рівень складності системи	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	

На рис. 1.12 показано гістограму несправностей, побудованою за півріччя.

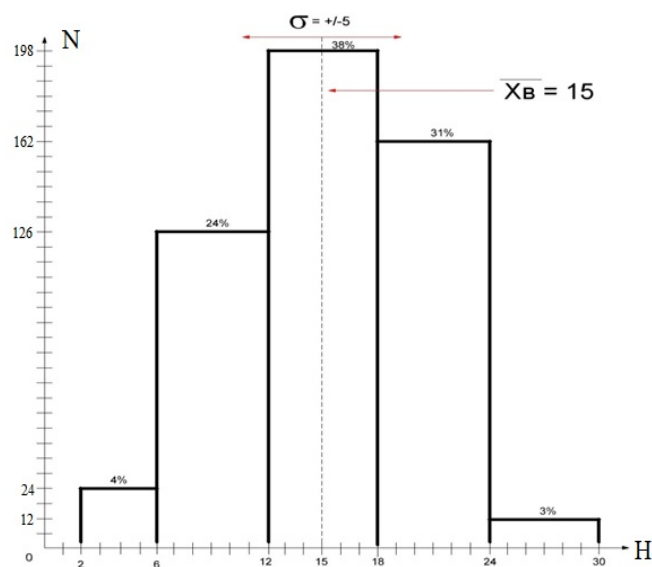


Рис. 1.12 – Гістограма несправностей за півріччя

Гістограма дала нам наочне уявлення про кількість можливих причин несправностей для систем різних рівнів складності. Ми бачимо, що крайні інтервали рідше зустрічалися, тобто кількість несправностей за півріччя, що відносяться до 1-го та 5-го рівням складності зустрічалися найменшу кількість разів.

Відносна частота подій за півріччя  $W_i$ , для кожного інтервалу гістограми:

$$W_i = \frac{N_i}{n} \quad (1.25)$$

де  $N_i$  – частота несправностей на заданому інтервалі, що належить до конкретного рівня складності системи;  $n$  - загальна кількість несправностей протягом півріччя.

Таким чином, загальне число несправностей, які трапилися за півріччя розподілилося таким чином:

$$W_1 = \frac{24}{522} = 0,04; \quad 0,04 \cdot 100 = 4\% \quad - \text{кількість несправностей систем першого}$$

рівня складності;

$$W_2 = \frac{126}{522} = 0,24; \quad 0,24 \cdot 100 = 24\% \quad - \text{кількість несправностей систем другого рівня}$$

складності;

$$W_3 = \frac{198}{522} = 0,38; \quad 0,38 \cdot 100 = 38\% \quad - \text{кількість несправностей систем третього}$$

рівня складності;

$$W_4 = \frac{162}{522} = 0,31; \quad 0,31 \cdot 100 = 31\% \quad - \text{кількість несправностей систем четвертого}$$

рівня складності;

$$W_5 = \frac{12}{522} = 0,03; \quad 0,03 \cdot 100 = 3\% \quad - \text{кількість несправностей систем першого}$$

рівня складності.

Отримані дані представлені у вигляді діаграми, рис. 1.13.

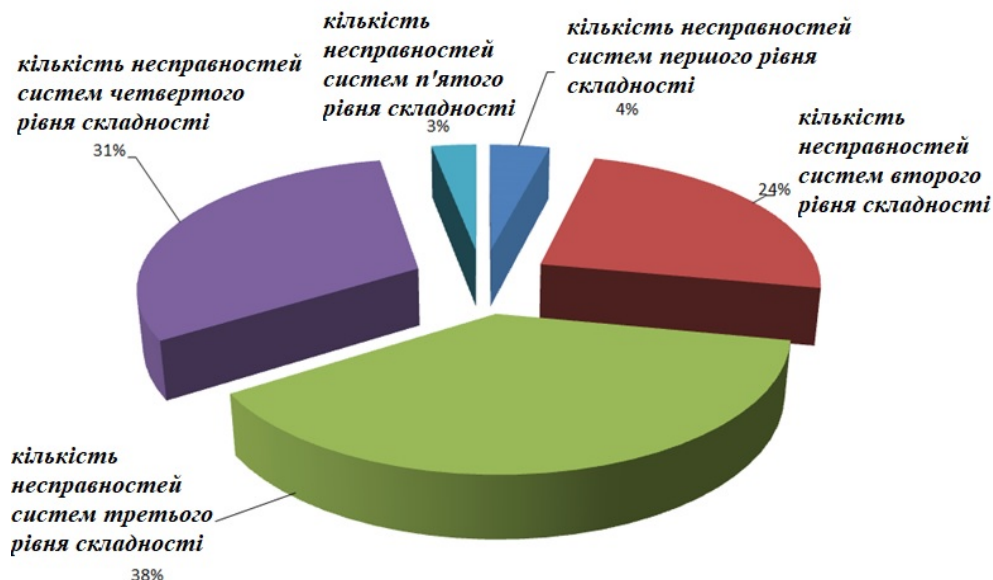


Рис. 1.13 – Діаграма розподілу несправностей на судні за півріччя

Перша вибіркова характеристика, яка була знайдена, це – вибіркоче середнє:



$$\overline{X}_B = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \cdot N_i \cdot X_i, \quad (1.26)$$

де  $\overline{X}_B$  – вибіркоче середнє.

Для визначення вибіркового середнього було знайдено значення добутку варіанти на її частоту  $X_i \cdot N_j$  для кожної варіанти (табл. 1.7), та розраховано вибіркоче середнє:

$$\overline{X}_B = \frac{96 + 1134 + 2970 + 3402 + 324}{522} = \frac{7926}{522} \approx 15$$

Також було знайдено відхилення від середнього значення –  $X_i$  та квадрат відхилення, для кожної варіанти. Всі дані занесені в таблицю 1.7.

Таблиця 1.7 – Вибіркові характеристики.

$X_i$	4	9	15	21	27	$\Sigma$
$N_j$	24	126	198	162	12	n=522
$X_i \cdot N_j$	96	1134	2970	3402	324	7926
$X_i - \overline{X}_B$	-11	-6	0	6	12	
$N_j (X_i - \overline{X}_B)^2$	2904	4536	0	5832	1728	15000

Наступна вибіркова характеристика – це дисперсія, тобто середній квадрат відхилення від середнього значення  $D_B$ .

$$D_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cdot (X_i - \overline{X}_B)^2, \quad (1.27)$$

де  $D_B$  – вибіркова дисперсія.

Користуючись даними таблиці табл. 1.7 було знайдено вибірккову дисперсію  $D_B$ :

$$D_B = \frac{2904 + 4536 + 0 + 5832 + 1728}{522} = \frac{15000}{522} \approx 28,7$$

Знаючи вибірккову дисперсію  $D_B$ , було знайдено середнє квадратичне відхилення від середнього значення.

$$\sigma_B = \sqrt{D_B},$$

де  $\sigma_B$  середнє квадратичне відхилення від середнього значення.

$$\sigma_B = \sqrt{28,7} \approx 5$$

Проведений математичний аналіз показав, що середня кількість можливих причин несправностей при виході суднової системи з працездатного стану  $\overline{X}_B = 15$  із середнім квадратичним відхиленням  $\sigma_B = 5$

За отриманими даними зробимо висновок, що дуже часто, навіть досвідчені фахівці електромеханіки витрачають багато часу на пошук та аналіз причин несправності та алгоритмів їх усунення.

### 1.9. Висновки по першому розділу

1. Проведено аналітичний огляд функцій та завдань сучасних судових АПС. Виявлено, що сучасні системи АПС наділені загальним недоліком: виконують функцію лише інформаційно-попереджувального характеру про об'єкт діагностування. У разі відмови системи, проблема пошуку можливих причин цієї несправності та методів її усунення залишається відкритою.

2. Розглянуто основні показники надійності складних технічних систем, а також ефективність та надійність роботи судових систем.

4. Розглянуто моделі та особливості пошуку несправностей в судових системах.

5. Суднова система розглянута, як об'єкт управління. Описані величини які характеризують стан системи в будь-який момент часу.

6. Описано модель системи пошуку причин несправності суднового обладнання за участю ОПР.

7. Проведено розрахунок середнього часу відновлення працездатності несправної суднової системи.

8. Описано практичний експеримент знаходження несправності в суднової системі, яка відмовила, використовуючи метод діагностичних матриць. Розраховано середній час, необхідний для відновлення системи до робочого стану.

9. Проведено розвідувальний статистичний аналіз несправностей суднових систем та їх можливих причин за півріччя. Результати показали, що середня кількість можливих причин несправностей при виході суднової системи з працездатного стану  $\overline{X}_B = 15$  із середнім квадратичним відхиленням  $\sigma_B = 5$ .

Даний результат дозволяє зробити висновок, що дуже часто, навіть досвідчені фахівці електромеханіки витрачають багато часу на пошук та аналіз причин несправності та алгоритмів їх усунення.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЧАСУ ПОШУКУ НЕСПРАВНОСТЕЙ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

#### 2.1. Математична модель системи діагностування в задачах автоматичного контролю

Стан системи відділяє майбутнє від минулого, так що стан містить всю інформацію, необхідну для визначення реакції об'єкта на довільний вхідний сигнал. Найбільше, що можна зробити, це сформулювати властивості, якими повинна володіти система, поведінка якої відповідає поняттю стану [24].

Основною властивістю стану є те, що майбутні значення його не залежать від характеру досягнення системою її поточного стану. Стан системи в даний момент часу, а також поточний і майбутні значення її входів єдиним чином визначають сьогодення та майбутні значення її стану та виходів.

Для розглянутої в розділі 1 моделі системи діагностування були використані наступні визначення: вектор  $\mathbf{x}$  - вектор станів, вектор  $\mathbf{u}$  - вектор управління, вектор  $\mathbf{g}$  - вектор збурення.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \mathbf{x}; \quad \dim \mathbf{x} = n; \quad \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} = \mathbf{u}; \quad \dim \mathbf{u} = m; \quad (2.1)$$

$$\begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_k \end{bmatrix} = \mathbf{g} \quad \dim \mathbf{g} = k.$$

Для можливості обліку конструктивних особливостей об'єкта введемо безліч параметрів у вигляді матриці  $A$ . Така матриця параметрів буде необов'язково прямокутна.

Введемо поняття динамічного об'єкта  $W$ , який набирає вигляду  $W = W(x, u, g, A)$ . Якщо взяти  $A = \text{const}$  та за умови незалежності поведінки системи

від зовнішніх впливів, можливо досліджувати залежність векторів від часу. Для цього зафіксуємо точку режиму при  $\mathbf{x}^*$ ,  $\mathbf{u}^*$ ,  $\mathbf{g}^*$ . З огляду на умови збереження стану ОД для вихідної величини (2.1) без урахування управління та збурення отримуємо:

$$\mathbf{x} \in \varepsilon(\mathbf{x}^*) \rightarrow \mathbf{y} \approx \mathbf{x}^* + \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}} \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}^2} \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} + \frac{1}{6} \frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}^3} \frac{d^3 \mathbf{x}}{dt^3} + \dots + \mathbf{R} = \mathbf{0}. \quad (2.2)$$

Для зміни контрольованих параметрів об'єкта діагностування в межах допустимих режимів роботи без управлінь та збурень отримуємо різні моделі, висловлюючи їх відносно старшої похідної (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Моделі допустимих режимів роботи ОД

Порядок моделі	Рівняння моделі
1	$\frac{d\mathbf{x}}{dt} + \left( \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}} \right)^{-1} \mathbf{x} = \mathbf{0}$
2	$\frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} + \left( \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}^2} \right)^{-1} \left( \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}} \right) \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \left( \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}^2} \right)^{-1} \mathbf{x} = \mathbf{0}$
3	$\frac{d^3 \mathbf{x}}{dt^3} + \left( \frac{1}{6} \frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}^3} \right)^{-1} \left( \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}^2} \right) \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} + \left( \frac{1}{6} \frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}^3} \right)^{-1} \left( \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}} \right) \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \left( \frac{1}{6} \frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}^3} \right)^{-1} \mathbf{x} = \mathbf{0}$

Якщо матричні коефіцієнти в моделі постійні, то така модель володіє лінійністю. Позначивши матриці в рівняннях моделі  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ , отримаємо стандартну форму моделі динаміки системи в просторі станів.

Рівняння зміни стану ОД в межах допустимих значень лінійної системи третього порядку має вигляд:

$$\ddot{\mathbf{x}} + A_2 \dot{\mathbf{x}} + A_1 \dot{\mathbf{x}} + A_0 \mathbf{x} = \mathbf{0}. \quad (2.3)$$

Вплив управлінь та збурень на ОД можна описувати тим же методом, але зазвичай є достатні моделі з правою частиною нульового порядку [1]:

$$\ddot{\mathbf{x}} + A_2 \dot{\mathbf{x}} + A_1 \dot{\mathbf{x}} + A_0 \mathbf{x} = B\mathbf{u} + Q\mathbf{g} \quad (2.4)$$

Застосуємо формулу Коші для опису моделі динамічної системи ОД в просторі станів:

$$\dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} + B\mathbf{u} + Q\mathbf{g} \quad (2.5)$$

Виходячи з формули (2.5) можемо вказати на можливість моделювання динамічного об'єкта. У найпростішому випадку спостерігаються впливи управління та збурення при відомих матрицях моделі ОД. Об'єднавши рівняння моделі та об'єкта, отримаємо систему:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= A\mathbf{x} + B\mathbf{u} + Q\mathbf{g} \\ \dot{\mathbf{x}}_m &= A_m\mathbf{x}_m + B_m\mathbf{u}_m + Q_m\mathbf{g}_m \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Припущення ідентичності моделі об'єкту та вимірювання управлінь та збурень дозволяє реалізувати модель  $W_m$  для об'єкта  $W$  (рис. 2.1), яка може «рухатися» у темпі об'єкта  $W$  або випереджати його. Розглядаючи модель та об'єкт, отримуємо просту схему для оцінки відхилення моделі від об'єкта (рис. 2.1).

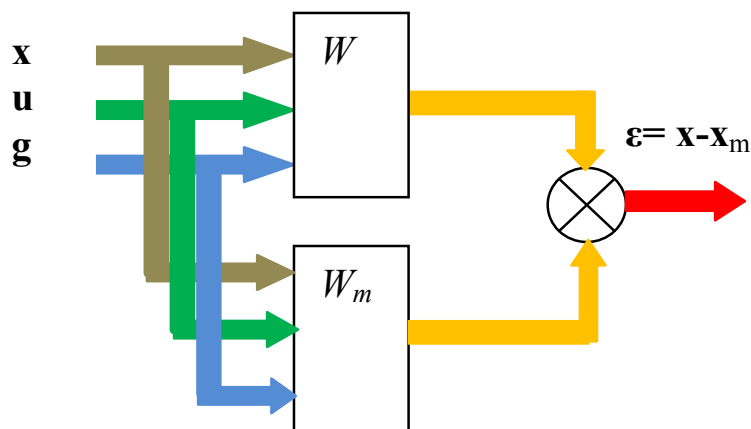


Рис. 2.1 – Формування оцінки відхилення системи і її моделі

Під помилкою будемо розуміти різницю вектора стану об'єкта діагностування та його моделі:

$$\dot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{x}}_m = A\mathbf{x} - A_m\mathbf{x}_m + B\mathbf{u} - B_m\mathbf{u}_m + Q\mathbf{g} - Q_m\mathbf{g}_m \quad (2.7)$$

Для ідентичної моделі і вимірюваних управліннях та збуреннях отримуємо рівняння у відхиленнях

$$A=A_m; B=B_m; Q=Q_m \rightarrow \dot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{x}}_m = A(\mathbf{x} - \mathbf{x}_m) \rightarrow \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = A\boldsymbol{\varepsilon} \quad (2.8)$$

При рівних початкових умовах модель та система знаходяться в однакових станах, тобто  $\varepsilon=0$ . При різних початкових умовах та за умови асимптотичної стійкості системи (2.8), помилка оцінки вектора стану зведеться до нуля тільки через певний час.

Усунути такий недолік в оцінці вектора станів можливо введенням пропорційного регулятора в управління моделлю, з матрицею передачі  $W_H$ . Тоді отримуємо систему рівнянь:

$$\dot{\varepsilon} = (A + W_H)\varepsilon \rightarrow \dot{\varepsilon} = G\varepsilon \quad (2.9)$$

Алгоритм усунення помилки оцінювання стану (2.9) показано на рис. 2.2.

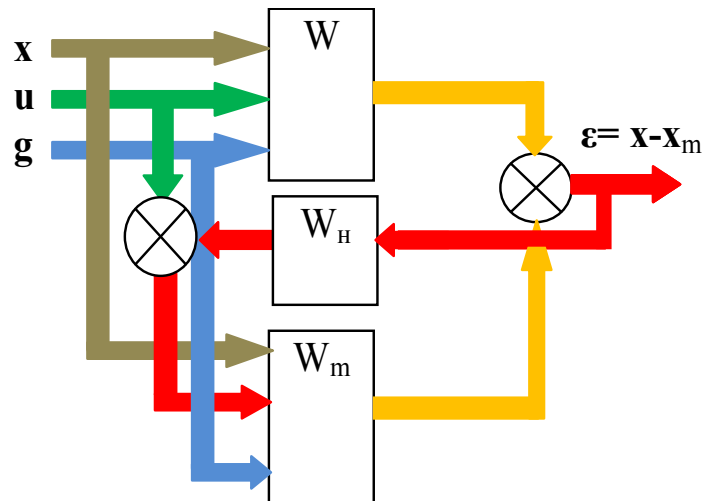


Рис. 2.2 – Усунення помилки початкових умов

Введення додаткового контуру регулювання за помилкою  $\varepsilon$  дозволить досить швидко усунути цю помилку, яка була визначена відмінностями початкових умов. В такому випадку модель буде «наздоганяти» об'єкт, коректуючи своє управління на помилку  $\varepsilon$ . Такий підхід визначимо як асимптотичний спостерігач стану. Цей метод дозволяє виключити тільки помилку, пов'язану з початковими умовами або неконтрольованими збуреннями.

Динамічні характеристики системи (2.9) визначаються власними числами матриці  $G$ . Оскільки матриця  $W_H$  вибирається довільно, можемо вибором  $W_H$  вибрати власні числа матриці  $G$ , які забезпечать необхідну асимптотичну збіжність помилки оцінювання до нуля.

Реалізація методу проста як в аналоговій реалізації, так і в цифровому алгоритмі. Наприклад, реалізація методом Рунге-Кутти першого порядку має вигляд для рівняння першого порядку:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} \approx \frac{\mathbf{x}(t + \Delta t) - \mathbf{x}(t)}{\Delta t}; \quad \dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} \quad \rightarrow \quad \frac{\mathbf{x}(t + \Delta t) - \mathbf{x}(t)}{\Delta t} = A\mathbf{x}(t) \quad (2.10)$$

Тоді для пари об'єкт модель отримуємо:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(t + \Delta t) &= \mathbf{x}(t) + A\mathbf{x}(t)\Delta t \\ \mathbf{x}_m(t + \Delta t) &= \mathbf{x}_m(t) + A\mathbf{x}_m(t)\Delta t \end{aligned} \right\} \rightarrow \quad (2.11)$$

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(t) &= \mathbf{x}_n \\ \mathbf{x}(t + \Delta t) &= \mathbf{x}_{n+1} \end{aligned} \right\} \rightarrow \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_{n+1} = \boldsymbol{\varepsilon}_n + A\boldsymbol{\varepsilon}_n\Delta t$$

Щоб отримати високу ступінь збіжності введемо додатковий зв'язок:

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_{n+1} = \boldsymbol{\varepsilon}_n + (A + W_H)\boldsymbol{\varepsilon}_n\Delta t \quad (2.12)$$

Для ідентифікації моделей динамічних об'єктів [8-13, 47] повторимо підхід, який використовується при побудові спостерігача.

Припустимо, що в системі рівнянь в просторі станів матриця об'єкта відрізняється від матриці моделі. У найпростішому випадку одновимірної системи (суднової системи 1-3 рівня складності) маємо

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}(t) &= ax(t) \\ \dot{x}_m(t) &= a_m x_m(t) \end{aligned} \right\} \rightarrow \dot{x}(t) - \dot{x}_m(t) = ax(t) - a_m x_m(t) \quad (2.13)$$

Приймемо, що  $\Delta a = a - a_m$ ,  $\Delta x = x - x_m$ . Тоді отримаємо (2.13) у вигляді

$$\Delta \dot{x} = a_m \Delta x + \Delta a x \quad (2.14)$$

Так як  $\Delta x$  можна виміряти з рівняння (2.14), можемо визначити величину помилки оцінки матриці моделі  $\Delta a$

$$\Delta a = \frac{\Delta \dot{x} - a_m \Delta x}{x} \quad (2.15)$$



Для багатовимірних систем, таких, як суднова система діагностування, в просторі станів замість простого розрахунку (2.15) використовуються матричні рівняння, але суть методу від цього не зміниться. Таким чином, в структуру системи вводиться додатковий оптимальний регулятор  $W_u$ , який забезпечує підстроювання моделі під об'єкт (рис. 2.3).

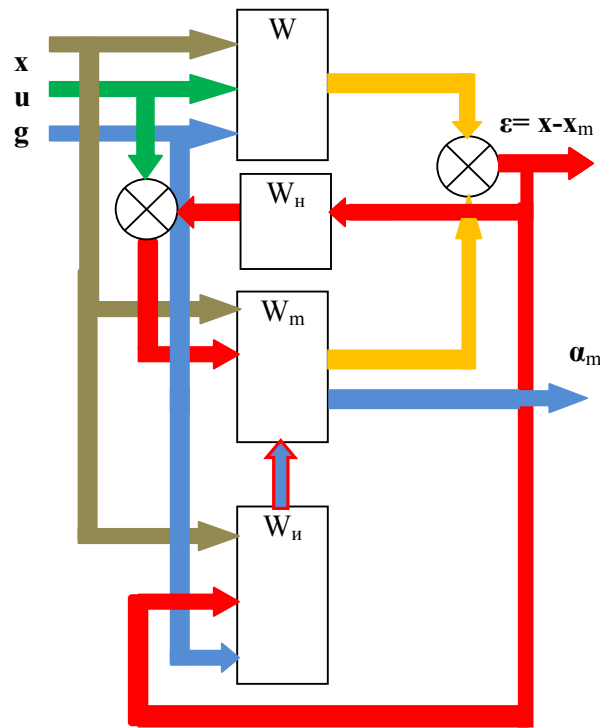


Рис. 2.3 – Відновлення вектора параметрів

Практично регулятор  $W_u$  буде зменшувати помилку  $\epsilon$ , підганяючи матрицю моделі або  $\alpha_m$  - вектор параметрів моделі. Таким чином, отримуємо структуру з двома регуляторами асимптотичним спостерігачем  $W_H$  та ідентифікатором  $W_u$ , (рис. 2.3). Вектор параметрів моделі  $\alpha_m$  при прагненні вектора помилки  $\epsilon$  до нуля, буде прагнути до вектору параметрів об'єкта  $\alpha$ . Знання вектора параметрів об'єкта це знання стану об'єкта, дозволяє контролювати стан об'єкта, що є, в кінцевому рахунку, метою автоматичної діагностики або автоматичного контролю стану об'єкта. Введемо вирішальне правило  $L(\Delta\alpha)$  для визначення межі нормального стану об'єкта діагностування  $\Omega$ :

$$\alpha \in \Omega \quad \text{if} \quad \begin{cases} \Delta \alpha_1 \in \Omega_1 \subseteq \Omega \\ \Delta \alpha_2 \in \Omega_2 \subseteq \Omega \\ \vdots \\ \Delta \alpha_n \in \Omega_n \subseteq \Omega \end{cases} \quad (2.16)$$

Для кожного параметра  $\alpha_{ij}$  моделі об'єкта будемо будувати алгоритм аналізу вектора параметрів. При визначенні всіх допустимих меж параметрів побудуємо вирішальне правило:

$$\begin{cases} \alpha_{ij} \in \Omega & \text{if} & |\alpha_{ij} - \alpha^*_{ij}| < \varepsilon \\ \alpha_{ij} \notin \Omega & \text{if} & |\alpha_{ij} - \alpha^*_{ij}| \geq \varepsilon \end{cases} \quad (2.17)$$

Побудувавши грати (2.4) отримуємо логічну функцію  $L(\alpha)$ , яка формує судження про стан об'єкта. Загальна система діагностики та автоматичного контролю стану об'єкта прийме такий вигляд (рис. 2.4).

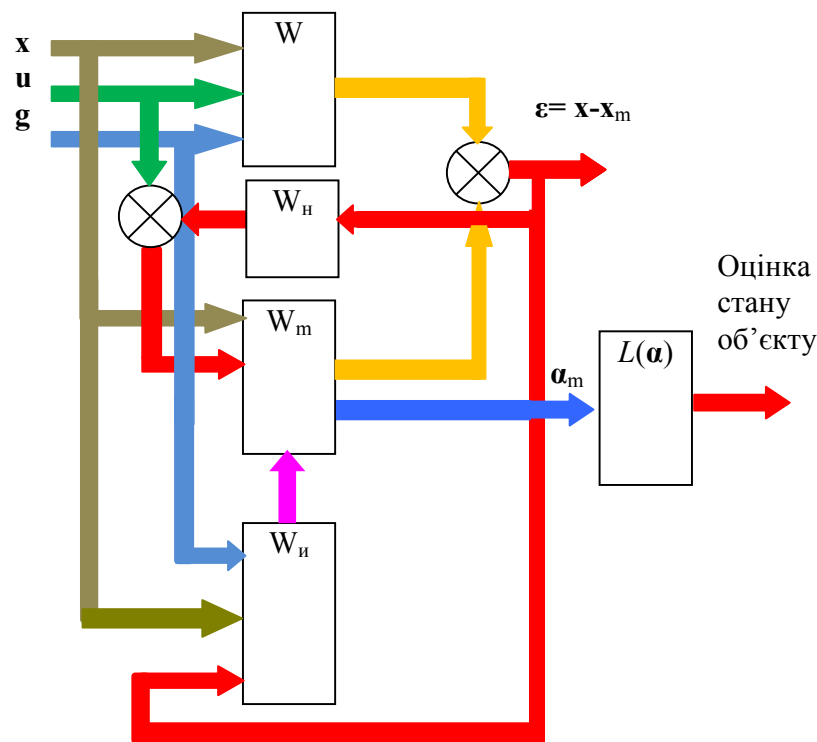


Рис. 2.4 – Система автоматичного контролю стану об'єкта по вектору параметрів системи

Для обробки даних про несправності об'єктів діагностування, одержуваних від спостерігача, необхідно створення системи підтримки прийняття рішень, яка

дозволить постачати оператора не надмірною інформацією про методи та алгоритми усунення виниклої проблеми. Стандартне рішення задачі створення системи контролю та діагностики стану об'єкта по вектору станів, а також варіанти вирішення виниклих проблем представлено на рис. 2.5.

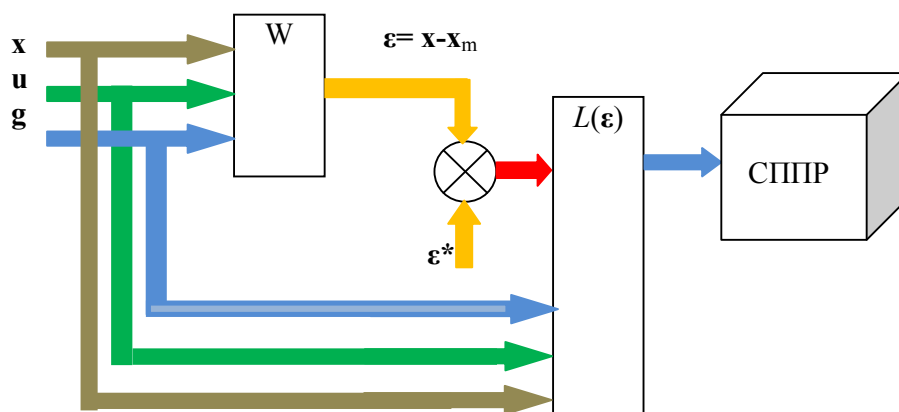


Рис. 2.5 – Автоматичний контроль та діагностика за вектором стану

Використовуючи (2.4), (2.5) переведемо оцінку стану в логічне висловлювання, що визначає зв'язок компонент вектора станів з безліччю оцінок стану об'єкта:

$$\begin{cases} \alpha_i = 1 & \text{if } |x_i - x_i^*| < \varepsilon; \\ \alpha_i = 0 & \text{if } |x_i - x_i^*| \geq \varepsilon; \end{cases} \quad i = \overline{1, n} \quad (2.18)$$

Визначивши алфавіт станів об'єкта, отримуємо алгоритм прийняття рішень:

$$\omega = \begin{cases} \omega_1 & \text{if } \bigcup_{i=1}^n a_i \\ \omega_1 & \text{if } \bigcup_{i=2}^n a_i \cup \bar{a}_1 \\ \vdots \\ \omega_1 & \text{if } \bigcup_{i=1}^n \bar{a}_i \end{cases} \quad (2.19)$$

Таким чином, отримано простий алгоритм системи автоматичної діагностики стану об'єкта. Якщо додати аналіз управлінь та збурень, то з'являється можливість оцінювати стан об'єкта в широкому спектрі режимів і навантажень. Недоліком

такого підходу є відсутність зв'язку вирішального правила (2.19) з вектором параметрів об'єкта. Для прогнозу стану об'єкта необхідно оцінити швидкість зміни  $\alpha$  – вектора параметрів об'єкта, що часто важко виконати за оцінкою вектора станів. Для вектора параметрів можливо оцінити динаміку рівнянням в просторі станів параметрів з матрицею, при цьому виділяється область  $S$ , належність до якої вектора станів визначає позитивний прогноз працездатності системи:

$$\frac{d\alpha}{dt} = Q\alpha \quad \rightarrow \quad \omega \in \begin{cases} \Omega_1 & \text{if } \alpha \in S \\ \Omega_2 & \text{if } \alpha \notin S \end{cases} \quad (2.20)$$

Таке рівняння може бути ідентифіковано описаними раніше методами та виступати як модель прогнозу. Аналіз стану об'єкта за швидкістю зміни параметрів дозволяє побудувати систему прогнозу відмов (рис. 2.6).

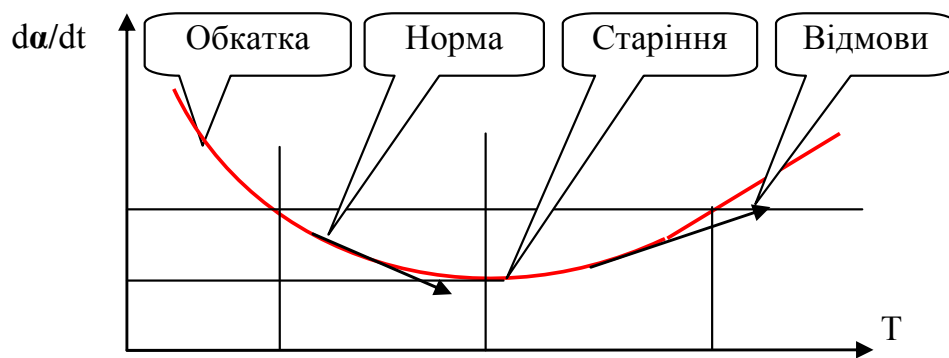


Рис. 2.6 – Швидкість зміни вектора параметрів та прогноз відмов

Спостерігаючи за вектором параметрів моделі, використовуємо вектор стану  $x$ , вектор управління  $u$ , вектор збурення  $g$  та вектор параметрів  $\alpha$ . При такому спостереженні стан системи оцінюється щодо допустимих значень. Таким чином, стан системи відноситься до безлічі нормальних станів  $W^*$ , якщо всі вектора укладаються в задані рамки:

$$W \in W^* \quad \text{if} \quad \begin{cases} \|x - x^*\| \leq \varepsilon_x \\ \|u - u^*\| \leq \varepsilon_u \\ \|g - g^*\| \leq \varepsilon_g \\ \|\alpha - \alpha^*\| \leq \varepsilon_\alpha \end{cases} \quad (2.21)$$

Вираз (2.21) зводиться до вимоги відповідності вектора параметрів заданому:

$$W \in W^* \quad \text{if} \quad \left\{ \begin{array}{l} \| \mathbf{x} - \mathbf{x}^* \| \leq \varepsilon_x \\ \| \mathbf{u} - \mathbf{u}^* \| \leq \varepsilon_u \\ \| \mathbf{g} - \mathbf{g}^* \| \leq \varepsilon_g \\ \| \boldsymbol{\alpha} - \boldsymbol{\alpha}^* \| \leq \varepsilon_\alpha \end{array} \right. \Leftrightarrow \| \boldsymbol{\alpha} - \boldsymbol{\alpha}^* \|_{\substack{\| \mathbf{g} - \mathbf{g}^* \| \leq \varepsilon_g \\ \| \mathbf{u} - \mathbf{u}^* \| \leq \varepsilon_u}} \leq \varepsilon_\alpha. \quad (2.22)$$

У такому випадку, якщо при допустимих управліннях та збуреннях вектор параметрів в нормі, то і вся система в нормі. Отже, можна зробити висновок про те, що перспективним є метод діагностики та автоматичного контролю за вектором параметрів. Причому слід очікувати використання інтелектуальних систем, які забезпечать автоматичний моніторинг, прогноз стану судна та його систем, а також рекомендації для пошуку та усуненню несправностей.

## 2.2. Модель системи пошуку причин несправності суднового обладнання з використанням СППР та спостерігача

Швидкий пошук несправностей дозволяє встановити причини відмов, та відновити працездатність електрообладнання з мінімальними витратами.

Метою інформаційної системи є мінімізація часу знаходження несправності за рахунок оптимізації ресурсів, необхідних для її усунення [26, 37, 38].

З цією метою була побудована СППР зі спостерігачем для допомоги ОПР. Схему на рис. 1.9 (перший розділ) перетворимо наступним чином (рис. 2.7). Під час експлуатації судна автоматичний режим прогнозування відмови системи, а також допомоги в пошуку причини відмови обладнання забезпечується за рахунок використання спостерігача та СППР:

Судова система аварійно-попереджувальної сигналізації забезпечує циклічне опитування датчиків, що вимірюють параметри судових систем.

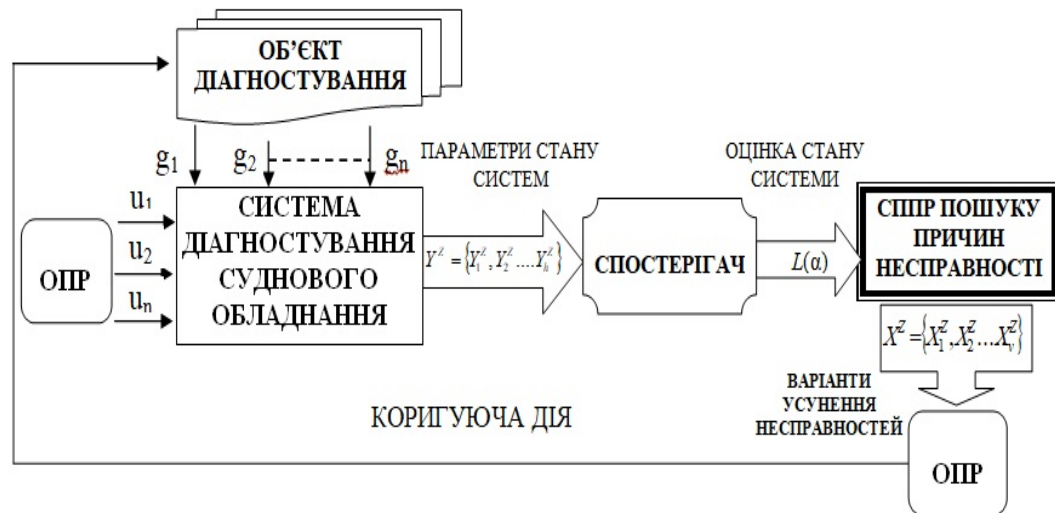


Рис. 2.7 – Схема суднової автоматизованої системи пошуку несправності з використанням СППР і спостерігача

Результат вимірювання кожного параметра порівнюється з відповідними еталонними значеннями, що зберігаються в пам'яті системи АПС та спостерігача. В результаті порівняння відбувається дискретизація параметра, тобто вимірне аналогове значення параметра замінюється дискретним відповідно до тієї ж системи кодування, яка застосовувалася і при заповненні еталонної матриці. Після завершення кожного циклу опитування датчиків та порівняння з уставками їх сигналів виходить комбінація дискретних значень параметрів. Її порівнюють з еталонними комбінаціями, записаними в шпальтах діагностичної матриці. Порівняння виконується порозрядно, поки значення розрядів збігаються. При першому ж розбіжності відбувається перехід на наступний стовпець матриці.

Порівняння триває до тих пір, поки не буде знайдений стовпець, комбінація якого повністю збігається з комбінацією миттєвих значень параметрів. Його номер відповідає номеру шуканої нештатної ситуації. Відповідно до нього СППР формує та пропонує рішення про необхідність технічних впливів по кожному неприпустимому стану суднової системи, з урахуванням всіх факторів. Прийняте в СППР рішення реалізується оператором в робочому процесі.

Результативність технічних впливів на об'єкт діагностування (несправна система) визначається в підсистемі зворотного зв'язку. Підсистема зворотного зв'язку є пристроєм, що забезпечує порівняльність результатів на основі

діагностичної інформації. У цьому сенсі зворотний зв'язок має унікальну здатність регулятора, що дозволяє накопичувати статистику про прийняті рішення та отримані результати. Структура формування альтернатив при пошуку причин несправностей в системі, яка відмовила, за допомогою СППР, представлена на рисунку 2.8.

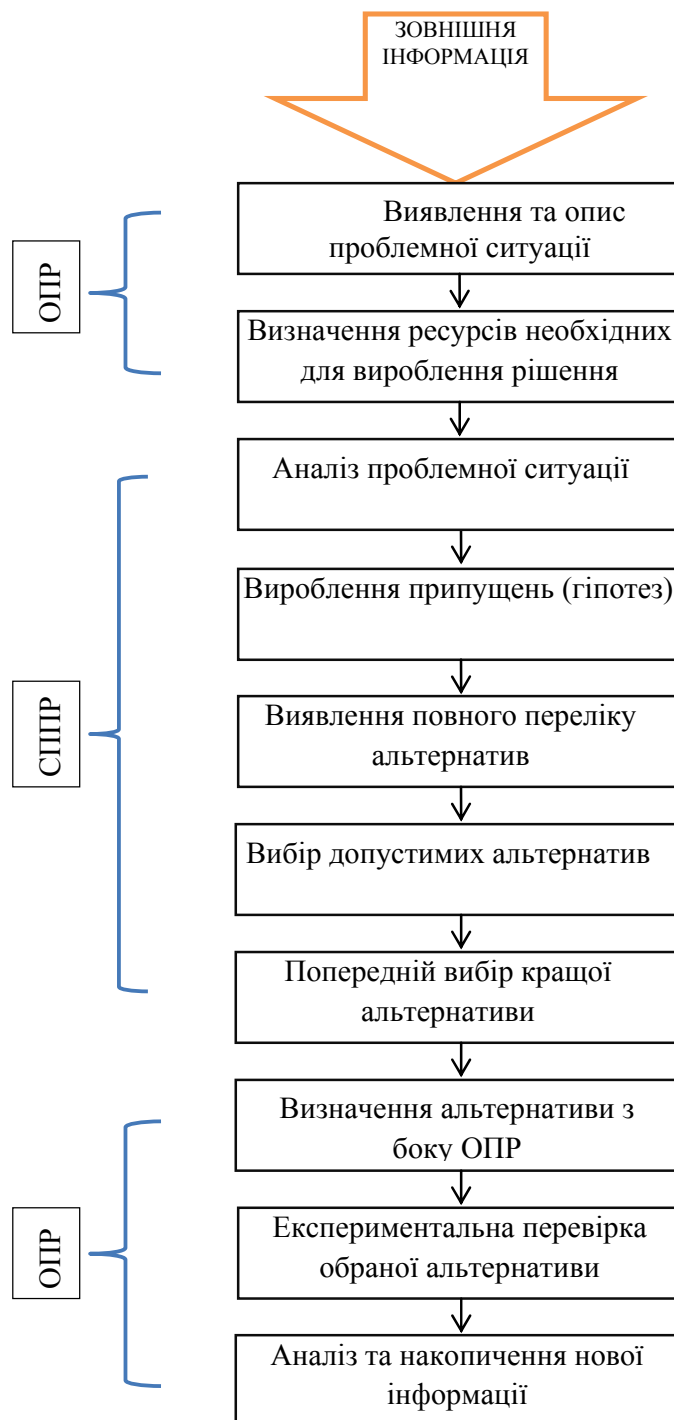


Рис. 2.8 – Схема процесу прийняття рішення

Будь-яка несправність може мати кілька можливих альтернатив для її усунення.

В основу методу ППР при пошуку причин відмов елементів судових систем покладені дані, які визначаються нормативною документацією, експертними оцінками, інформаційним алгоритмом пошуку для кожної можливої причини несправності, побудованими діагностичними матрицями.

Алгоритм роботи системи діагностування з включенням спостерігача та СППР представлений на малюнку 2.9.

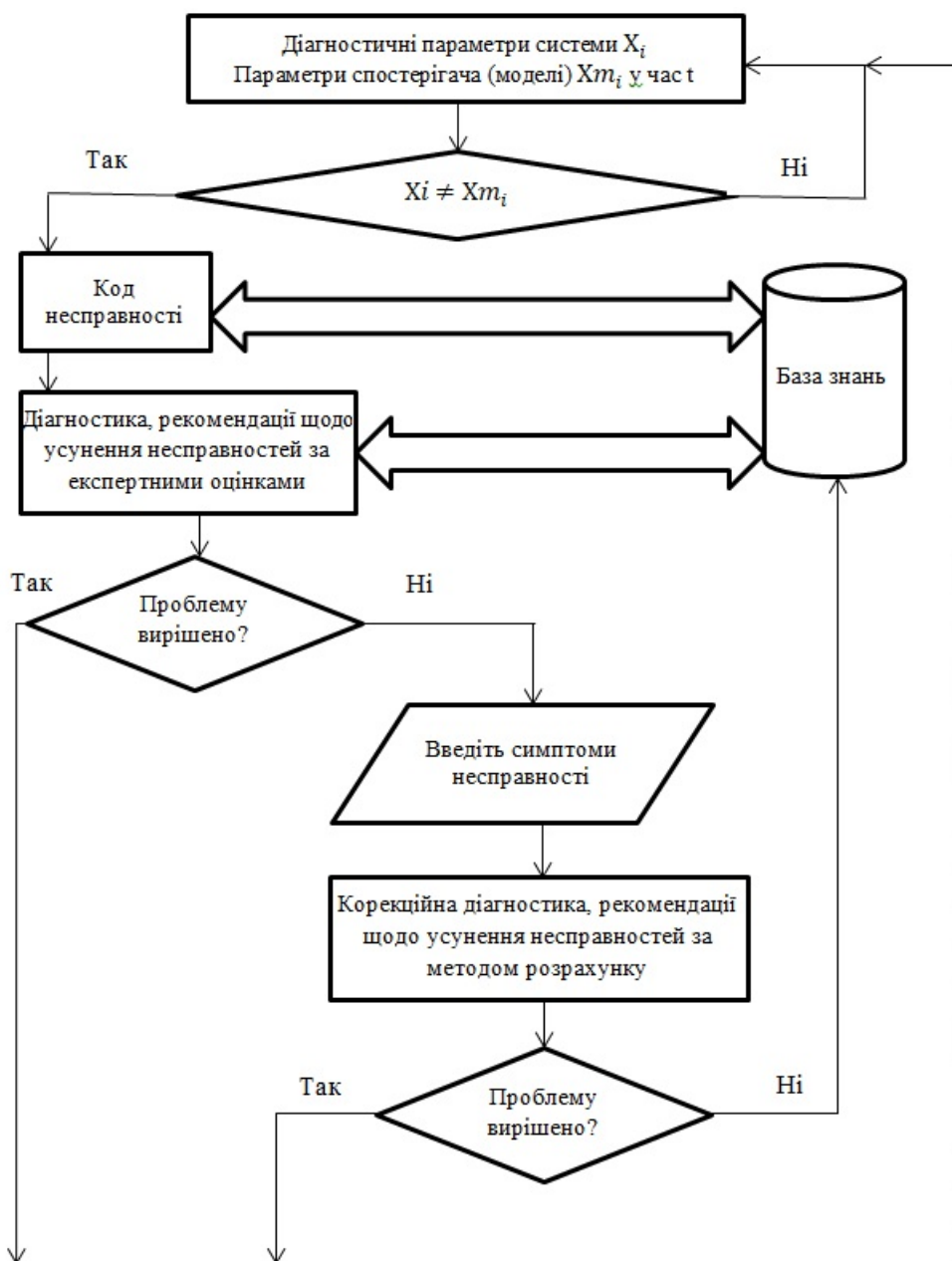


Рис. 2.9 – Алгоритм усунення несправності з використанням СППР



СППР отримує інформацію про виниклу несправність в якійсь із суднових систем. На основі отриманих даних генеруються можливі альтернативи – рішення щодо подальших дій ОПР для відновлення системи, яка відмовила в працездатний стан.

Допомога оператору у визначенні меж областей, що відокремлюють справний та несправний стан, проводиться на базі накопичених експлуатаційних даних. Після кожного сигналу системи про несправності, старшому електромеханіку пропонується оцінити якість алгоритму-рішення, запропонованого системою, за деякою шкалою нечітких категорій. Ця інформація може бути використана для видачі наступних рекомендацій для несправностей зі схожими початковими умовами. Накопичена інформація про сигнали несправності та алгоритми реагування є основою для розвитку СППР.

### **2.3. Практичний досвід відновлення працездатного стану системи яка відмовила з використанням СППР**

У другому розділі було зроблено експеримент по відновленню працездатності несправної системи силами одного ОПР. Такий же експеримент був проведений із застосуванням СППР.

Використовуючи таку ж ситуацію, а саме, несправність в системі кондиціонування повітря - SUCTION PRESSURE IS EXCESSIVELY LOW, застосували СППР, щоб знайти несправність.

Програма, за допомогою спостерігача, отримала повідомлення про відмову системи кондиціонування повітря.

Думки експертів щодо можливого вирішення цієї несправності в СППР, розподілилися наступним чином (рис. 2.10). Оператор провів дії з максимально запропонованим відсотком, тобто перевіряв найбільш ймовірну причину, на думку експертів. У нашому випадку зазначена причина – Shortage of refrigerant charge виявилася неправильною, і ОПР додав в СППР ряд ознак, супутніх ситуації, яка сталася, таблиця 1.3 (другого розділу).

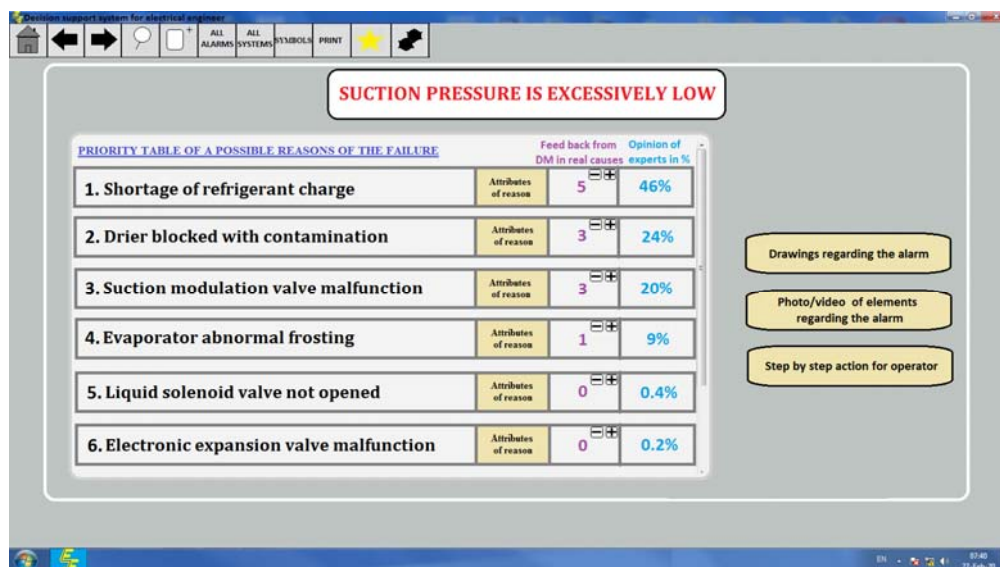


Рисунок 2.10 – Екранна форма СППР: пропозиції експертів

В результаті СППР розрахувала всі можливі варіанти з даними ознаками, по пріоритетності. Оператор вибрав другу за пріоритетністю причину, на думку експертів та розраховану методом діагностичних матриць (найбільш кількість збіглися одиниць) - Drier blocked with contamination.

Ця причина виявилася вірною, і несправність була усунена. Час на відновлення працездатності системи розрахований виходячи з формули (1.17), (1.18)

$$T_g = 3 \text{ год.}; t_{no} = 1 \text{ год.}; t_{oy} = 1 \text{ год.}; t_y = 0.5 \text{ год.}; t_{np} = 0.5 \text{ год.}$$

Отримані значення відображені у вигляді діаграми, рис. 2.11.

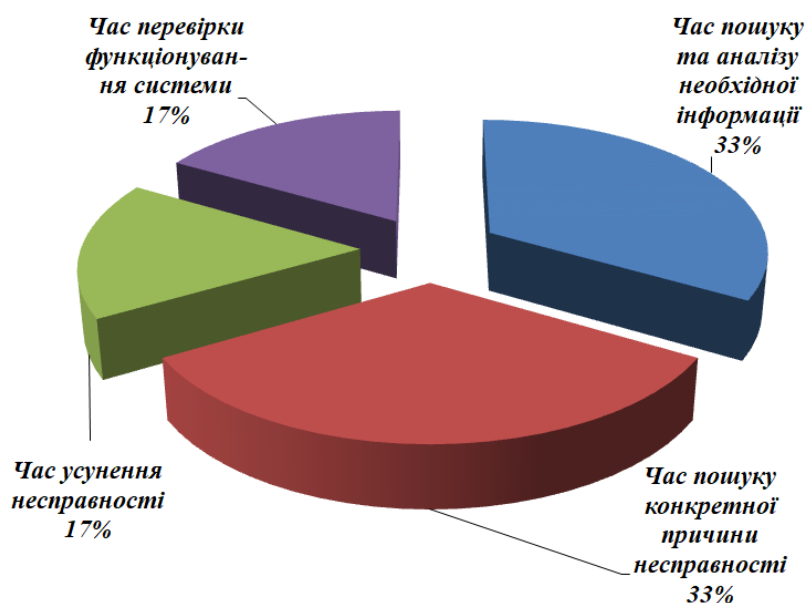


Рис. 2.11 – Діаграма витрати часу на відновлення працездатності системи з СППР

Порівнюючи середній час, витрачений на відновлення системи, отримано наступні результати, табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльні данні експериментів

Час	ОПР	СППР
$T_v$	12 год.	3 год.
$t_{по}$	9 год.	1 год.
$t_{оу}$	2 год.	1 год.
$t_y$	0,5 год.	0,5 год.
$t_{пр}$	0,5 год.	0,5 год.

У вищенаведених експериментах наочно продемонстровано, що ефективність пошуку причин несправності в системі кондиціонування повітря за участю тільки ОПР нижче на 75%, ніж з використанням СППР.

#### 2.4. Висновки по другому розділу:

1. Описано математичну модель системи діагностування в задачах автоматичного контролю.
2. Запропоновано модель прогнозування стану судових систем у вигляді спостерігача по вектору параметрів систем.
3. Запропоновано модель системи пошуку причин несправності судового обладнання з використанням СППР та спостерігача.
4. Описано практичний експеримент відновлення працездатного стану системи яка відмовила з використанням СППР.
5. Аналіз результатів експериментів показав, що ефективність пошуку причин несправності за участю тільки ОПР набагато нижча, ніж з використанням СППР.

## РОЗДІЛ 3

### ПІДХОДИ ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РІШЕННЯ З УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

#### 3.1. Процес прийняття рішень

##### 3.1.1. Поняття кількості та якості інформованості

Кількість інформації по Шеннону [24] :

$$H_S = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (3.1)$$

– ентропія, як міра невизначеності повної групи випадкових подій або ситуацій [24, 73]. Величину  $H$  можна розглядати як міру невизначеності тим натовпом, що містить  $n$  подій з ймовірностями  $p_i$ .

Під інформованістю ОПР будемо розуміти зміну рівня невизначеності знань про ситуацію або предмет аналізу в результаті отримання інформації [43].

Рівень інформованості ОПР - це показник рівня знань про предмет аналізу або дослідження. Кількісно рівень інформованості ОПР буде характеризуватися величиною зміни рівня невизначеності в результаті отримання інформації. При цьому, з отриманням інформації, рівень невизначеності може зменшуватися, якщо інформація точна, але може і зростати, якщо інформація навмисно спотворена або недостовірна, або суперечить наявній інформації.

Невизначеність ситуації оцінюється з позицій цілей системного аналізу, тобто з позицій ступеня та рівня ризику і для кожної ситуації характеризується багатofакторно:

- невизначеність знань про можливості здійснення тієї чи іншої ситуації;
- невизначеність знань про якість наявної та знову одержуваної інформації;
- невизначеність знань про ступінь впливу тієї чи іншої ситуації на
- рівень ризику.

Як якісні, характеристики розглядаються: неточність, неповнота, несвоєчасність, недостовірність, невизначеність, суперечливість, нечіткість інформації.

*Невизначеність* – властивість, яка вказує на наявність декількох конкуруючих описів ситуації.

*Неточність* – властивість, яка вказує на наявність певного інтервалу допуску або похибки у вимірюваннях або розрахунках кількісних параметрів та якісних характеристик опису ситуації.

*Неповнота* – це властивість, яка вказує на наявність інформаційних прогалів в описі ситуації.

*Нечіткість* – властивість, що характеризує розпливчастість в описі ситуації при якій неможливо точно вказати наявність або відсутність певної властивості або його точну кількісну характеристику.

*Несвоєчасність* – властивість, що характеризує співвідношення в часі між моментом настання якоїсь події та моментом отримання інформації про неї.

*Недостовірність* – властивість, яка вказує на наявність кількісних даних або якісних характеристик, які не відповідають істинному стану ситуації.

*Суперечливість* – властивість, яка вказує на наявність кількісних або якісних характеристик, які мають значення або сенс такий, що суперечить іншим даним.

Формалізація характеристик інформованості: повноти, достовірності, своєчасності.

*Повнота інформованості* – властивість, що характеризує відповідність кількості одержуваної ОПР інформації, кількості інформації, необхідної для прийняття рішення.

Показник повноти інформованості:

$$I_{\Pi} = \frac{\Pi - \Pi^{-}}{\Pi^{+} - \Pi^{-}} \quad (3.2)$$

де  $\Pi$  – обсяг інформації, отриманий ОПР в ситуації, що складається,

$\Pi^{+}$ ,  $\Pi^{-}$  – відповідно максимально доцільний та мінімально допустимий обсяг інформації для прийняття рішення.

$I_{II}$  – визначає рівень повноти інформованості, що показує наскільки рівень отриманої інформації перевищує мінімально допустимий.

*Своєчасність інформованості* – властивість, яка визначає наскільки ресурс часу ОПР на формування та прийняття рішення відповідає ресурсу часу від моменту отримання інформації.

Показником своєчасності інформованості будемо називати співвідношення між тимчасовим ресурсом формування рішення та тимчасовим ресурсом реалізації рішення:

$$I_T^f = \frac{T_{rk} - T_{fk}}{T^+ - T^-}, \quad I_T = 2I_T^f - 1, \quad (3.3)$$

де  $T_{rk}$  – тривалість періоду від моменту початку формування рішення до моменту його реалізації;

$T_{fk}$  – тривалість періоду від моменту початку формування рішення до моменту його завершення;

$T^-$  – мінімально можлива тривалість періоду формування рішення для заданої множини ситуацій;

$T^+$  – максимально доцільна тривалість періоду формування рішення для заданої множини ситуацій.

*Достовірність інформованості* - властивість, що характеризує відповідність отриманої ОПР інформації істинного стану ситуації, що складається.

Показник достовірності інформації:

$$I_D = \frac{D_K - D^-}{D^+ - D^-}, \quad (3.4)$$

де  $D_K$  – рівень достовірності інформації про ситуації, що розглядаються;

$D^+$ ,  $D^-$  – відповідно максимально теоретично доцільний та мінімально практично доцільний, при якому можна приймати рішення, рівень достовірності інформації в заданій множині ситуацій.

### 3.1.2. Інтегральний показник інформованості та його особливості

Перерахуємо найважливіші характеристики інформованості. Рівень поінформованості зростає безперервно при збільшенні кожного з приватних показників, або будь-якого з них.

Підвищення загального рівня інформованості ОПР при збільшенні показників відбувається за нелінійним законом: приріст рівня інформованості поступово сповільнюється при наближенні до граничного значення його показників.

Рівень інформованості при зниженні значення одного з показників нижче певного порогового значення не може бути компенсований за рахунок збільшення інших показників.

При нульовому значенні будь-якого з показників загальний рівень інформованості так само дорівнює 0.

Інтегральний показник інформованості включає кількісні та якісні характеристики:

$$I = f(\bar{I}_c), \text{ де } \bar{I}_c = (I_d, I_{\Pi}, I_T) \quad (3.5)$$

При ухваленні рішення необхідно знайти раціональний компроміс між рівнями  $I_d$ ,  $I_{\Pi}$ ,  $I_T$  в динаміці формування рішення з метою скорочення часу на його формування.

При цьому

$$I_d = I_d(t), I_{\Pi} = I_{\Pi}(t), I_T = I_T(t). \quad (3.6)$$

### 3.1.3. Процес прийняття рішення в СППР

Процес прийняття рішень при пошуку та усуненню несправності для ОПР може бути записаний в наступному вигляді [48, 50, 51]:

$\langle C, T, P, C_d, \Pi, \Psi, A, K, f, A^* \rangle$ , де

$C$  – інформація про похибку;

$T$  – час для прийняття рішення;

$P$  – потрібні ресурси для прийняття рішення;

$C_d$  – рівень складності несправної системи;

$\Pi = (\Pi_1, \dots, \Pi_n)$  – безліч припущень про можливості усунути несправність;

$\mathcal{C} = (\mathcal{C}_1, \dots, \mathcal{C}_k)$  – безліч варіантів розвитку;

$A = (A_1, \dots, A_m)$  – безліч альтернативних варіантів рішень;

$f$  – функція переваги ОПР (включає об'єктивні критерії та особисті переваги ОПР);

$A^*$  – оптимальне рішення.

Процес формування альтернатив щодо усунення несправності за допомогою СППР зобразимо у вигляді такої схеми, рис. 3.1.

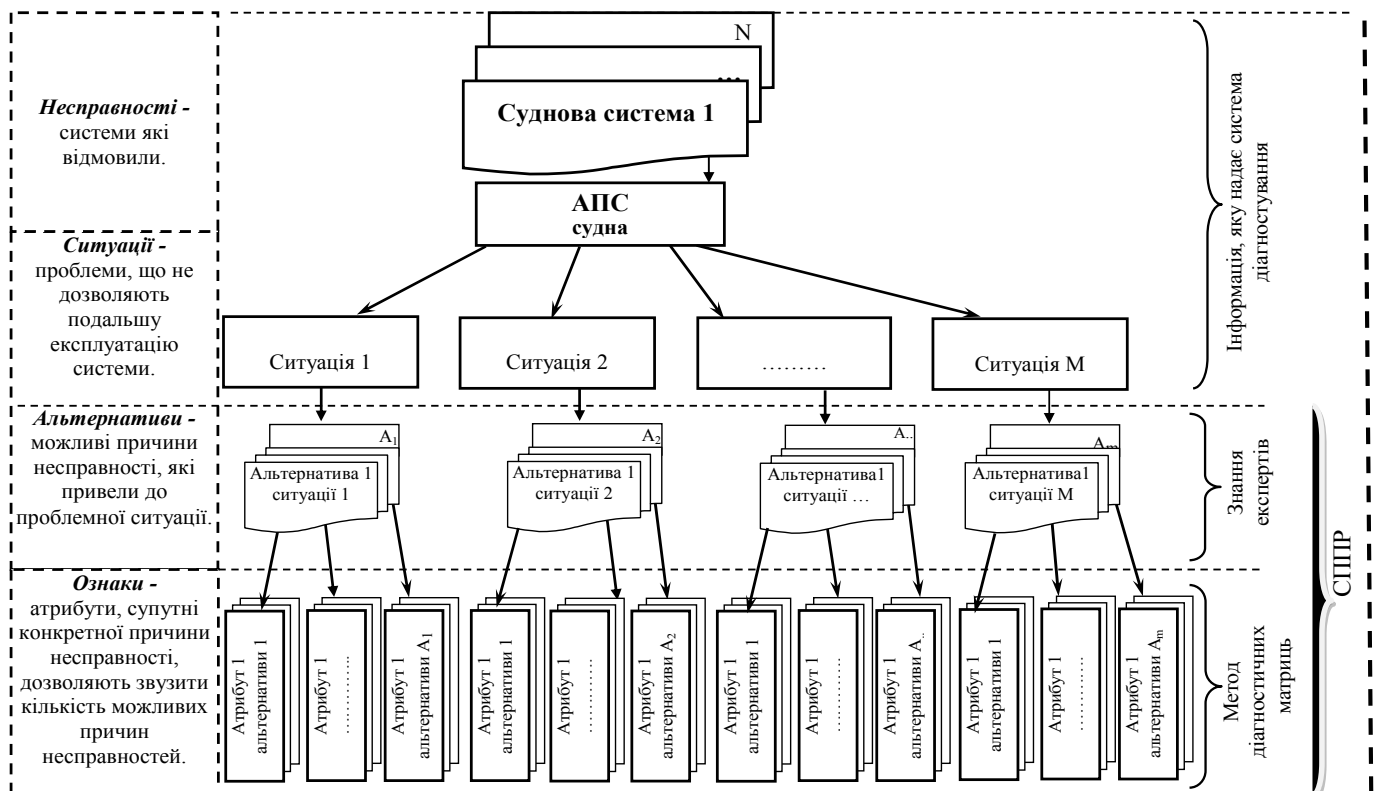


Рис. 3.1 – Структура формування альтернатив при пошуку причин несправності

При виникненні несправності (зчитується код помилки) СППР автоматично пропонують оператору рекомендації щодо усунення. Оцінка можливих причин несправностей береться з бази знань СППР та обумовлюється думкою експертів.

Якщо ж причина несправності, зазначена експертами, виявилася невідповідною, ОПР вводить в СППР ознаки несправності та програма, за



розрахунковою методикою, обчислює можливу причину несправності і також дає оператору рекомендації по її усуненню.

Якщо ж і ця причина не допоможе у вирішенні проблеми, то оператору надається можливість вибирати можливі причини по даній несправності з бази знань, де вони розташовані в порядку пріоритетності, на думку експертів.

### **3.2. Критерії вибору експертів**

Одним з основних факторів, що впливають на час усунення несправності, є кваліфікація фахівця, а саме вміння визначати правильну тактику послідовної діагностики та усунення несправностей [4, 14, 17].

Ставлення до експертизи - важлива характеристика при залученні фахівця до експертизи. Негативне, пасивне або несумлінне ставлення фахівця до проблеми, велика зайнятість та інші фактори суттєво впливають на виконання функцій експертами. Тому участь в експертизі має розглядатися як планова робота, що вимагає морального та матеріального заохочення. Оплата експертів повинна розглядатися як фактор, що стимулює високу якість проведення експертизи.

Особистісні характеристики експерта істотно впливають на достовірність експертизи. Найбільш значущою особистісною характеристикою експерта вважається його компетентність. Компетентність експерта – це здатність людини ефективно брати участь в експертній процедурі та служити джерелом доброякісної інформації про об'єкт експертизи [29, 44, 104].

Загальна компетентність складається з трьох компонентів.

- *Професійна компетентність* – це високий рівень обізнаності експерта в даній професійній області, вміння формувати задовільні по чіткості імпліцитні уявлення про об'єкт експертизи.

- *Компетентність в експлікації оцінок* – вміння адекватно переводити імпліцитні оцінки в доступну для дослідників комунікативну, символічну форму.

- *Соціально-психологічна компетентність* – це уміння коригувати особливості своєї поведінки, що перешкоджають колективній роботі експертів,

відсутність конформізму, схильності впливу авторитетів. Ця властивість проявляється у вигляді нестійкості власної думки.

Для участі в експертизі повинні залучатися висококваліфіковані фахівці, професійно знайомі з об'єктом експертизи, які мають достатній досвід роботи в якості експертів.

Вибір таких експертів проводиться за таким алгоритмом, рис. 3.2.



Рис. 3.2 – Алгоритм вибору експертів

Для наповнення бази знань розробленої СППР даними про алгоритми пошуку несправності, визначення пріоритетності можливих причин несправностей, виявлення діагностичних ознак та іншою інформацією, необхідно залучення компетентних експертів.

Для цього розроблена схема (рис. 3.3), яку представлено у вигляді діаграми Ісікави.

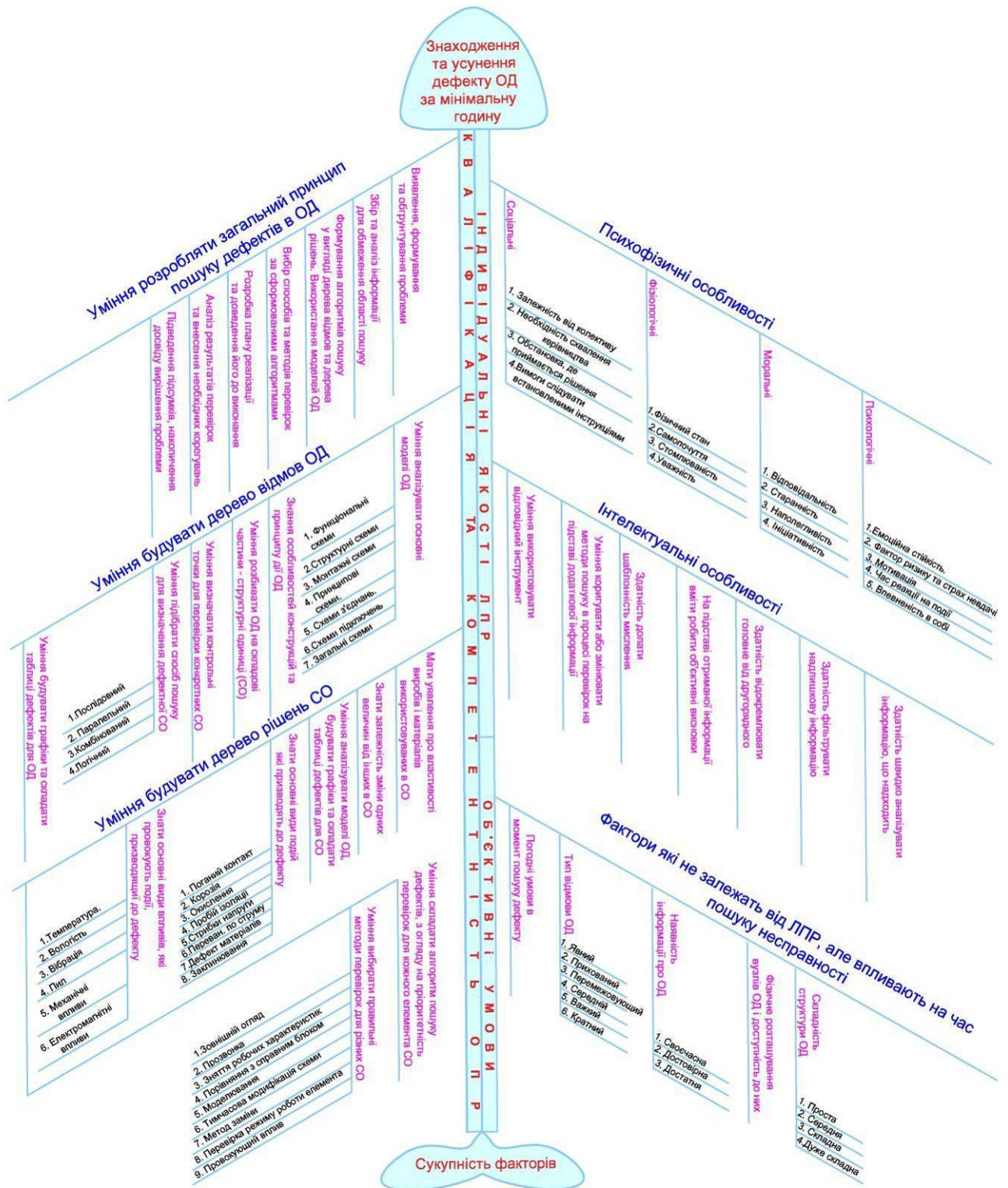


Рис. 3.3 – Сукупність факторів, що впливають на час пошуку несправності в судновій системі яка відмовила

Дані цієї діаграми були виражені в числові значення (вага) та представлені у вигляді таблиці 3.1, що містить питання за всіма чинниками, що впливають на компетентність експерта.

Таблиця 3.1 – Професійна компетентність експерта

Фактори	Вагові коефіцієнти		
	від 1 до 5 років	від 5 до 10 років	понад 10 років
Досвід роботи по ремонту суднового електрообладнання	від 1 до 5 років	від 5 до 10 років	понад 10 років
	0,2	0,3	0,5
Уміння виявляти та доводити проблеми	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Уміння збирати й аналізувати інформацію при пошуку несправностей	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Уміння формувати алгоритми пошуку несправностей у вигляді дерев відмов та рішень	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Уміння вибирати способи та методи перевірок за сформованими алгоритмами пошуку несправностей	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Уміння аналізувати результат і вносити необхідні корективи	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Уміння аналізувати основні моделі об'єктів діагностування	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Знання особливостей конструкцій та принципу дій суднового електрообладнання	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Уміння розбивати об'єкт діагностування на складові частини - структурні одиниці	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6

Продовження табл. 3.1

Уміння визначати контрольні точки для перевірки конкретних структурних одиниць	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Уміння підібрати спосіб пошуку для визначення дефектної структурної одиниці	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Уміння складати таблиці дефектів для об'єкта діагностування	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Знання властивостей виробів та матеріалів, використовуваних в суднових системах	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Знання залежностей зміни одних величин від інших	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Знання основних видів подій, які призводять до дефекту	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Знання основних видів впливів, які провокують події, що призводять до дефекту	задовільно	добре	відмінно
	0,1	0,3	0,6
Уміння складати алгоритми пошуку дефектів, враховуючи пріоритетність перевірок для кожного елемента	задовільно	добре	відмінно

Для визначення об'єктивного коефіцієнта компетентності на ці питання відповідав кожен експерт, а також суперінтендант інтерв'юєр, по кожному претенденту. Сума ваг і визначає об'єктивний коефіцієнт компетентності експерта. Розрахувавши ваги кожного фактора та усереднивши їх за кількістю, отримуємо узагальнений ваг значущості експерта, таблиця 3.2.

Розрахуємо суму  $SumX_i$  балів, отриманих  $i$ -м експертом з усіх факторів за виразом:

$$SumXi = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (3.7)$$

Обчислимо суму балів  $Sum\Phi_j$  j-го фактора по всім експертам:

$$Sum\Phi_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} \quad (3.8)$$

Потім обчислюється ваговий коефіцієнт експертів за всіма чинниками, застосовуючи наступну формулу:

$$Wi = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}, \quad \sum_{i=1}^m Wi = 1 \quad (3.9)$$

У таблиці 3.2 наведено приклад розрахунку ваги кожного фактора для десяти експертів.

Таблиця 3.2 – Розрахунок ваг експертів

	Фактори $\Phi_j$																	SumXi	Wi
	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$	$\Phi_5$	$\Phi_6$	$\Phi_7$	$\Phi_8$	$\Phi_9$	$\Phi_{10}$	$\Phi_{11}$	$\Phi_{12}$	$\Phi_{13}$	$\Phi_{14}$	$\Phi_{15}$	$\Phi_{16}$	$\Phi_{17}$		
E1	0,5	0,1	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,6	0,6	0,6	0,1	8,3	0,09651
E2	0,5	0,6	0,6	0,1	0,6	0,3	0,6	0,3	0,6	0,3	0,6	0,6	0,1	0,6	0,6	0,1	0,6	7,7	0,08953
E3	0,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,6	0,3	0,6	0,6	8,5	0,09884
E4	0,5	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	9	0,10465
E5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	9,2	0,10698
E6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	9,5	0,11047
E7	0,5	0,1	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	8,7	0,10116
E8	0,5	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	8,7	0,10116
E9	0,3	0,3	0,5	0,3	0,1	0,6	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,6	7,6	0,08837
E10	0,5	0,3	0,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	8,8	0,10233
<b>Sum<math>\Phi_j</math></b>	4,5	4,1	5,1	4,9	4,9	5,4	5,2	5,4	5	5,4	5,2	4,8	4,5	6	5,4	5	5,2	86	1

На підставі таблиці 3.2, для більш точної оцінки компетентності експертів, визначимо (3.10) ваги експертів за кожним фактором і занесемо їх в таблицю 3.3.

$$\beta_{ij} = \frac{a_{ij}}{Sum\Phi_j} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (3.10)$$

Таблиця 3.3 – Ваги експертів по кожному фактору

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10	Ф11	Ф12	Ф13	Ф14	Ф15	Ф16	Ф17
E1	0,111	0,024390244	0,11764706	0,122449	0,061224	0,111111111	0,115384615	0,111111111	0,12	0,111111111	0,115384615	0,125	0,0222222	0,1	0,111111111	0,12	0,01923077
E2	0,111	0,146341463	0,11764706	0,0204082	0,122449	0,055555556	0,115384615	0,055555556	0,12	0,055555556	0,115384615	0,125	0,0222222	0,1	0,111111111	0,02	0,11538462
E3	0,044	0,146341463	0,11764706	0,122449	0,122449	0,111111111	0,019230769	0,111111111	0,12	0,111111111	0,115384615	0,125	0,0222222	0,1	0,055555556	0,12	0,11538462
E4	0,111	0,146341463	0,11764706	0,0612245	0,122449	0,111111111	0,115384615	0,111111111	0,02	0,111111111	0,115384615	0,0625	0,1333333	0,1	0,111111111	0,12	0,11538462
E5	0,111	0,146341463	0,11764706	0,122449	0,122449	0,055555556	0,115384615	0,111111111	0,12	0,111111111	0,057692308	0,0625	0,1333333	0,1	0,111111111	0,12	0,11538462
E6	0,111	0,146341463	0,11764706	0,122449	0,122449	0,111111111	0,115384615	0,111111111	0,12	0,055555556	0,115384615	0,0625	0,1333333	0,1	0,111111111	0,12	0,11538462
E7	0,111	0,024390244	0,11764706	0,122449	0,061224	0,111111111	0,115384615	0,111111111	0,12	0,111111111	0,115384615	0,0625	0,1333333	0,1	0,055555556	0,12	0,11538462
E8	0,111	0,073170732	0,05882353	0,122449	0,122449	0,111111111	0,115384615	0,111111111	0,02	0,111111111	0,115384615	0,125	0,1333333	0,1	0,111111111	0,12	0,05769231
E9	0,067	0,073170732	0,09803922	0,0612245	0,020408	0,111111111	0,057692308	0,055555556	0,12	0,111111111	0,115384615	0,125	0,1333333	0,1	0,111111111	0,02	0,11538462
E10	0,111	0,073170732	0,01960784	0,122449	0,122449	0,111111111	0,115384615	0,111111111	0,12	0,111111111	0,019230769	0,125	0,1333333	0,1	0,111111111	0,12	0,11538462
сума балів	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Обчислимо суму ваг експертів за всіма чинниками, для розрахунку використовується такий вираз:

$$SumE_i = \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \quad (3.11)$$

Обчислимо ваговий коефіцієнт експертів за всіма чинниками, застосовуючи такий вираз:

$$W_i = \frac{SumE_i}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij}} = \frac{\sum_{j=1}^n \beta_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij}} \quad (3.12)$$

Таблиця 3.4 – Вагові коефіцієнти експертів з урахуванням факторів

	Sum Эi	Wi
E1	1,618489	0,095205
E2	1,529111	0,089948
E3	1,679442	0,098791
E4	1,785205	0,105012
E5	1,833181	0,107834
E6	1,890874	0,111228
E7	1,707698	0,100453
E8	1,719243	0,101132
E9	1,495193	0,087953
E10	1,741565	0,102445

На підставі таблиць 3.3. та 3.4 проранжуємо експертів по значущості. Результати ранжування показано в табл. 3.5.



Таблиця 3.5 – Таблиця ранжирування експертів

	Ранг
E1	8
E2	9
E3	7
E4	3
E5	2
E6	1
E7	6
E8	5
E9	10
E10	4

Методом парних порівнянь проведемо оцінку кожного експерта кожним з групи та обчислимо пріоритет значимості (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Матриця парних порівнянь

Експерти	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	Середнє геометр	Вектор пріоритетів	Ранг
E1	0,6	0,5	0,1	0,6	0,5	0,55	0,6	0,6	0,6	0,6	0,479425379	0,10466085	5
E2	0,33	0,5	0,6	0,6	0,66667	0,71667	0,766667	0,6	0,3	0,6	0,546383156	0,119278053	2
E3	0,5	0,2	0,6	0,6	0,86667	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,510961391	0,111545312	3
E4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,66667	0,71667	0,766667	0,1	0,6	0,6	0,509844518	0,111301493	4
E5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,549705556	0,120003348	1
E6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3	0,1	0,1	0,6	0,3	0,6	0,351948203	0,076831974	10
E7	0,5	0,5	0,1	0,6	0,6	0,6	0,2	0,6	0,6	0,6	0,433299064	0,094591255	6
E8	0,7	0,5	0,3	0,3	0,6	0,6	0,3	0,1	0,6	0,6	0,406259642	0,08868842	8
E9	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6	0,3	0,266667	0,6	0,6	0,6	0,411720864	0,089880631	7
E10	0,5	0,5	0,3	0,5	0,6	0,3	0,266667	0,6	0,6	0,1	0,381204045	0,083218664	9
											4,580751816		1

На підставі таблиць 3.5 та 3.6 зробимо висновок, що думки експертів 5, 2 та 3 є найбільш значущими, слід вважати їх вибір найкращим для ОПР. Пріоритети всіх експертів зображено у вигляді діаграми на рис. 3.4.

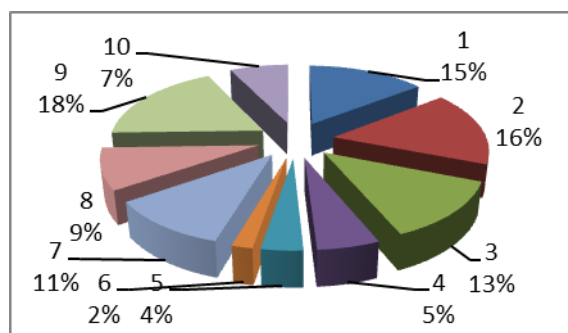


Рис. 3.4 – Розподіл значущості експертів



### 3.3. Методи обробки та узагальнення експертної інформації

Сутність методів обробки експертної інформації полягає в наступному: експертам пропонується дати свої оцінки на безлічі об'єктів (зафіксовані несправності в судових журналах), рішення в певному виді (числові оцінки, ранжирування, індивідуальні матриці парних порівнянь) та за допомогою статистичних або алгебраїчних методів отримати узагальнену (колективну) оцінку.

#### 3.3.1. Метод безпосередньої оцінки

В основу методу закладається думка фахівця, заснована на професійному, науковому та практичному досвіді.

Знаходження колективної оцінки у вигляді числової оцінки зробимо за наступним алгоритмом:

- залучаємо експертів з максимальним коефіцієнтом компетентності (не менше 10 експертів з найвищим рангом);
- на підставі судової документації складаються матриці можливих причин несправності по конкретних ситуаціях в несправній системі;
- для кожної причини складаються алгоритми її усунення;
- для кожної можливої ситуації в судових системах, складаються таблиці з можливими причинами несправностей;
- на основі свого досвіду і знань, експерти ранжують можливі причини несправності для кожної можливої ситуації в судових системах;
- виставляється пріоритетність ймовірних причин несправності в конкретній ситуації та послідовність її усунення.

Кожному експерту дозволяється давати одну і ту ж оцінку двом (або декільком) якісно різним альтернативам.

Складається матриця "Експерти - альтернативи", в якій проставляються отримані від кожного експерта оцінки альтернатив за шкалою від 0 до 100, табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Бланк для заповнення експертами

Система, яка відмовила, ситуація.	Причина 1	....	Причина m
	Пріоритет перевірки 0...100	Пріоритет перевірки 0...100	Пріоритет перевірки 0...100

Розраховується відносна значимість всіх альтернатив окремо для кожного експерта. З цією метою оцінки, отримані від кожного експерта, за всіма альтернативами підсумовуються, а потім нормуються. Нормування будь-якого заходу означає, що представлено число для всієї множини в цілому приймається рівним одиниці.

Нормування дозволяє встановити більш тісний зв'язок між оцінками, приписаними експертами окремим альтернативам. Обчислюється усереднена оцінка, дана всіма експертами по кожній альтернативі. Для цього нормовані оцінки кожної альтернативи, отримані в попередньому кроці, підсумовуються, а потім отримана сума ділиться на число експертів. Таким чином, розраховується середня арифметична оцінка для кожної альтернативи за формулою:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^m W_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{ij}} \quad (3.13)$$

де  $W_{ij}$  – вага  $i$ -ї альтернативи, підрахованої за оцінками усіх експертів.

$$W_i = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (3.14)$$

де  $X_{ij}$  - оцінка альтернативи  $i$ , дана експертом  $j$ ,  $n$  - число альтернатив,  $m$  - число експертів.

За описаним у другому розділі експериментом, була складена таблиця думок експертів, проведено розрахунок за методом безпосередньої оцінки і розраховані пріоритети можливих альтернатив, табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Оціночна таблиця експертів за методом безпосередньої оцінки

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11		
2	Э1	72	72	79	44	79	63	39	50	29	51	64		
3	Э2	43	66	37	72	66	71	76	66	22	33	49		
4	Э3	62	89	33	69	57	28	45	28	25	60	26		
5	Э4	43	34	23	48	48	69	69	71	74	82	21		
6	Э5	37	52	76	33	30	22	49	22	25	69	78		
7	Э6	32	83	69	82	28	48	47	64	53	39	27		
8	Э7	87	51	62	28	65	23	38	77	66	60	65	ΣΣW	
9	Э8	71	50	42	36	89	86	81	44	66	85	72	53	
10	Э9	48	25	88	34	59	90	86	30	39	46	64		
11	Э10	24	88	60	22	40	42	24	45	85	28	36		
12	W <sub>j</sub>	52	61	57	47	56	54	55	50	48	55	50		
13	Средняя оценка Ранг альтернат ивы	0,974	1,145	1,068	0,879	1,053	1,018	1,040	0,933	0,909	1,038	0,942		
14		7	1	2	11	3	6	4	9	10	5	8		

З таблиці видно, що, на думку експертів, пріоритетною альтернативою буде друга причина.

### 3.3.2. Метод парних порівнянь

Метод парних порівнянь має деяку перевагу перед іншими методами упорядкування у випадках, коли альтернатив багато та (або) вони важко помітні. Метод широко використовується на практиці, оскільки відрізняється винятковою простотою і вимагає мінімальних тимчасових витрат [ 44 ].

У методі парних порівнянь альтернативи зіставляються попарно експертом (експертами), а потім вибирається одна з них найбільш важлива. У цьому випадку експерт вважає за краще дану альтернативу, хоча вибір не обов'язково буде висловлювати його перевагу, рис. 3.5.

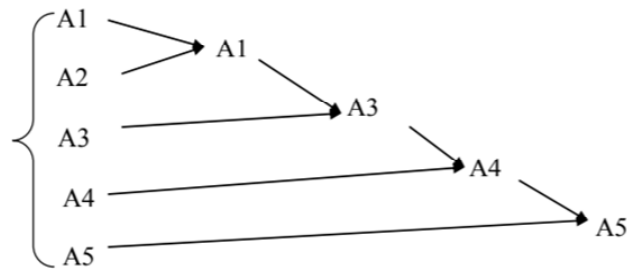


Рис. 3.5 – Метод парних порівнянь

У загальному випадку експерт може встановити рівність альтернатив або зафіксувати свої переваги на деякій шкалі. За основу беруть результати рангової оцінки альтернатив. Основний елементарний акт, це порівняння двох альтернатив  $A$  і  $B$  одним експертом, який можна поширити на випадок, коли кілька експертів розглядають більш ніж дві альтернативи.

Виходячи з принципів моделі парних порівнянь приймаємо: якщо серед порівнюваних об'єктів (альтернатив)  $A_i, A_j$  спостерігається відношення  $A_i > A_j$  за критерієм  $k$ , то в перехресті порівнюваних об'єктів експертної таблиці 3.9 заносимо число 1,5; якщо спостерігається рівність  $A_i = A_j$  то в таблицю заносимо 1,0; якщо  $A_i < A_j$ , заносимо 0,5, де  $A_{ij}$  - фактори зовнішнього середовища. Складемо таблицю альтернатив для прикладу з експерименту. Даний метод визначив перевагу альтернативі A11.

Таблиця 3.9 – Матриця парних порівнянь альтернатив

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Сума по рядках	Вага альтернативи	Ранг альтернативи
A1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	13	0,10526316	2
A2	0,5	1	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	11	0,08906883	6
A3	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	12,5	0,10121457	4
A4	0,5	1,5	1,5	1	1,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	12	0,09716599	5
A5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	13	0,10526316	2
A6	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	10	0,08097166	8
A7	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1,5	1,5	1,5	10	0,08097166	8
A8	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,5	1,5	1,5	11	0,08906883	6
A9	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,5	1,5	9	0,07287449	10
A10	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	15	0,12145749	1
A11	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	7	0,05668016	11
Всього												123,5	1	

### 3.3.3. Метод Дельфі

Метод Дельфі може бути застосований в процесі групового прийняття управлінського рішення за допомогою вибору найкращої альтернативи [39].

Особливістю даного методу є те, що на відміну від більшості інших експертних методів, він використовує два критерії відбору – перевагу та несуперечливість.

Класична процедура методу відбувається наступним чином. Опитування експертів проводиться в кілька турів, на кожному з яких експертів інформують про результати попереднього і просять їх скорегувати свою думку, наблизивши його до середніх оцінок, що дає можливість зменшити розкид індивідуальних оцінок. Процедура повторюється до тих пір, поки експерти не прийдуть до спільної думки. З точки зору практичного застосування, даний варіант має істотні недоліки: По-перше, неможливо заздалегідь передбачити, скільки турів, при плануванні часу, відведено на розробку управлінського рішення. Ми зобов'язані враховувати часовий фактор. По-друге, ми не можемо бути впевнені, що рано чи пізно експерти прийдуть до спільної думки. Ми пропонуємо їм скорегувати свою думку, але не можемо зобов'язати їх зробити це.

Розглянемо модифікований варіант методу Дельфи, що не має вищевказаних недоліків. В даному варіанті експерти залучаються тільки на першому етапі (виявлення індивідуальних переваг), все подальше здійснюється ОПР самостійно.

Порядок дій:

Експертне ранжування альтернатив (матриця переваг).

Визначення найкращою альтернативи.

Обчислення середніх значень по кожній альтернативі.

Обчислення відхилень від середнього значення думок кожного експерта (матриця відхилень).

Самостійне ранжування відхилень за тим же принципом, що і експертне ранжування (матриця несуперечності).

Визначення найбільш несуперечливої альтернативи.

Визначення найкращої та несуперечливої альтернативи.

Розглянемо приклад з ранжируванням альтернатив нашого експерименту (найкращій альтернативі присвоюємо 1 місце і т.д.). Експерти висловили свою думку в такий спосіб, табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Пріоритетність альтернатив, на думку експертів

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
E1	10	3	6	4	2	2	4	7	8	8	4
E2	10	9	1	11	6	2	5	4	1	3	9
E3	6	11	3	7	11	2	8	9	2	5	9
E4	10	1	10	3	2	5	7	7	8	11	5
E5	3	8	1	5	1	1	2	2	6	8	6
E6	3	9	7	11	5	11	4	10	6	2	7
E7	2	10	8	9	10	7	1	4	6	9	6
E8	1	10	8	9	1	8	1	5	11	4	8
E9	2	6	5	11	2	5	3	7	7	6	4
E10	5	3	6	9	8	7	10	11	5	6	4
Сума	52	70	55	79	48	50	45	66	60	62	62
Варі	5,2	7	5,5	7,9	4,8	5	4,5	6,6	6	6,2	6,2

На думку експертів найбільш кращою є альтернатива A7 (найменша сума місць). Визначимо середній ранг по кожній альтернативі та побудуємо матрицю відхилень (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Матриця відхилень

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
E1	-4,8	4	-0,5	3,9	2,8	3	0,5	-0,4	-2	-1,8	2,2
E2	-4,8	-2	4,5	-3,1	-1,2	3	-0,5	2,6	5	3,2	-2,8
E3	-0,8	-4	2,5	0,9	-6,2	3	-3,5	-2,4	4	1,2	-2,8
E4	-4,8	6	-4,5	4,9	2,8	0	-2,5	-0,4	-2	-4,8	1,2
E5	2,2	-1	4,5	2,9	3,8	4	2,5	4,6	0	-1,8	0,2
E6	2,2	-2	-1,5	-3,1	-0,2	-6	0,5	-3,4	0	4,2	-0,8
E7	3,2	-3	-2,5	-1,1	-5,2	-2	3,5	2,6	0	-2,8	0,2
E8	4,2	-3	-2,5	-1,1	3,8	-3	3,5	1,6	-5	2,2	-1,8
E9	3,2	1	0,5	-3,1	2,8	0	1,5	-0,4	-1	0,2	2,2
E10	0,2	4	-0,5	-1,1	-3,2	-2	-5,5	-4,4	1	0,2	2,2

Ранжируємо відхилення та визначаємо найбільш несуперечливу альтернативу: це альтернатива A7 (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 – Ранжування матриці відхилень

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
E1	2	2	10	4	2	7	6	7	1	1	10
E2	3	9	7	10	5	1	6	10	4	8	11
E3	4	8	5	9	4	10	9	4	8	4	1
E4	6	7	10	9	6	9	7	8	7	8	6
E5	11	2	6	6	1	10	4	7	7	5	2
E6	2	10	4	7	9	5	6	5	1	5	4
E7	6	3	4	7	2	10	7	2	2	2	2
E8	3	2	9	8	4	1	5	8	4	9	10
E9	6	3	7	8	9	8	6	4	9	7	8
E10	3	8	7	6	7	3	2	6	3	9	11
Сума	46	54	69	74	49	64	58	61	46	58	65
Ранг	2392	3780	3795	5846	2352	3200	2610	4026	2760	3596	4030

Перемножуючи сукупні оцінки по кожній альтернативі ( $\Sigma 1$  та  $\Sigma 2$ ), отримуємо інтегровані оцінки, на підставі яких робимо остаточний вибір. В даному прикладі – це альтернатива A7, яка в максимальному ступені одночасно задовольняє обидва критерії: переваги та несуперечності.

### 3.4. Оцінка узгодженості експертної інформації

Існуючі способи визначення достовірності експертних оцінок засновані на тому, що при достатній узгодженості оцінок, експертиза вважається ефективною та достовірною [43, 44]. Тому крім вищевказаних етапів обробки матриць оцінок експертів, для агрегування отриманих результатів необхідно оцінити ступінь узгодженості думок експертної групи шляхом перевірки однорідності отриманого масиву даних.

Методи визначення узгодженості також залежать від виду оцінок. При оцінках в фізичних одиницях величин, бальних оцінках, попарних порівняннях, узгодженість думок експертів оцінюється за допомогою коефіцієнта варіації  $\gamma$ , який розраховується за формулою:

$$\gamma_i = \frac{\sigma_i}{x_i} \quad (3.15)$$

та визначає відносну величину розкиду оцінок експертів по відношенню до середнього значення колективної оцінки  $x_i$ , стандартне відхилення, розраховується за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - a)^2}{n-1}}, \quad (3.16)$$

де  $a_i = x_i$ ,  $n$  – кількість експертів.

При повній узгодженості експертів, коли всі  $x_{ij} = x_i$ ,  $\gamma_i = 0$ , вважають, що узгодженість експертів задовільна, якщо всі  $\gamma_i < 0,3$ , і хороша, якщо всі  $\gamma_i < 0,2$ .

Також розрахуємо коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{\sigma}{a} \cdot 100\% \quad (3.17)$$

Коефіцієнт варіації характеризує відносну міру відхилення отриманих значень від середньоарифметичного. Чим більше значення коефіцієнта варіації, тим відносно більший розкид та менша вирівняність альтернатив. При значенні коефіцієнта варіації: менше 10% – розкид в думках експертів незначний, 10 - 20% – розкид в думках експертів середній, 20 - 33% – розкид в думках експертів значний, >33% – інформація неоднорідна, необхідність виключення найбільших та найбільш маленьких значень [44]. В експерименті середнє значення коефіцієнта варіації знаходиться в інтервалі 10-20%, що говорить про прийнятний розкид в думках експертів. Результати статистичної обробки представлені в таблиці 3.13.

При груповому ранжируванні альтернатив узгодженість думок експертів визначаються за допомогою коефіцієнта конкордації (узгодженості)  $W$ , що характеризує ступінь узгодженості думок експертів по всіх оцінюваних альтернатив.

У нашому експерименті в результаті експертного опитування зроблено ранжування альтернатив-несправностей суднової системи кондиціонування повітря, в ході якого встановлено ранги  $x_{ij}$  кожної  $i$ -ї альтернативи  $j$ -м експертом,  $i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M$ .



Таблиця 3.13 – Статистика думок експертів

Варіанти альтернатив	Середнє	Границі 95% доверительний інтервал		Мінімум	Максимум	Станда ртне відхиле ння	Станда ртна похибка
		верхня	нижня				
A1	2,71	2,54	2,87	2	3	0,46	0,08
A2	1,68	1,49	1,86	1	3	0,53	0,09
A3	2,62	2,43	2,81	1	3	0,55	0,09
A4	2,74	2,58	2,89	2	3	0,45	0,08
A5	2,03	1,79	2,26	1	3	0,67	0,12
A6	2,21	2	2,41	1	3	0,59	0,1
A7	1,85	1,68	2,03	1	3	0,5	0,09
A8	2,06	1,91	2,21	1	3	0,42	0,07
A9	1,85	1,59	2,11	1	3	0,74	0,09
A10	2,74	2,58	2,89	2	3	0,45	0,07
A11	2,06	1,91	2,21	1	3	0,42	0,13

Коефіцієнт конкордації визначаємо наступним чином. Обчислюються суми рангів  $i$ -х альтернатив (таблиця 3.10):

$$S_i = \sum_{j=1}^m x_{ij}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.18)$$

Розраховують середнє значення отриманих величин:

$$S^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (3.19)$$

Визначають відхилення  $d_i$  сум  $S_i$  від середнього значення  $S^*$ :

$$d_i = S_i - S^*, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Для кожного експерта серед безлічі рангів  $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}$ , привласнених альтернативам  $j$ -м експертом, визначається кількість груп  $r_j$ , які мають рівні ранги, та кількість рівних рангів  $t_s$  в кожній  $s$ -й групі. Альтернативи ( $n = 11$ ), яким  $j$ -й експерт присвоїв ранги, представлені в табл. 3.10.

В результаті коефіцієнт конкордації визначимо за виразом (3.20):

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n d_i^2}{m^2 \cdot n \cdot (n^2 - 1) - m \cdot \sum_{j=1}^m T_j} \quad (3.20)$$

де

$$T_j = \sum_{z=1}^{r_j} t_z^2 \cdot (t_z - 1) \quad (3.21)$$

Якщо всі ранги, встановлені j-м експертом, різні, то  $T_j = 0$ . Коефіцієнт конкордації приймає значення в межах відрізка  $[0,1]$ . При повній узгодженості думок експертів  $W = 1$ . Зміна  $W$  від 1 до 0 відповідає зменшенню узгодженості. Можна вважати, що при  $W < 0,5$  узгодженість експертів низька; при  $W \geq 0,5$  - задовільна,  $W \geq 0,7$  - хороша.

У нашому експерименті дотримання всіх вимог до статистичних характеристик, думки експертної групи вважаються узгодженими, а оцінки (сукупність вагових коефіцієнтів) однорідними.

### 3.5. Висновки по третьому розділу

1. Побудована структура формування альтернатив при пошуку причин несправності.
2. Систематизовано та впорядковано основні суб'єктивні та об'єктивні умови, що впливають на час, що витрачається обслуговуючим персоналом, на відновлення працездатності суднової системи, яка відмовила.
3. Розроблено та побудовано схему, представлену у вигляді діаграми Ісікава, для вибору найбільш компетентних експертів.
4. Проведено аналіз та розрахунок по вибору найкращих альтернатив для ОПР на основі експертної інформації.

## РОЗДІЛ 4

### ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СППР МІНІМІЗАЦІЇ ЧАСУ ВІДНОВЛЕННЯ СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ДО ПРАЦЕЗДАТНОГО СТАНУ

#### 4.1. Постановка вимог до розроблюваної системи

При постановці завдання дослідження були описані інфологічна та фізична моделі. Спираючись на існуючий досвід розробки систем подібного типу [61, 62, 74, 76, 78, 82, 99, 101], були сформульовані основні вимоги до інформаційної системи підтримки рішень для зменшення часу на пошук та усунення несправностей судового обладнання. Система повинна: мати функціонал веб-сайту системи підтримки прийняття рішень для електромеханіків (СППР або Decision Support System-DSS) , метою якого є допомога у вирішенні несправностей з судовими системами, шляхом створення системи допомоги прийняття рішень, яка має базу даних (БД), що поповнюється та редагується експертами, підлаштовуючись під сучасні технології. Електромеханіки зможуть радитись, допомагати один одному у вирішенні проблем та знаходити потрібну інформацію самостійно.

Для виконання поставлених задач використано наступні інструменти:

- Мова гіпертекстової розмітки HTML5;
- Мова стилів CSS3;
- Скриптова мова програмування PHP 8.0;
- PHP - фреймворк Laravel 8;
- CSS - фреймворк Bootstrap 4;
- JS бібліотека Tabulator 4.9;
- GitHub;
- Хостинг ho.ua.

Створено дизайн сайту системи підтримки прийняття рішень для електромеханіків. Він простий у використанні, стриманий та мінімалістичний, щоб зосередити увагу користувача саме на пошуку необхідної інформації.

Сайт розташований на безкоштовному PHP веб-фреймворку з відкритим кодом – Laravel, призначений для розробки з використанням архітектурної моделі MVC (англ. Model View Controller - модель-уявлення-контролер). Laravel випущений під ліцензією MIT та має ключові особливості такі як:

- зрозуміла та детальна документація;
- власний потужний шаблонізатор Blade;
- наявність валідаторів;
- можливість створити власне правило валідації;
- власна реалізація ORM.

Tabulator – автономна бібліотека JavaScript, яка дозволяє створювати інтерактивні таблиці з будь-якої таблиці HTML, масиву JavaScript, даних в форматі JSON або джерела даних AJAX. Можливості фреймворку: фільтрування; сортування; форматування; редагування; CSS стилі; локалізація; адаптивний макет; розрахунок колонки; та інші.

Модель-представлення-контролер (зазвичай відомий як MVC) – це шаблон проектування програмного забезпечення, зазвичай використовується для розробки інтерфейсу, що призначений для користувачів, які розподіляють зв'язану логіку програми на три взаємопов'язаних елемента. Це зроблено для того, щоб відокремити внутрішнє представлення інформації від способів, якими інформація надається користувачеві та приймається від нього.

Цей шаблон традиційно використовується для створення графічного інтерфейсу програм, став популярним для розробки веб-застосунків.

Основна мета застосування цієї концепції полягає в відділенні логіки (моделі) від її візуалізації (представлення). За рахунок такого поділу підвищується можливість повторного використання коду. Найбільш корисне застосування, коли користувач повинен бачити ті ж самі дані одночасно в різних контекстах або з різних точок зору, або і тим і іншим. Зокрема виконуються наступні завдання:

До однієї моделі можна приєднати кілька видів, при цьому не зачіпаючи реалізацію моделі. Наприклад, деякі дані можуть бути одночасно представлені у вигляді таблиці, гістограми та кругової діаграми;

Не торкаючись реалізації представлень, можна змінити реакцію на дії користувача (натискання кнопки, введення даних) – для цього досить використовувати інший контролер.

Ряд розробників спеціалізуються тільки в одній з областей: або розробляють графічний інтерфейс, або розробляють модель [81, 87, 102, 104, 105].

*Модель* – центральний компонент паттерну. Це динамічна структура даних програми, незалежна від інтерфейсу користувача. Він безпосередньо управляє даними, логікою та правилами програми.

*Представлення* – відповідає за отримання необхідних даних з моделі та відправляє їх користувачу. Представлення не обробляє введені користувачем дані.

*Контролер* – приймає данні та перетворює його на команди для моделі або представлення.

Одже, модель відповідає за управління даними програми. Модель отримує данні, що введені користувачем, від контролера. Представлення відображає модель в певному форматі. Контролер реагує на введення користувача та виконує взаємодії з об'єктами моделі. Контролер отримує вхідні дані, при необхідності перевіряє їх, а потім передає дані в модель, рис. 4.1.

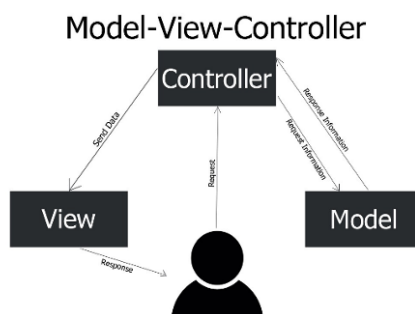


Рис. 4.1 – Схема взаємодії між користувачем та елементами моделі MVC

## 4.2. Створення проекту БД, моделей та контролерів

Для створення та завантаження проекту на Laravel 8 було введено консольну команду, рис. 4.2.

```
$ composer create-project --prefer-dist laravel/laravel DSS|
```

Рис. 4.2. – Команда творення проекту

Після її виконання завантажується пакет, який забезпечує основні функції для створення веб-застосунку.

Далі створено порожню базу даних з назвою dss у phpMyAdmin, рис. 4.3.

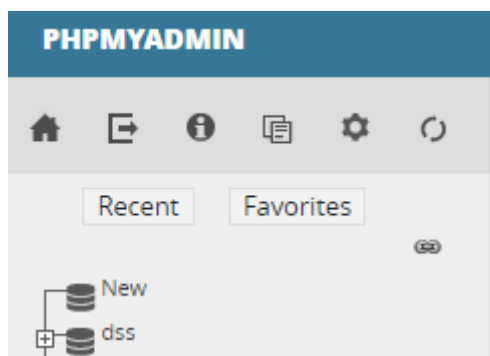


Рис. 4.3 – БД у phpMyAdmin

Для надання доступу до БД, внесено зміни у файл конфігурації оточення .env, рис. 4.4.

```
DB_CONNECTION=mysql
DB_HOST=http://127.0.0.1/
DB_PORT=3306
DB_DATABASE=dss
DB_USERNAME=root
DB_PASSWORD=root
```

Рис. 4.4 – Файл конфігурації оточення

Створення моделі показано на рисунку 4.5.

```
brax@OSER-11K-U: ~/S-Programms/OpenServer/du...
$ php artisan make:model Reason -m
...
$ php artisan make:model Atributte -m
```

Рис. 4.5 – Створення моделі причин несправності та моделі атрибутів

За замовчуванням, при створенні моделі було також створено файли міграції, що знаходяться за шляхом «DSS/database/migrations», за допомогою яких було створено таблиці у базі даних, які пов'язані між собою відносинами «один до багатьох» та «один до одного». Схема відносин представлена на рис. 4.6.

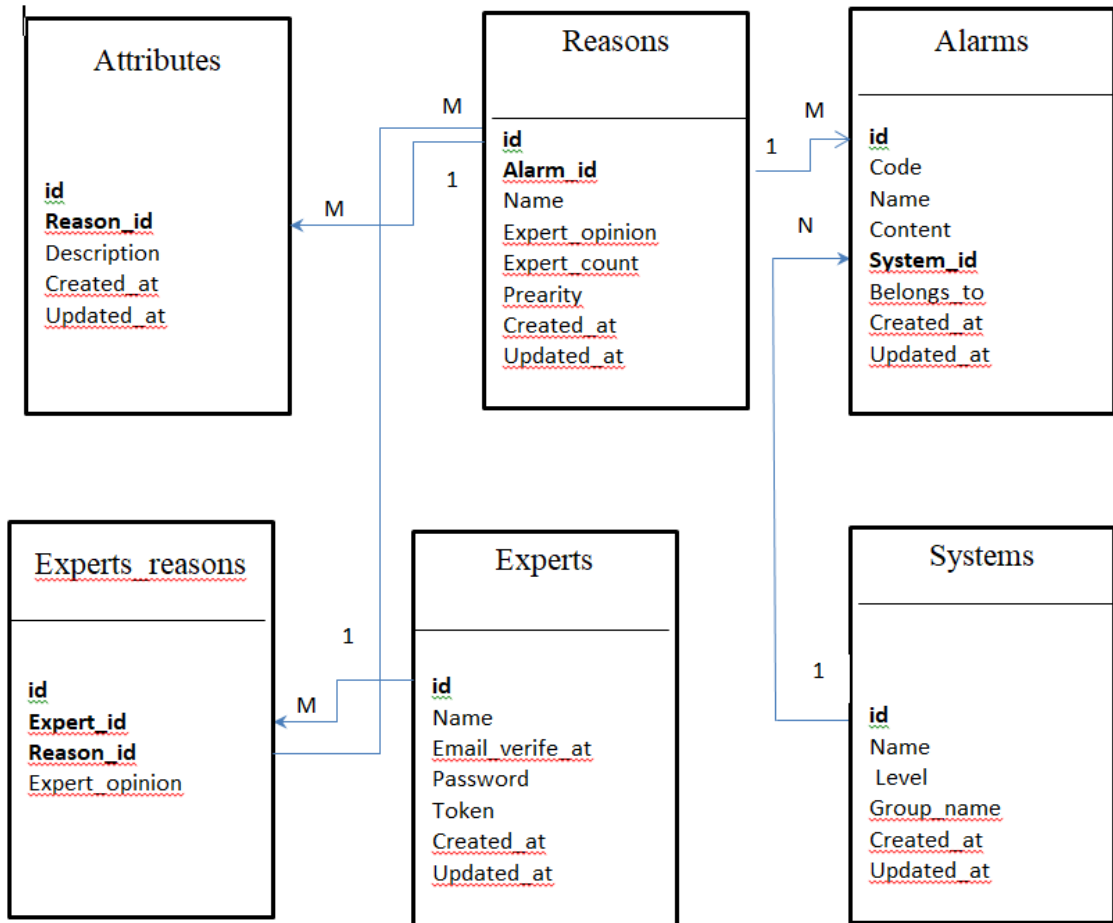


Рис. 4.6 – Логічна модель БД

Деякі поля мають модифікатори. Id має модифікатор unique, тобто значення у цьому полі мають бути унікальними, рис. 4.7.

Таблиця ▲	Действие	Строки ②	Тип	Сравнение	Размер	Фрагментировано
<input type="checkbox"/> alarms	★ 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄	10	InnoDB	utf8mb4_unicode_ci	16.0 КиБ	-
<input type="checkbox"/> attributes	★ 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄	22	InnoDB	utf8mb4_unicode_ci	16.0 КиБ	-
<input type="checkbox"/> eptert_reason	★ 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄	0	InnoDB	utf8mb4_unicode_ci	16.0 КиБ	-
<input type="checkbox"/> failed_jobs	★ 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄	0	InnoDB	utf8mb4_unicode_ci	16.0 КиБ	-
<input type="checkbox"/> migrations	★ 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄	6	InnoDB	utf8mb4_unicode_ci	16.0 КиБ	-
<input type="checkbox"/> password_resets	★ 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄	0	InnoDB	utf8mb4_unicode_ci	32.0 КиБ	-
<input type="checkbox"/> reasons	★ 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄	11	InnoDB	utf8mb4_unicode_ci	32.0 КиБ	-
<input type="checkbox"/> systems	★ 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄	29	InnoDB	utf8mb4_unicode_ci	16.0 КиБ	-
<input type="checkbox"/> users	★ 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄 📄	10	InnoDB	utf8mb4_unicode_ci	32.0 КиБ	-

Рис. 4.7 – Таблиці БД

Схема взаємодії модулів системи виглядає наступним чином, рис. 4.8.

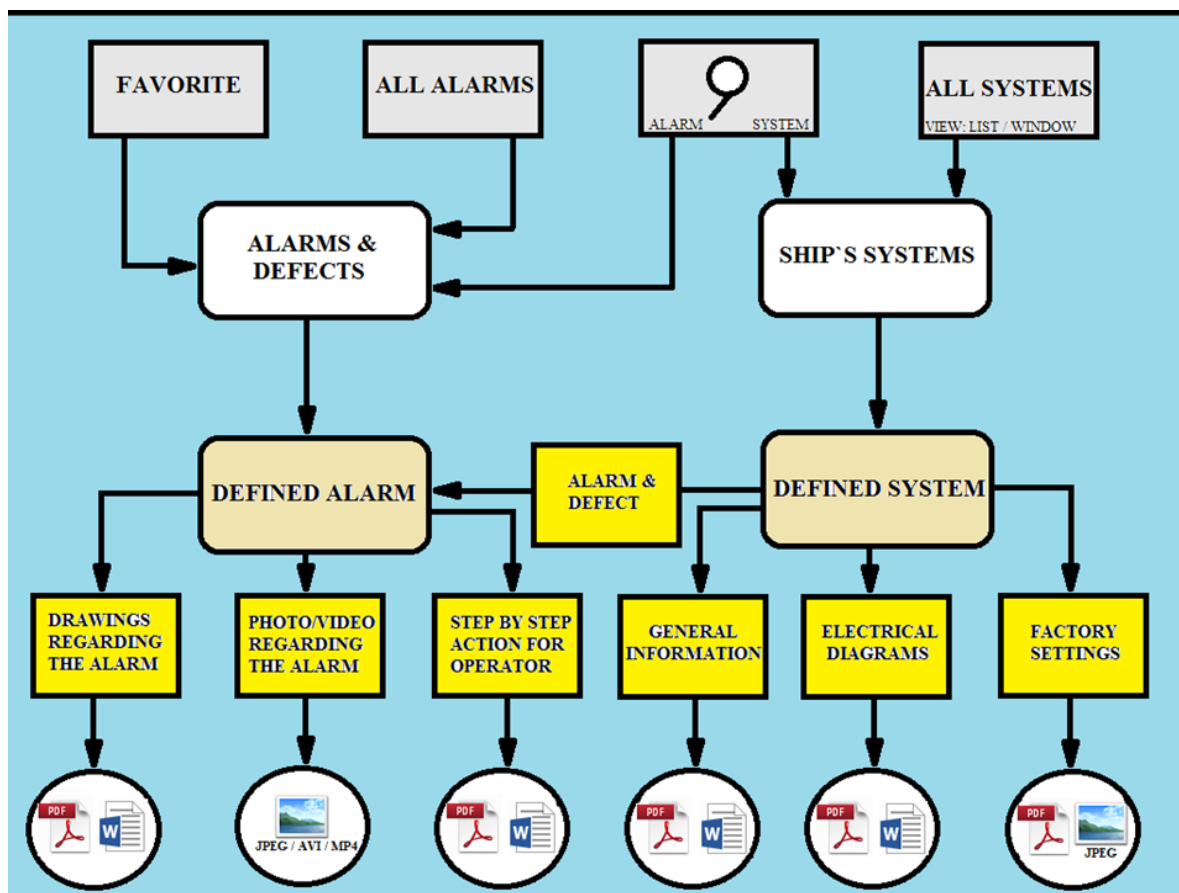


Рис. 4.8 – Взаємозв'язок програмних модулів СППР

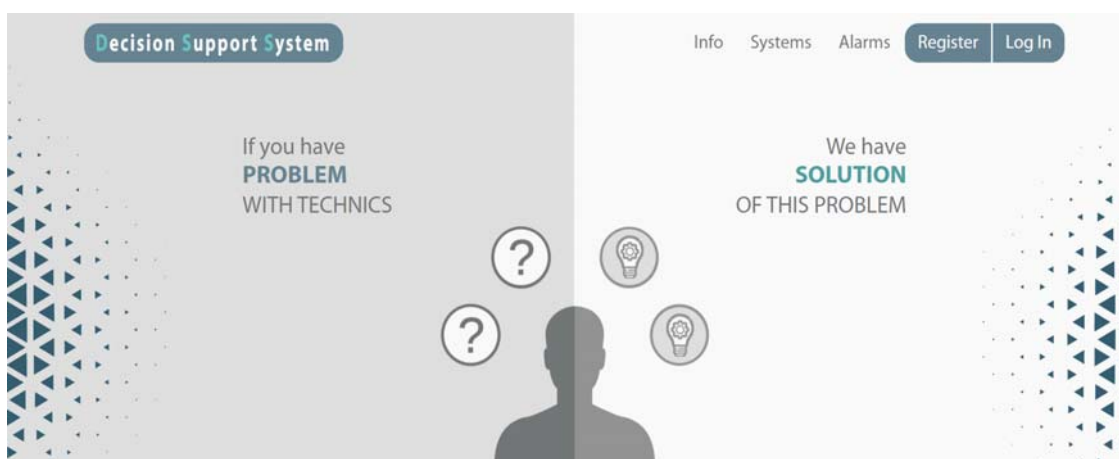
### 4.3. Реалізація аутентифікації користувача та налаштування прав доступу

Створено шаблони аутентифікації доступу: користувач, експерт і адміністратор. Незареєстровані користувачі мають обмеження тільки для перегляду всіх атрибутів. Адміністратор та експерти мають можливість змінювати та додавати нові дані, рис. 4.9.

Також, якщо зареєстрований користувач є адміністратором, то він має право на створення нових записів у БД, редагувати записи у БД та видаляти записи з БД.

Після ідентифікації незареєстрований користувач отримує доступ роботи з програмою. Йому надається можливість отримати потрібну йому інформацію з будь-якої суднової системи, рис. 4.10.





а)



б)

Рис. 4.9 – Вікно входу для а) незареєстрованого і б) зареєстрованого користувачів

filter by  like  value to filter

id	name	level	group_name	e...	d...
2	Aux. Engine #1	Very complex system	Generators	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Aux. Engine #2	Very complex system	Generators	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Aux. Engine #3	Very complex system	Generators	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Aux. Engine #4	Very complex system	Generators	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Fresh water generator	Simple system	Aux_System	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Emergency Generator	Complex system	Generators	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Control Systems	Complex system	Main_Engine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	FO system	Medium system	Main_Engine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Air condition system	Complex system	Aux_System	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Bilge system	Very simple system	Aux_System	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10 First Prev 1 2 3 Next Last

Рис. 4.10 – Вікно СППР с системами судна

Потрібна для ОПР система шукається через пошук або вручну, рис. 4.11.

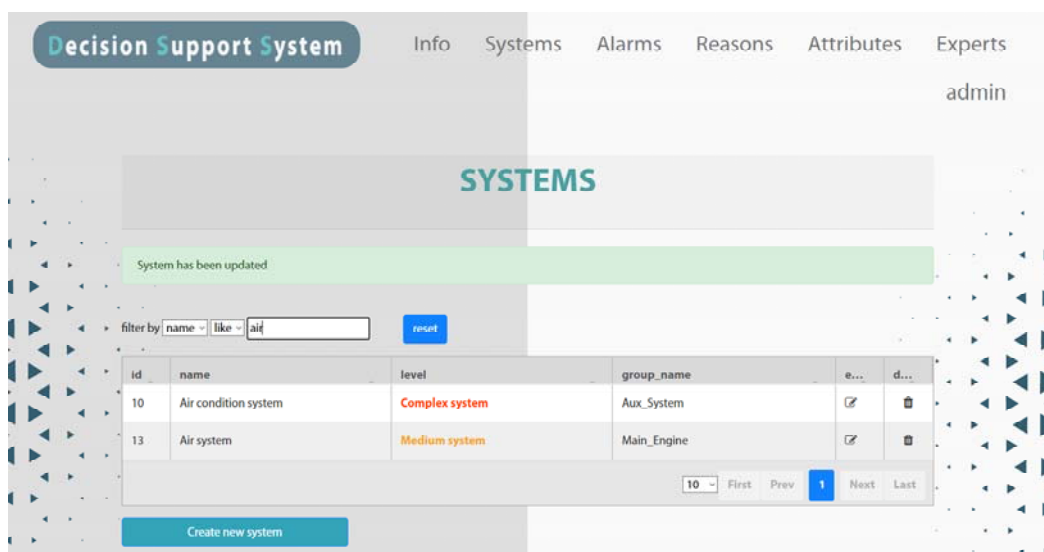


Рис. 4.11 – Пошук необхідної ОПР суднової системи

Вікно конкретної системи, має чотири допоміжні вкладки, які містять всю інформацію по даній систем, рис. 4.12.

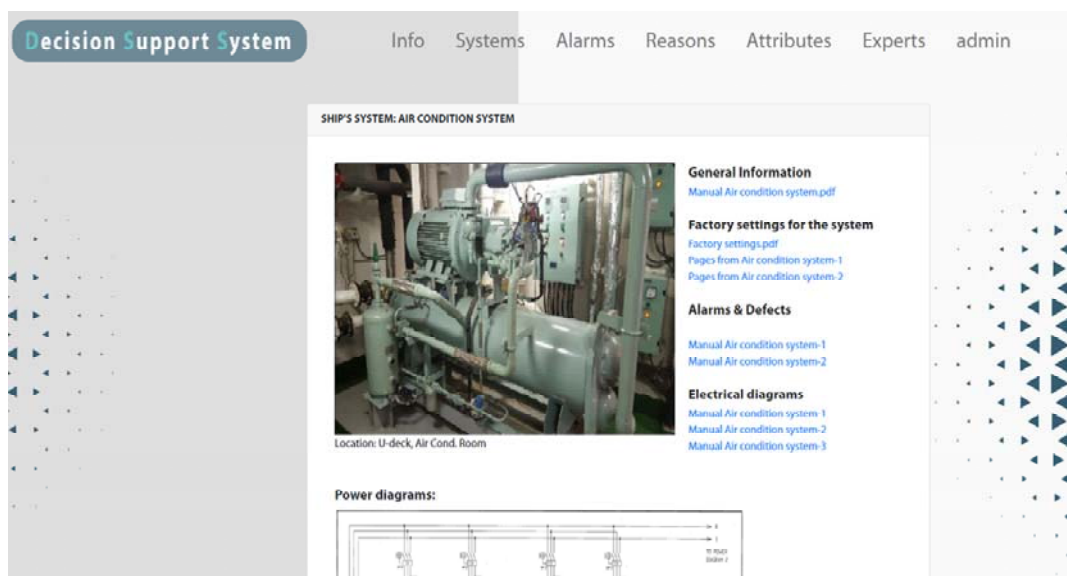


Рис. 4.12 – Суднова система кондиціонування повітря

Вкладка «GENERAL INFORMATION» містить файли із загальною інформацією: опис принципу дії системи, інструкція з експлуатації, терміни періодичного обслуговування, запасні частини і т.д., рис. 4.13.

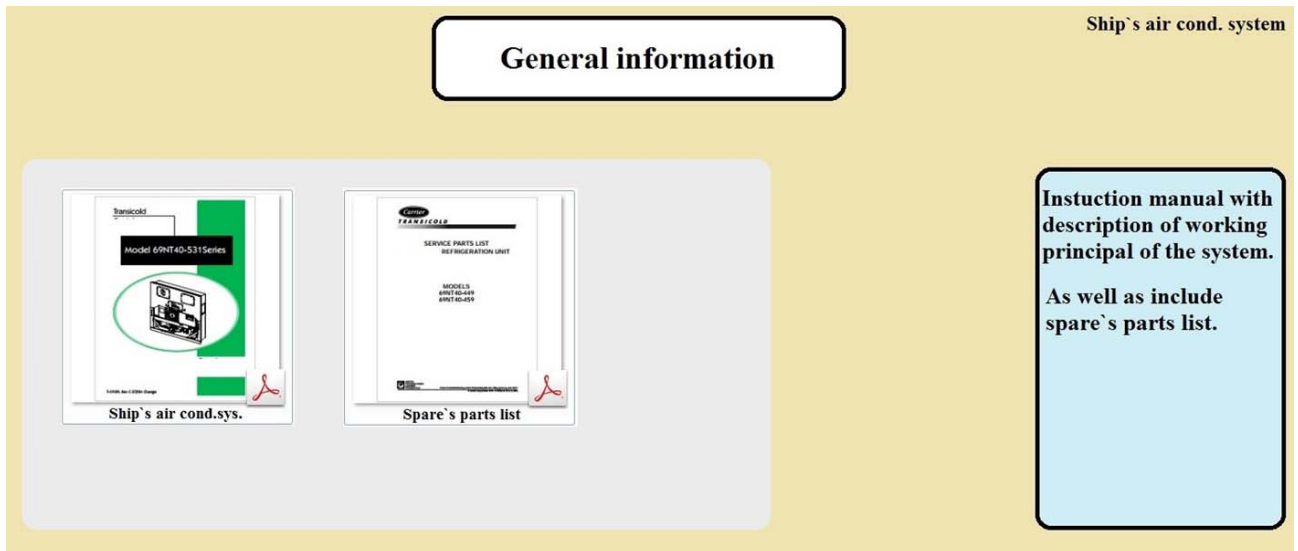


Рис. 4.13 – Вікно СППР із загальною інформацією по системі

Вкладка «FACTORY SETTINGS» містить файли з заводськими настройками всіх параметрів системи для різних режимів роботи, рис. 4.14.

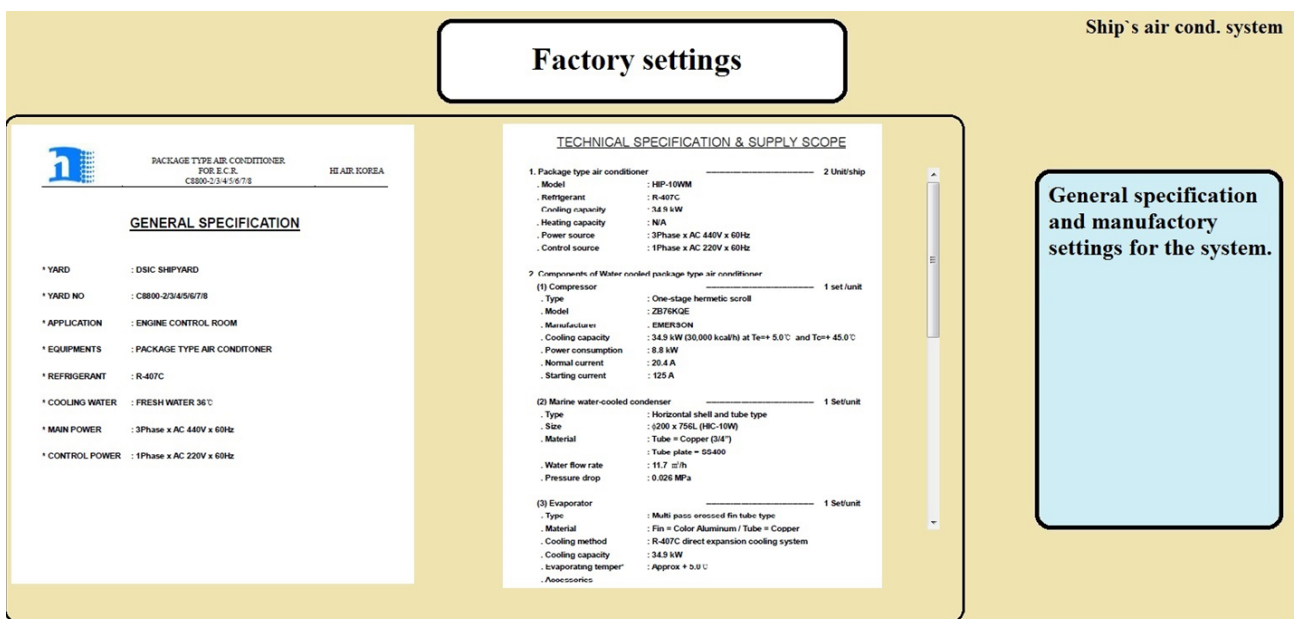


Рис. 4.14 – Вікно СППР з описом основних режимів роботи системи

Вкладка "ALARMS & DEFECTS" містить всі можливі несправності системи. А також перелік можливих ненормальних режимів роботи системи, рис. 4.15.

id	Code	Name	Content	System	Belong to	See reasons	del.
6	AC-14002	Suction pressure i...	Aux.system	Air condition system	Local controller	<a href="#">See reasons</a>	
7	AC-14000	Ship's Air Cond. C...	Aux.system	Air condition system	AMS	<a href="#">See reasons</a>	
1...	AC-14001	No power to unit ...	Aux.system	Air condition system	Local controller	<a href="#">See reasons</a>	
1...	AC-14003	Power presents bu...	Aux.system	Air condition system	Situation	<a href="#">See reasons</a>	
1...	AC-14004	Compressor hums,...	Aux.system	Air condition system	Situation	<a href="#">See reasons</a>	
1...	AC-14005	Unit runs but has i...	Aux.system	Air condition system	Situation	<a href="#">See reasons</a>	
1...	AC-14006	Unit operates long...	Aux.system	Air condition system	Local controller	<a href="#">See reasons</a>	
1...	AC-14007	Unit will not heat ...	Aux.system	Air condition system	Local controller	<a href="#">See reasons</a>	
1...	AC-14008	High discharge pr...	Aux.system	Air condition system	Local controller	<a href="#">See reasons</a>	
2...	AC-14009	Abnormal noise or...	Aux.system	Air condition system	Situation	<a href="#">See reasons</a>	

Рис. 4.15 – Вікно СППР з описом всіх можливих несправностей суднової системи кондиціонування повітря

Тут також передбачений пошук потрібної несправності автоматично та вручну, рис. 4.16.

id	Code	Name	Content	System	Belong to	See reasons	del.
1...	AC-14008	High discharge pr...	Aux.system	Air condition system	Local controller	<a href="#">See reasons</a>	
6	AC-14002	Suction pressure i...	Aux.system	Air condition system	Local controller	<a href="#">See reasons</a>	

10 First Prev 1 Next Last

Create new alarm

Рис. 4.16 – Пошук необхідної ОПР несправності по конкретній системі

Вкладка «ELECTRICAL DIAGRAMS» містить файли з усіма електричними схемами щодо даної системи, рис. 4.17.

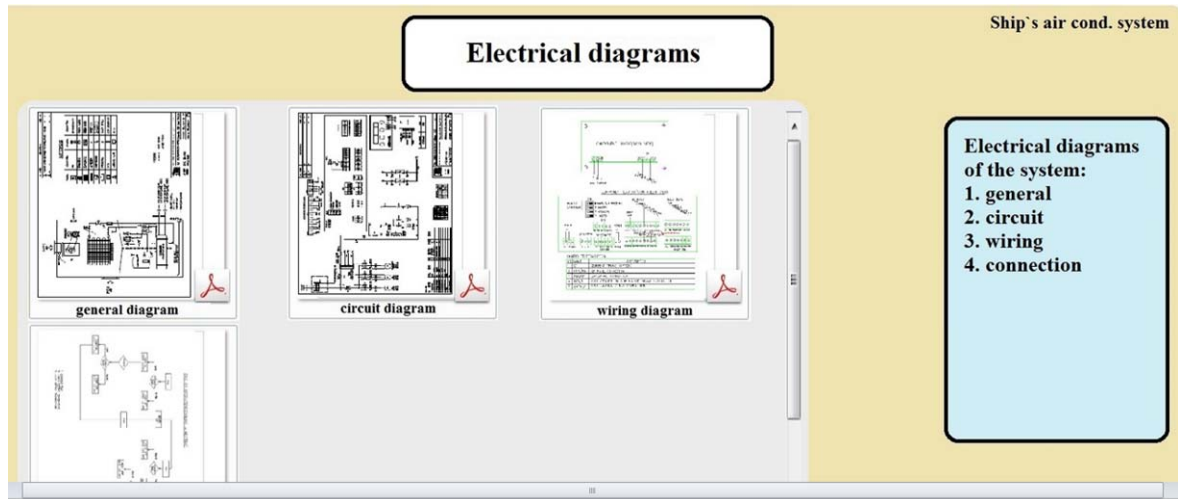


Рис. 4.17 – Вікно СППР з електричними схемами по даній системі  
Обравши потрібну йому несправність зі списку запропонованих СППР, оператор заходить на вкладку конкретної несправності, в якій перераховані всі можливі причини і їх ознаки, розташовані в порядку пріоритетності. Пріоритетність визначена думкою експертів у відсотках, рис. 4.18.

REASONS						
SUCTION PRESSURE IS EXCESSIVELY LOW						
Find reason: <input type="text" value="reason"/> <input type="button" value="find"/>						
N°	Priority*	Name	Attrib...	Experts count	Opinion of experts in %	Action
1	★★★★★	Low refrigerant charge	Attributes	10	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
2	★★★★☆	Filter-drier partially plugged	Attributes	10	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
5	★★★★☆	Expansion valve defective	Attributes	10	<div style="width: 20%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
6	★★★★☆	Liquid solenoid valve not opened	Attributes	10	<div style="width: 10%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
7	★★★★☆	No evaporator air flow or restricted air flow	Attributes	10	<div style="width: 5%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
8	★★★★☆	Excessive frost on evaporator coil	Attributes	10	<div style="width: 5%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
9	★★★★☆	Evaporator fan(s) rotating backwards	Attributes	10	<div style="width: 5%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
10	★★★☆☆	Discharge pressure regulator valve defective	Attributes	10	<div style="width: 5%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
11	★★★☆☆	Faulty suction pressure transducer	Attributes	10	<div style="width: 5%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
12	★★★☆☆	Incorrect software and/or controller configuration	Attributes	10	<div style="width: 5%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>
13	★★★☆☆	EEV control malfunction	Attributes	10	<div style="width: 5%; height: 10px; background-color: green;"></div>	<input type="button" value="edit"/> <input type="button" value="delete"/>

Рис. 4.18 – Вікно СППР з можливими причинами конкретної несправності  
На цій вкладці натиснута кнопка "Attributes" однією з можливих причин несправності. У спливаючому вікні перераховані всі ознаки, які можуть проявлятися при цій причині.

#### **4.4. Висновки по четвертому розділу**

1. Терміни обробки і аналізу судової документації скорочуються на 50%.
2. Використовуючи пропоновану систему, час, необхідний для усунення причини несправності скорочується на 25 - 50%.
3. В результаті впровадження системи отримано значно поліпшення якості прийнятих рішень.

Результати впровадження дозволяють зробити висновок про ефективність розробленої системи та практичної значущості проведених досліджень. Система підтримки і прийняття може бути використана для будь-якого типу судна.

## ВИСНОВКИ

У роботі виконана актуальна науково-технічна задача. Вирішено проблему підвищення ефективності експлуатації аварійно-попереджувальної системи судна. за рахунок впровадження системи підтримки прийняття рішень зі спостерігачем, що дозволяє значно скоротити час на відновлення несправної судової системи до працездатного стану. Спостерігач дозволяє отримувати інформацію про стан судових систем у режимі реального часу, а також прогнозувати їх майбутній стан. СППР генерує альтернативи рішень (алгоритмів) для відновлення працездатного стану системи при її відказі. Програма може самостійно пропонувати карту пошуку виниклої несправності з точністю до несправного датчика або елемента схеми. Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. В роботі зроблено оцінку якості виконуваних завдань сучасними судовими системами аварійно-попереджувальної сигналізації (АПС) з точки зору безпеки судна та надійності судового обладнання. Подано докладний огляд функцій та переваг існуючих систем АПС, а також розглянуті недоліки.

2. Виконано аналіз методів, якими проводиться пошук несправностей в реальних умовах плавання, а також способів за якими будуються дерева відмов та дерева рішень для виявлення несправності в конкретних об'єктах діагностики та їх структурних одиницях.

3. Обґрунтовано рівень кваліфікації, яким повинен володіти ОПР, для відновлення системи до працездатного стану, що зроблено за рахунок статистично-розвідувального аналізу несправностей судових систем та їх можливих причин. Також обґрунтовано вплив різних чинників та інформаційних потреб ОПР при виборі оптимального рішення.

4. Розроблено модель прийняття рішень з урахуванням пріоритетності перевірок при пошуку несправностей на основі експертних оцінок та урахуванням діагностичних ознак несправності. Створені ефективні алгоритми та відповідна інформаційна технологія, що підвищує інформативність ОПР в питаннях пошуку причин несправностей.

5. Удосконалено модель системи діагностування судна за рахунок інтеграції даних до СППР для використання оператором при пошуку та усуненні причин несправності судових автоматизованих систем та механізмів. За допомогою «спостерігача» система діагностування може отримувати інформацію про стан судових систем у режимі реального часу, а також прогнозувати їх майбутній стан.

6. Здійснено апробацію працездатності запропонованих моделей на судні MSC Brunella. Проведено експеримент, по відновленню працездатності несправної системи використовуючи можливості СППР. Наочно продемонстровано, що ефективність пошуку причин несправності за участю тільки ОПР набагато нижче, ніж з використанням СППР.

Використання результатів дисертаційного дослідження дозволяє: значно скоротити терміни обробки та аналізу судової документації, а також час, необхідний для пошуку та усунення несправності у судовій системі, яка відмовила, за рахунок швидкого отримання необхідної та не надлишкової інформації від СППР. В результаті впровадження такої системи значно поліпшується якість прийнятих рішень, що дозволяє навіть при невисокій кваліфікації обслуговуючого персоналу швидко діагностування та пошук несправностей у судових системах, які відмовили під час експлуатації.

Перспективи використання таких систем на судах дозволять значно знизити негативний вплив так званого, "людського фактора" в сфері експлуатації та обслуговування судового обладнання, а також підвищити безпеку екіпажу судна.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов – М.: Деловой экспресс, 2002. – 367 с.
2. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга [Текст] / А.И.Бакланов. – М: Бином, 2009. – 234 с.
3. Башуров Б.П. Техническая эксплуатация судовых энергетических установок [Текст] / Б.П. Башуров. – Новороссийск: НГМА, 2007. – 195 с.
4. Белов В. Нова методика кількісної оцінки узгодженості думок експертів / В. Белов, В. Чумаков // Вісник Київського національного торгово-економічного університету. – 2008. – № 2. – С.84–90.
5. Бигус, Г.А. Диагностика технических устройств / Г.А. Бигус, Ю.Ф. Даниев, И.А. Быстрова, Д.И. Галкин - М. : изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014,- 615 с.
6. Блинов Э.К. Техническое обслуживание и ремонт судов по состоянию: Справочник [Текст] / Э.К Блинов., Г.Ш. Розенберг – СПб.: Судостроение, 1992. – 189 с.
7. Боран–Кешишьян А.Л. Обеспечение надежности судовых систем навигации и управления в современных условиях [Текст] / А.Л. Боран– Кешишьян. – Новороссийск, 2008. – 68 с.
8. Вычужанин В.В. Информатизация дистанционного диагностирования состояния сложных технических систем [Текст] / В.В. Вычужанин, С.Н. Коновалов // Информатика и математические методы в моделировании, 2016. – Том 6, №1. – С. 303-311.
9. Вычужанин В.В. Информационная когнитивная модель технологической взаимозависимости сложных технических систем [Текст] / В.В. Вычужанин // ІНФОРМАТИКА ТА МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В МОДЕЛЮВАННІ, 2013. – Том 3, №3 , с.240-247

10. Вычужанин В.В. Метод управления рисками судовых сложных технических систем [Текст] / В.В.Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Проблемы техніки, 2014. – №2. – С.138 – 142.

11. Вычужанин В.В. Модель оценки живучести судовых технических систем [Текст] / В.В. Вычужанин, В.Д. Бойко // Вестник Миколаївського кораблебудівного університету, 2012. – № 3, с. 62-67

12. Вычужанин В.В. Оценки структурного и функционального рисков сложных технических систем [Текст] / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2014. –1/2 ( 67 ) . – С.18– 22.

13. Вычужанин В.В. Технические риски сложных комплексов функционально взаимосвязанных структурных компонентов судовых энергетических установок [Текст] / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Вісник Одеського національного морського університету, збірник наукових праць, 2014. – випуск 2(40). – С. 68 –77.

14. Гнатієнко Г. М. Експертні технології прийняття рішень : монографія / Г. М. Гнатієнко, В. Є. Снитюк. – К. : ТОВ «Маклаут», 2008. – 444 с.

15. Головки С.В. Диагностика технического состояния судового электрооборудования на основе интеллектуального анализа данных [Текст] / С.В. Головки // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика, 2009. – С. 90 – 95.

16. Головки С.В. Управление судовыми системами автоматизации на основе интеллектуального анализа диагностических данных: дисс. канд. техн. наук 05.13.06 АГТУ/ С.В. Головки. – Астрахань, 2009. – 155 с.

17. Гребенников А.В. Моделирование сетевого трафика и прогнозирования с помощью модели ARIMA / А.В. Гребенников, Ю.А. Крючков, Д.В. Чернягин / Электронный научный журнал «Системный анализ в науке и образовании». – 2011. – № 1. – С. 1–11. URL: <http://www.sanse.ru/download79> (дата обращения 28.01.2014)

18. Гуменюк, В.М. Основы теории надёжности и технической диагностики. Учебное пособие (электрон, ресурс) / В.М. Гуменюк - Владивосток: изд. ДВГУПС, 2013 183 с.

19. Гуськов А.В. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. – Новосибирск: НГУ, 2007. – 427 с.
20. Денисов, В.Г. Методы и средства технического диагностирования судовых энергетических установок [Текст] / В.Г. Денисов.- Одесса:Феникс, 2008. – 304 с.
21. Емельянов М.Д. Оценка риска и критичные элементы морских судов [Текст] / М.Д. Емельянов // Проблемы развития морского флота: Сб. научных трудов ЗАО ЦНИИМФ, 2009. – С. 20–41.
22. Емельянов, М.Д. Система компьютерного мониторинга технического состояния морских судов с оценкой рисков [Текст] / М.Д. Емельянов // Научн.-техн.сб. Российского морского регистра судоходства Вып.32 - 2009. – С.23-43.
23. Жадобин, Н.Е. Основные нештатные режимы судовых электро-машин. Ч.1. Учеб. пособие / Н.Е. Жадобин, М.А. Сюбаев, В.Ф. Мищенко, И.И. Соломонова - СПб.: ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2003. - 80 с.
24. Згуровский, М.З. Системный анализ: проблемы, методология приложения [Текст] / М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 742.
25. Зильбербург Л.И. Информационные технологии в проектировании и производстве [Текст] / Л.И. Зильбербург, В.И. Мелочник, Е.И. Яблочников. – СПб.: Политехника, 2008. – 304 с.
26. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В.А. Геловани и др. - М.: Едиториал УРСС, 2015. - 304 с.
27. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика элементов электроустановок СПб.: Элмор, 2009 – 336 с.
28. Колесникова Е.В. Методы оценки качества технических систем [Текст] / Е.В.Колесникова, Г. В. Кострова, И. В. Прокопович // Пр. Одес. політехн. ун-ту, 2007. – №1. – С. 128–130.
29. Колпаков, В. М. Теория и практика принятия управленческих решений [Текст] : учеб. пособие / В. М. Колпаков. – [изд. 2-е, перераб. и доп.]. – К.:МАУП, 2004. – 504 с.

30. Кондрашов К.В. Анализ современных систем аварийно-предупредительной сигнализации судов // Міжнародна наукова інтернет-конференція на тему: "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 29) 12 червня 2018 р. С. 78 – 85.

31. Кондрашов К.В., Рожков С.О., Абрамов Г.С. Анализ отказов судового электрооборудования по критерию сложности при поиске причин неисправности. Матеріали конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT - 2019». –Херсон. –С.100-106.

32. Кондрашов К.В., Терещенкова О.В. Необходимость создания СППР судового электрооборудования. Міжнародна наукова інтернет-конференція на тему: "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 32) 16 жовтня 2018 р. С.32 35.

33. Кондрашов К.В., Терещенкова О.В. Построение экспертной системы для минимизации времени поиска дефектов судового электрооборудования. Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: СЕУТТО-2019. Матеріали 10-ї Міжнародної науково-практичної конференції. 12-13 вересня 2019 р. – Херсон: ХДМА. – 2019, с. 72 74.

34. Кондрашов К.В., Терещенкова О.В., Анализ неисправностей судового электрооборудования. IV міжнародна науково-практична конференція «PERSPECTIVES OF SCIENCE AND EDUCATION» м. Київ, м. Карлові Вари 2018. С. 443 449.

35. Кондрашов К.В., Терещенкова О.В. Informational Expert System For Minimizing The Time For Searching Of Failures Of Ship Electrical Equipment. VII INTERNATIONAL CONFERENCE Information Technology and Interactions (Satellite) 04 December, 2020, p. 170 180.

36. Кондрашов К.В., Терещенкова О.В. Автоматизація пошуку дефектів суднового електрообладнання // Збірник наукових праць національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова наукове видання №3, с. 106 113. [https://doi.org/10.15589/znp2020.3\(481\).14](https://doi.org/10.15589/znp2020.3(481).14). p- ISSN 2311-3405, e- ISSN 2313-0415.

37. Методы поддержки принятия решений. - М.: Едиториал УРСС, 2015. - 742 с.
38. Методы принятия решений. Метод минимального расстояния и методы МаксиМин и МаксиМакс. - Методические указания к лабораторной работе по курсу "Системы поддержки принятий решений". - МГИЭМ. Сост.: И.Е.Сафонова, А.В.Дробышев, К.Ю.Мишин, С.В.Цыганов: – М., 2007. - 19 с.
39. Міронова Ю. В. Використання методу колективних експертних оцінок Дельфі для вибору оптимального показника оцінки ефективності використання робочої сили / Ю. В. Міронова, Б. Є. Грабовецький // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2009. – №4. – С.33–38.
40. Медведев В. В. Использование прогноза и оценки рисков при проектировании судовых энергетических установок и их элементов [Текст] / В.В. Медведев // Судостроение, 2008. – №6. С. 159-164.
41. Мясников, Ю.Н. Надежность и техническая диагностика судовых энергомеханических систем (НТДИКА) [Текст] / Ю.Н. Мясников. СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова, 2008. – 183 с.
42. Никитин А.М. Совершенствование технического обслуживания и ремонта судовых энергетических установок на основе анализа рисков [Текст]: автореф. дис. д-ра техн. наук. / Никитин Александр Мстиславович; СПб., Санкт-Петербург, 2007. – 381с.
43. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях. Учебно-методическое пособие [Текст] / В.Д. Ногин – СПб. Издательство «ЮТАС», 2007. – 104 с.
44. Орлов А. И. Экспертные оценки: Учебное пособие /А. И. Орлов. – М. : ИВСТЭ, 2002. – 31 с.
45. Панкратова Н. Д. Системный анализ в динамике диагностирования сложных технических систем [Текст] / Н. Д. Панкратова // Системні дослідження та інформаційні технології, 2008. – № 1. – С. 33–49.
46. Половко А. М. Основы теории надежности [Текст] / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

47. Портнягин Н.Н., Пюкке Г.А. Теория, методы и эксперименты решения задач диагностики судовых электрических средств автоматизации. – СПб.: Судостроение, 2004. – 162 с.

48. Пушкар, О. І. Системи підтримки прийняття рішень [Текст] : навч. посібник / О. І.Пушкар, В. М. Гіковатий, О. С. Євсєєв, Л. В. Потрашкова ; ред. О. І.Пушкар. – Харків : Інжек, 2006. – 304 с. – ISBN 966-392-066-1.

49. Решетов Н.А. Деятельность международной морской организации по созданию целевых стандартов постройки новых судов [Текст] / Н.А. Решетов // Судостроение, 2008. – №2. - С.9-12.

50. Рожков С.А., Кондрашов К.В., Терещенкова О.В., Фаленкова М.В., Informational expert system for minimizing the time in searching of ship electrical equipment failures. CEUR-WS.org/Vol-2845 - Information technology and interactions (IT&I 2020), p.418-426.

51. Романов, В. П. Интеллектуальные информационные системы в экономике [Текст] : учебное пособие / Виктор Петрович Романов ; ред. Н. П. Тихомиров ; Российская эконом. академия им. Г. В. Плеханова. – М. : Экзамен, 2003. – 496 с. ISBN 5-94692-194-0.

52. Рудницкий А. В. Моделирование функционирования судового оборудования с позиции надежности (безотказности) [Текст] / А. В. Рудницкий, В. И. Рудницкий // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология, 2011. №1 – С. 63-66.

53. Рудницкий В.И. Информационное обеспечение для управления надежностью судового оборудования [Текст] / В.И. Рудницкий, А.В. Рудницкий, В.С. Виноградов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 2011. – № 2(87) – С. 147-154.

54. Рудниченко Н.Д. Нечетко-вероятностная модель оценок рисков сложных технических систем [Текст] / Н.Д. Рудниченко, В.В. Вычужанин // Информатика та математичні методи в моделюванні, 2014. – Том 4, №3. С.225-232.

55. Рудниченко Н.Д. Оценка рисков взаимосвязанных структурных компонентов судовых энергетических установок как сложных технических систем

[Текст] / Н.Д. Рудниченко, В.В. Вычужанин // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції Комп'ютерні науки: Освіта, наука, практика, 2014. – С. 158–160.

56. Рудниченко Н.Д. Оценки структурных рисков судовых энергетических установок [Текст] / Н.Д. Рудниченко, В.В. Вычужанин // Сборник научных трудов Sworld. Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании, 2014. – Т.6. – С. 19–21.

57. Румб В.К. Судовые энергетические установки. Судовые дизельные энергетические установки: учебник [Текст] / В.К. Румб, Г.В. Яковлев, Г.И. Шаров// СПбГМТУ. СПб., 2007. – 622 с.

58. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.

59. Самойленко А.Ю. Электронные системы контроля параметров рабочего процесса судовых средне- и высокооборотных дизелей: Монография [Текст] / А.Ю. Самойленко – СПб.: Судостроение, 2004. – 132 с.

60. Серебряков А.В., Стеклов А.С., Титов В.Г. Новый алгоритм технического диагностирования гребных электродвигателей. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17. № 2 С. 82 - 88.

61. Ситник, В. Ф. Основи інформаційних систем [Текст] : навч. посібник / В. Ф. Ситник [та ін.]. – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – К. : КНЕУ, 2001. – 420 с.

62. Ситник, В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень [Текст] : навч. посібник / В. Ф. Ситник. – К. : КНЕУ, 2003.

63. Снопков В.И. Безопасность мореплавания [Текст] / В.И. Снопков, Г.И. Конопелько, В.Б. Васильева. –М.: Транспорт, 1994. – 247 с.

64. Сюбаев, М.А. Основные нештатные режимы судовых электромашин. Учеб. пособие. Ч.2 / М.А. Сюбаев, В.Ф. Мищенко. – СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С.О.Макарова, 2004. – 52 с.

65. Терещенкова О.В., Кондрашов К.В. Automation of the process of troubleshooting in ship systems. CEUR-WS.org/Vol-2845 - Information technology and interactions (IT&I 2020), p.170-180.

66. Управление в условиях неопределённости [Текст] / пер. с англ. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. – 213 с. – (Классика Harvard Business Review). – ISBN 5-9614-0382-3.

67. Горбов В.М. Обеспечение надежности и живучести СЭУ на газотурбоэлектроходах [Текст] / В.М. Горбов // Вестник СевГТУ. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь, 2008. – Вып. 87. – С. 51–55.

68. Шibaева Н.О. Метод структурной оптимизации характеристик системы дистанционного мониторинга и диагностики судовых сложных технических систем [Текст] / Н.О. Шibaева, В.В. Вычужанин // Вісник Одеського національного морського університету: сб. статей. – Одесса, 2016. – Выпуск 1(47) – С. 69-81.

69. Шibaева Н.О. Повышение эффективности эксплуатации системы дистанционного мониторинга и диагностики судовых сложных технических систем [Текст] / Н. О. Шibaева, В. В. Вычужанин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта, 2016. – №47. – С. 15 – 23 [включений в РИНЦ]

70. Шibaева Н.О. Повышение эффективности эксплуатации судовых сложных технических систем на основе моделирования и многокритериальной оптимизации [Текст] / Н. О. Шibaева, В. В. Вычужанин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова №4 (38), 2016. – С. 223-231.

71. Шibaева Н.О. Проблемы дистанционного мониторинга, диагностики, и прогнозирования состояния судовых технических систем [Текст] / Н.О. Шibaева, В.В. Вычужанин, С.Н. Коновалов // Вісник Одеського національного морського університету : сб. статей. – Одесса, 2015. – Выпуск 2(44) – С. 97-106.

72. Шibaева Н.О., Информационное обеспечение дистанционной оценки рисков сложных технических систем [Текст] / Н.О. Шibaева, В.В. Вычужанин // Информатика и математические методы в моделировании, 2016.– Т.6, №2, С. 133-141.

73. Шульга Н.В. Можливості застосування комп'ютерних технологій для визначення числових характеристик випадкових величин // Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології.– 2013.– №6. – С. 425–435.



74. Юсупова, Н. И. Интеллектуальная информационная поддержка принятия решений при анализе рисков чрезвычайных ситуаций и управлении ими / Н.И. Юсупова, К.Р. Еникеева. - М.: Машиностроение, 2014. – 208 с.
75. Яхьяев Н.Я. Основы теории надёжности и диагностики. Учебник для вузов / Н.Я. Яхьяев, А.В. Кораблин - М. : Академия, 2009. - 256 с.
76. Beetz M. Cognitive technical systems—what is the role of artificial intelligence? [Text] / M. Beetz, M.Buss, D. Wollherr // KI 2007: Advances in Artificial Intelligence, 2007. – P. 19–42.
77. Blanke M. Diagnostics and Fault-Tolerant Control [Text] / M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, M. Staroswiecki // Springer-Verlag, Berlin, Germany, М.: Шпрингер-Ферлаг, Берлин Гейдельберг, 2003. – 695 с.
78. Changben J. Ship Hull and Machinery Optimization using Physics Based Design Software [Text] / J. Changben, F. Brian, L. David, R. Oen // Marine Technology, 2002. – Vol. 39. – No. 2. – P. 109-117.
79. Chengqing Y. Remout Fault Diagnosis System for Marin Power Machinery System [Text] / Y. Chengqing, Y. Xinping, L. Zhixiong, Z. Yuelei, S. Chenxing, Z. Jiangbin // 2009. – 20 p.
80. Chi- chum Lo, Wan- Jis Chen/ A hyd information security risk assessment procedure considering interdependences between controls [Text] // Expert Systems with Applicatios, 2011. – V39. – P. 248–257.
81. Decision Support Applications [Text] / Hugh J. Watson, George Houdeshel, R. Kelly Rainer. – New York : John Wiley & Sons Inc, 1997.
82. Dianne C. B., Hart A. E. Evaluating expert systems// Expert systems, v.7, № 4.87с.
83. Ernest J. Reliability engineering and risk assessment. [Text] / Henley and Hiromitsu Kumamoto // Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 1981. – 219 p.
84. Hatzilau I. K. On electric load characterization and categorization in ship electric installations [Text] / I. K. Hatzilau, G. J. Tsekouras, J. M. Prousalidis, I. K. Gyparis// IEEE Transactions on Power Systems, 2007. – №3. – P. 1120–1128.

85. ISO 13379-1:2012 (E) Condition monitoring and diagnostics of machines — Data interpretation and diagnostics techniques, 2012. – P. 33.
86. ISO 13381-1:2015 Condition monitoring and diagnostics of machines -- Prognostics -- Part 1: General guidelines, 2015. – 21 p.
87. Ivanov A.A., Lebedenko Yu.A., Rozhkov S.A., Kolosov I.V. Electric Propulsion Ship's Training Simulator Based on Intelligent System. Electronics and Control Systems. 2019. № 2(60). P. 53-60. DOI: 10.18372/1990-5548.60.13815
88. Jardine A.K.S. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance [Text] / A.K.S. Jardine , D.Lin, D. Banjevic // Mechanical Systems and Signal Processing, volume 20 (Issue 7), 2005.– P. 1483-1510.
89. Jennings, S. Defining fishing grounds with vessel monitoring system data [Text] / S. Jennings, J.Lee – ICES Journal of Marine Science, 2012. – P. 51–63.
90. Katsikas S. Wireless Modular System for Vessel Engines Monitoring, Condition Based Maintenance and Vessel's Performance Analysis [Text] / S Katsikas D. Dimitrios , A. Defigos , R. Apostolos, M. Konstantina // EUROPEAN CONFERENCE OF THE PROGNOSTICS AND HEALTH MANAGEMENT SOCIETY, 2014. – P.1-10.
91. Kołowrocki K. Reliability and Safety of Complex Technical Systems and Processes: Modeling-Identification-Prediction-Optimization [Text] / K. Kołowrocki, J. Soszycska-Budny // London, Springer, 2011. – 405 p.
92. KONGSBERG. Standard K-Chief 600 Alarm and Monitoring System / 354760 / Rev.D March 2013 © Kongsberg Maritime AS
93. KONGSBERG. Kongsberg K-Chief 500/600 Marine Automation System Installation Manual /311956 / F March 2013 © Kongsberg Maritime AS
94. Mozhaev A.S. Primenenie avtomatizirovannogo strukturno-logicheskogo modelirovaniya dlja proektnogo rascheta nadezhnosti ASU, Neft' [Text]/A. S. Mozhaev, M. S. Skvorcov, A. V. Strukov // Gaz. Novacii, 2010. – №. 9, P. 72–78.
95. MSC Circ. 829/MEPC Circ. 335 17 November 1997 Interim Guidelines for the Application of Formal Safety Assessment (FSA) to the IMO Rule-Making Process.
96. MSC/Circ.1023 T5/1.01 MEPC [Text] / Circ.3925 Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rulemaking Process . – 2002. P 319.

97. O'Neill John Technical Risk Assessment: a Practitioner's Guide [Text] / John O'Neill, Nitin Thakur, Alan Duus. – Australia, 2007. – 29 p.
98. Power, D. J. Decision Support Systems: Concepts and Resources [Electronic resource] / D. J. Power. – Mode of access : <http://dssresources.com.dssbook/index.html>.
99. Palyukh B., Kakatunova T., Baguzova O., Intelligent decision support system for managing complex objects using dynamic fuzzy cognitive maps, Software Products and Systems, 2013.
100. Raymond McLeon Jr., George Schell. Management Information Systems [Text] / Raymond McLeon Jr., George Schell. – Prentice – Hall, Upper Sadle River, New Jersey 07458, 2001.
101. Rodseth O.J., Burmeister H-C. Risk Assessment for an Unmanned Merchant Ship [Text] / International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation // Volume 9, Number 3, 2015. – P .357-364.
102. Rudnichenko N., Kramskoy S., Hrechukha Y. // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2016. – P. 255-270.
103. Schwenk C.R. The cognitive perspective on strategic decision making [Text] / C.R. Schwenk // Journal of Management Studies, 2007. – T. 25, № 1. – P. 41–55.
104. Shibaeva N. Concept implementation of decision support software for the risk management of complex technical system [Text] / N. Shibaeva, V. Boyko ,
105. Shibaeva N.O. The development of user interface prototype of decision support system for risk management of complex technical system [Text] / N.O. Shibaeva, V.V. Vychuzhani, N.D. Rudnichenko, V.D. Boyko // The Annual Conference International 15Sustainability and Competitiveness in Business/ Jordan, 2016. – P. 162-173.
106. Tsekouras G. J. A new pattern recognition methodology for classification of load profiles for ships electric consumers [Text] / G. J. Tsekouras, I. K. Hatzilau, J. M. Prousalidis // Journal of Marine Engineering and Technology, 2009. – №14. – P. 45–58.

## ДОДАТОК А

### РОЗПОДІЛ СУДНОВИХ СИСТЕМ ЗА КРИТЕРІЄМ СКЛАДНОСТІ ПРИ ПОШУКУ ПРИЧИН НЕСПРАВНОСТІ

Кожне судно можна уявити як комплекс взаємопов'язаних та взаємодіючих між собою систем різної складності. При нормальній роботі всіх систем судно виконує поставлені завдання.

Здійснює контроль над працездатністю всіх суднових систем особлива система – система діагностики суднового обладнання в режимі реального часу (аварійно-попереджувальна сигналізація (АПС)).

Кожна система судна має контрольні точки, з яких вимірюваний (в цих точках) сигнал надходить в контролер системи діагностування та порівнюється з еталонним значенням. Якщо контрольований параметр виходить за межі допустимих значень, то система АПС видає світловий і звуковий сигнал, тим самим інформуючи оператора.

Кожне судно можна уявити як комплекс структурних одиниць взаємопов'язаних та взаємодіючих між собою. У свою чергу кожен структурну одиницю можна розкласти на безліч простих елементів взаємопов'язаних та взаємодіючих між собою.

Відповідно, чим більше структурних одиниць створюють систему, тим складніше виходить система і тим важче ідентифікувати несправність в цій системі.

Таким чином, умовно, все суднові системи можна розбити на 5-ть рівнів, за критерієм складності при пошуку несправності в цій системі.

Проста система може перебувати тільки в двох станах: стан працездатності (справному) та стані відмови (несправному). Велика система при відмові окремих елементів та навіть цілих підсистем не завжди втрачає працездатність, часто тільки знижуються характеристики її ефективності.

У зв'язку з цим всі судові системи та механізми умовно розділимо на 5 рівнів складності за критерієм складності при пошуку причин несправності.

До першого рівня віднесемо всі прості елементи контролю, такі як: індивідуальні датчики температури, тиску, рівня і т.д. Вони не належать ні до яких

систем, і сигнал від них надходить безпосередньо на аналогові/цифрові модулі системи АПС. Ці датчики використовуються в основному для контролювання параметрів в трюмах, приміщеннях, баластних і паливних танках, трюмних і машинних колодязях і т.д. На цьому рівні може існувати від 2 до 6 можливих причин несправності. Наприклад, при помилковому спрацьовуванні датчика рівня води в колодязі рис. А.1.

Можливі причини несправності будуть:

- вийшов з ладу сам датчик;
- поганий контакт в сполучних терміналах від електронного модуля до датчика;
- несправний канал на електронному модулі системи діагностування.



Рис. А.1 – Проста система першого рівня складності

До другого рівня віднесемо сукупність простих систем - невеликі комплекси простих елементів пов'язаних між собою в єдину систему для виконання певних завдань.

До простих систем можна віднести: системи відкриття/закриття баластними/паливними клапанами, пускачі вентиляторів, пускачі електроприводів різних насосів, автоматичні системи підігріву (масла, палива, води) та інші прості системи (рис. А.2). На цьому рівні може існувати від 6 до 12 можливих причин несправності. Наприклад, система АПС видає сигнал «**Fan Bow Thruster room start fail**».



Рис. А.2 – Система другого рівня складності

Можливі причини несправності будуть:

- несправний автоматичний вимикач на ГРЩ;
- несправний автоматичний вимикач на місцевому щиті;
- поганий контакт в кнопках "start"/"stop";
- згоріли запобіжники в ланцюгу управління;
- несправний трансформатор в ланцюгу управління;
- несправності в проміжних реле в ланцюзі пуску;
- несправна котушка головного контактора вентилятора;
- несправний тепловий захист;
- механічно заклинений пусковий контактор;
- межвиткове замикання на електромоторі;
- втрата фази на електромоторі;
- заклинювання підшипників електромотора;

До третього рівня віднесемо системи середньої складності - більш об'ємні комплекси простих елементів, ніж в простих системах, об'єднані в єдину систему, для виконання певних завдань.

До таких відносяться: системи пуску головних компресорів, сепаратори, опріснювальна установка, фекальна установка, гідрофор, трапі та шлюпочні лебідки, та інші системи, рис. А.3. На цьому рівні може існувати від 12 до 18 можливих причин несправності.



Рис. А.3 – Комплекси систем третього рівня складності

До четвертого рівня віднесемо складні системи - системи, що складаються з великого числа взаємопов'язаних та взаємодіючих простих елементів і простих підсистем здатних виконувати складні завдання. До них відносяться: системи кондиціонування повітря, допоміжні котли, утиль котли, пожежні системи, системи об'ємного пожежогасіння CO<sub>2</sub>, спринклерні системи, системи захисту двигунів та генераторів, системи захисту ГД, системи управління швартовних механізмами та інші складні системи, рис. А.4. На цьому рівні може існувати від 18 до 24 можливих причин несправності.



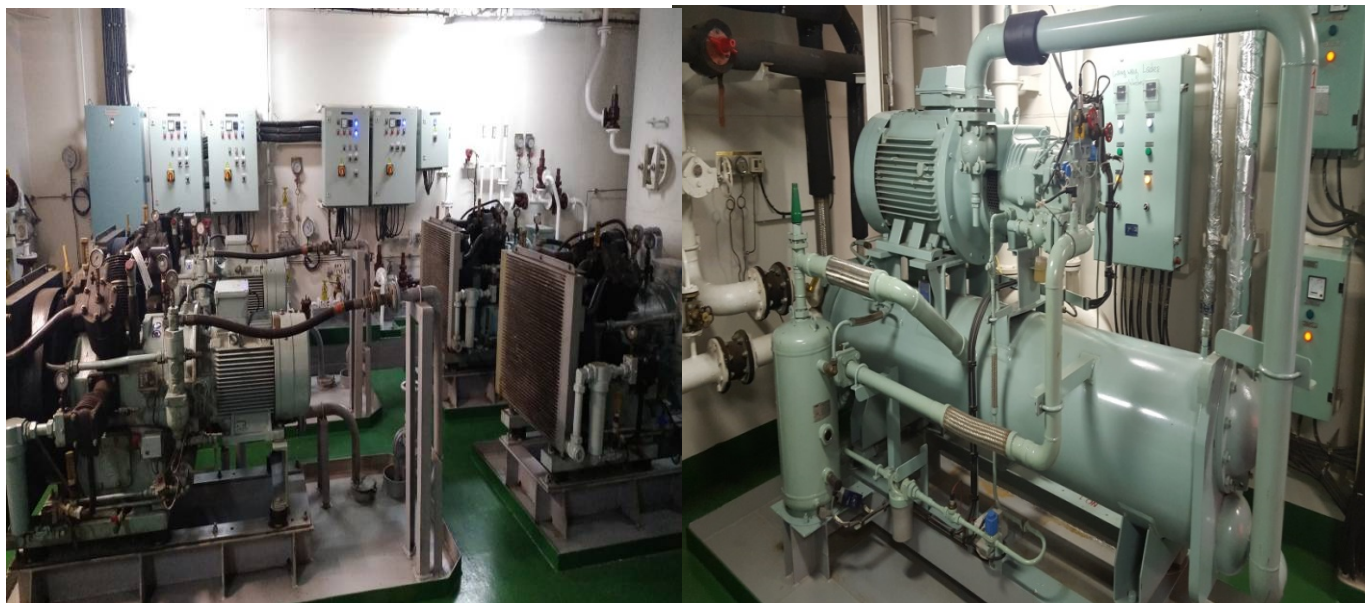


Рис. А.4 – Комплекси систем четвертого рівня складності

До п'ятого рівня віднесемо дуже складні системи системи, що складаються з безлічі взаємозалежних між собою елементів або підсистем, що взаємодіють між собою різними алгоритмами та виконують багатофункціональні складні завдання. До таких відносяться: Авторульові система, система підрулює пристрою, системи ДАУ допоміжними двигунами, системи ДАУ головним двигуном, системи синхронізації генераторів, судновий ліфт і інші надскладні системи, рис. А.5. На цьому рівні може існувати від 24 можливих причин несправності.

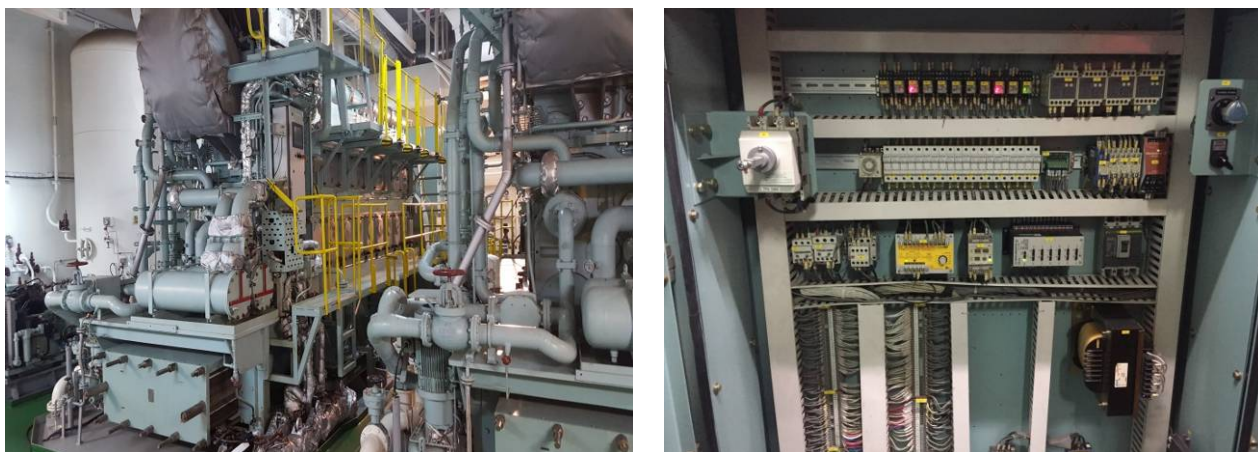


Рис. А.5 – Система п'ятого рівня складності.



## ДОДАТОК Б

### ЕЛЕМЕНТИ БАЗИ ДАНИХ

Система керування середнього рівня складності. Автоматичне управління складжевим насосом. Далі показано можливі причини та способи їх вирішення в порядку пріоритетності.

#### 1. Відсутнє основне живлення, рис. Б.1

1. Перевірити включений/чи справний автоматичний вимикач на ГРЩ, див. схему та розділ "фото"
2. Перевірити включений/чи справний автоматичний вимикач на місцевому розподільчому щиті, див. схему та розділ "фото"

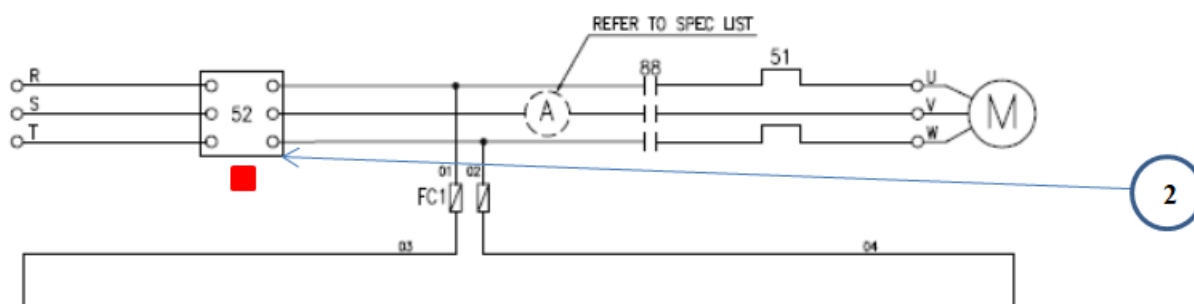


Рис. Б.1 – Відсутнє основне живлення

Примітки:

■ - цей символ позначає конкретне місце на схемі, де може бути причина даної несправності

#### 2. Відсутня напруга в ланцюзі управління, рис. Б.2

1. Перевірити/замінити запобіжники FC1, див. схему та розділ "фото"
2. Перевірити/замінити трансформатор СРТ, див. Схему та розділ "фото"
3. Перевірити/замінити запобіжники FC2, див. схему та розділ "фото"

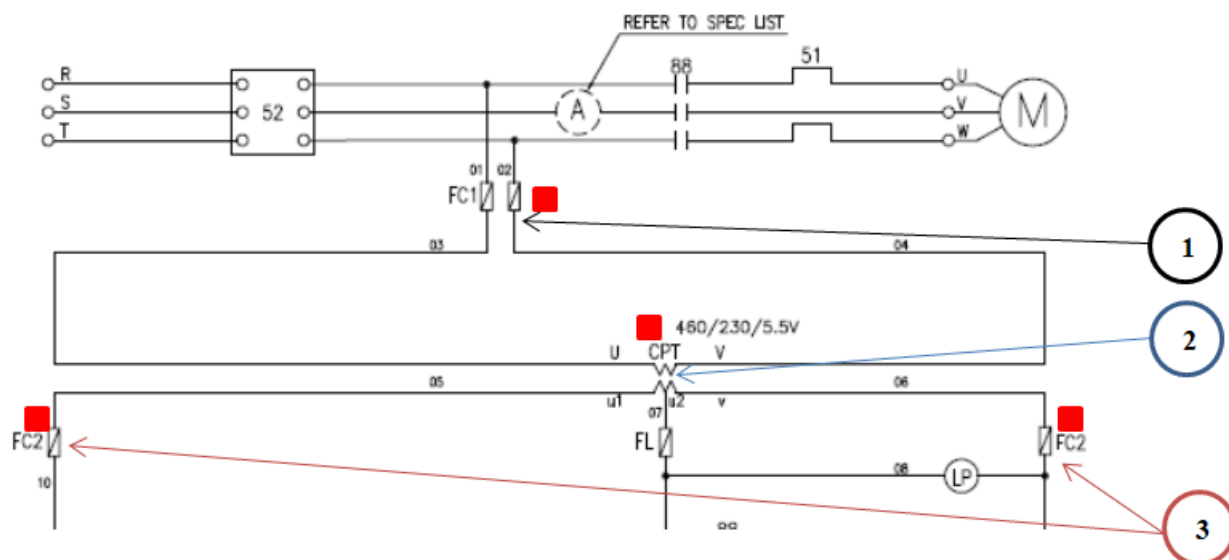


Рис. Б.2 – Відсутня напруга в ланцюзі управління

Примітки:

■ - цей символ позначає конкретне місце на схемі, де може бути причина даної несправності

- на схемі все кабеля пронумеровані, що дозволяє робити необхідні перевірки безпосередньо з termination board (TB), розташованому в місцевому щиті LGSP-9, section P3501, див. розділ структурні схеми

**3. При натисканні на кнопку "start" за місцем, або з віддалених постів, електропривод насоса не запускається, рис. Б.3**

- Перевірити пункти 1, 2
- Перевірити кнопки "Em'sy stop" (3 шт.). Кнопки повинні бути не натиснуті!  
Контактор ○ повинен бути замкнутий, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити/замінити тепловий захист ○, див. розділ "фото"
- Перевірити/усунути поганий контакт в: кнопках "stop / start", в контакті реле ○, в поплавцевих датчиках LS, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити/замінити основний контактор ○, див. розділ "фото"

○ Перевірити/замінити допоміжний контактор ○, див. схему та розділ "фото"

○ Перевірити/замінити електромотор

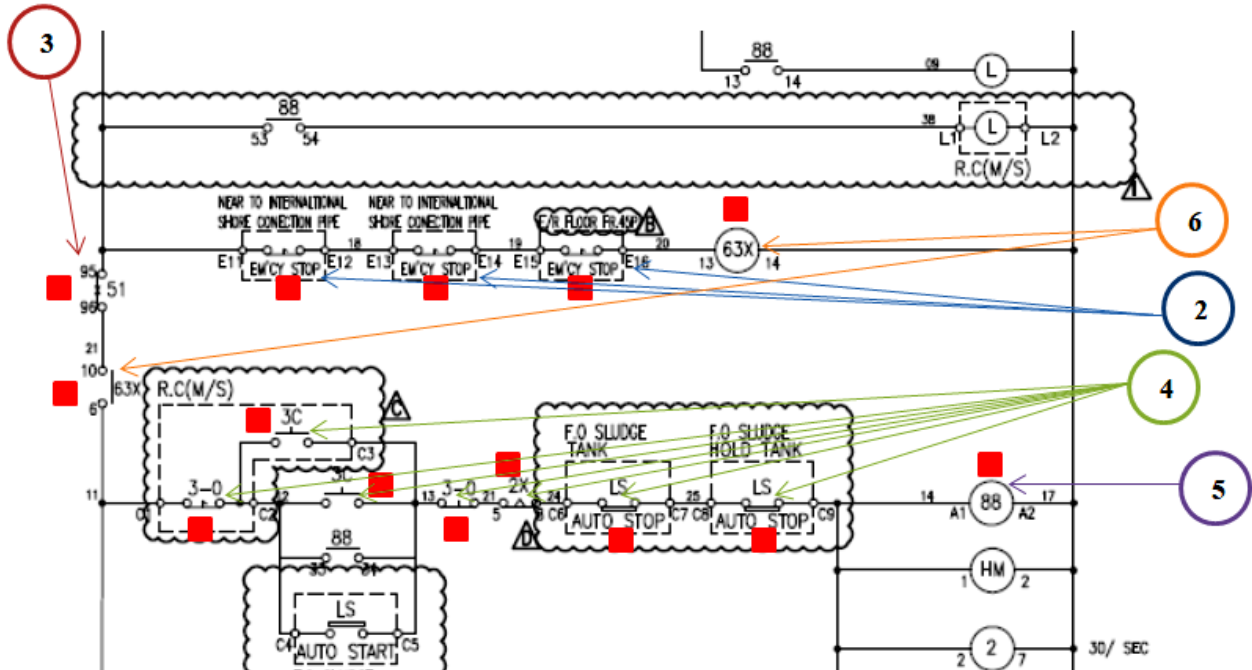


Рис. Б.3 – Електропривод насоса не запускається

Примітки:

■ - цей символ позначає конкретне місце на схемі, де може бути причина даної несправності

**4. При працюючому електродвигуні робочі струми вище допустимих значень, рис. Б.4**

○ Перевірити електромотор на межвиткове замикання. Замінити мотор при виявленні замикання між витками обмоток

○ Перевірити/замінити підшипники електромотора

○ Перевірити/перебрати насос

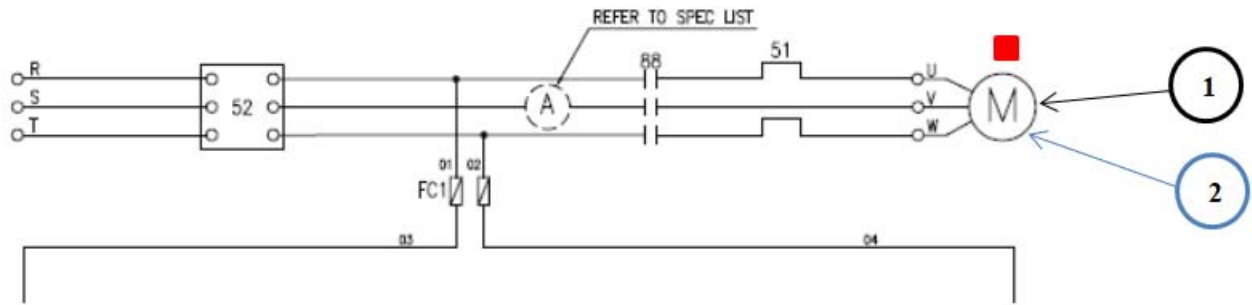


Рис. Б.4 – При працюючому електродвигуні робочі струми вище допустимих значень

Примітки:

■ - цей символ позначає конкретне місце на схемі, де може бути причина даної несправності

- на схемі все кабеля пронумеровані, що дозволяє робити необхідні перевірки безпосередньо з termination board (TB), розташованому в місцевому щиті LGSP-9, section P3501, див. розділ структурні схеми

### 5. Електропривод насоса запускається, але швидко зупиняється, рис. Б.5.

- Перевірити пункт 4
- Перевірити/замінити тепловий захист ○, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити/замінити датчик тиску PS див. схему та розділ "фото"
- Перевірити/замінити реле часу ○, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити/замінити основний контактор ○, та його допоміжний контакт, шунтуючий кнопки "start", див. схему та розділ "фото"



- Перевірити/замінити основний контактор ○, див. схему та розділ фото
- Перевірити/замінити автоматичний вимикач на місцевому розподільчому щиті, див. схему та розділ "фото"

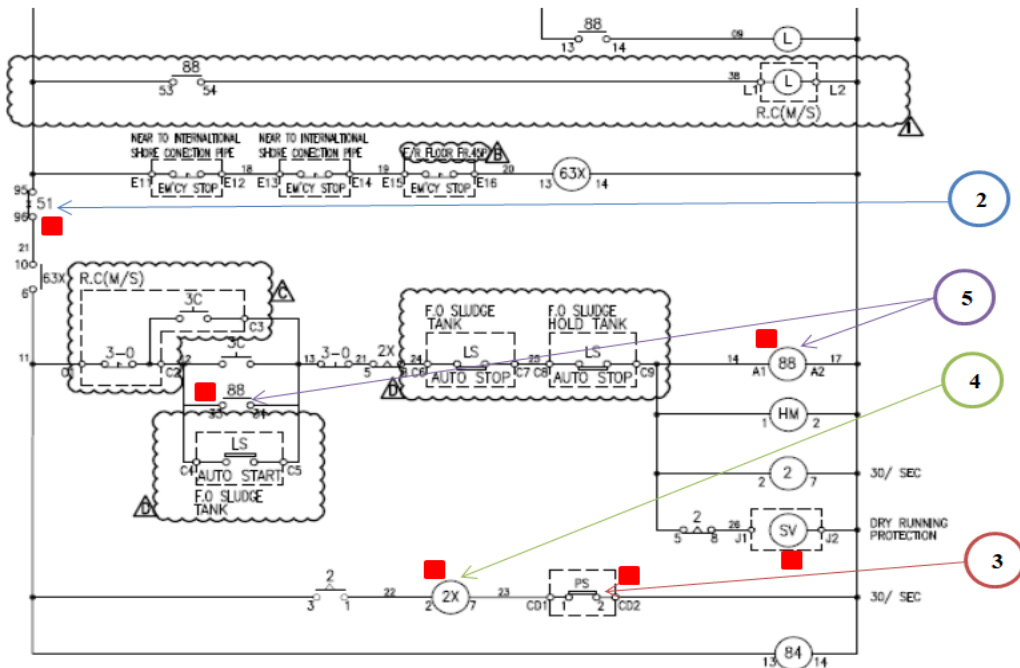


Рис. Б.6 – електропривод насоса не запускається та відразу вибиває АВ

Примітки:

■ - цей символ позначає конкретне місце на схемі, де може бути причина даної несправності

- на схемі все кабеля пронумеровані, що дозволяє робити необхідні перевірки безпосередньо з termination board (TB), розташованому в місцевому щиті LGSP-9, section P3501, див. розділ структурні схеми

**7. При спробі запуску, електродвигун не запускається та спрацьовує тепловий захист, рис. Б.7.**

- Перевірити електромотор мультиметром, на межвиткове замикання. Якщо є не симетричний опір між якимись двома обмотками - замінити електромотор, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити/замінити тепловий захист ○, див. схему та розділ фото

- Перевірити/замінити основний контактор ○ на механічне заїдання, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити ланцюг живлення електромотора від автоматичного вимикача на ГРЩ до клемної коробки на моторі - на обрив фази, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити електромотор на заклинювання валу. Якщо вал заклинений або обертається з трудом - замінити підшипники на електромоторі

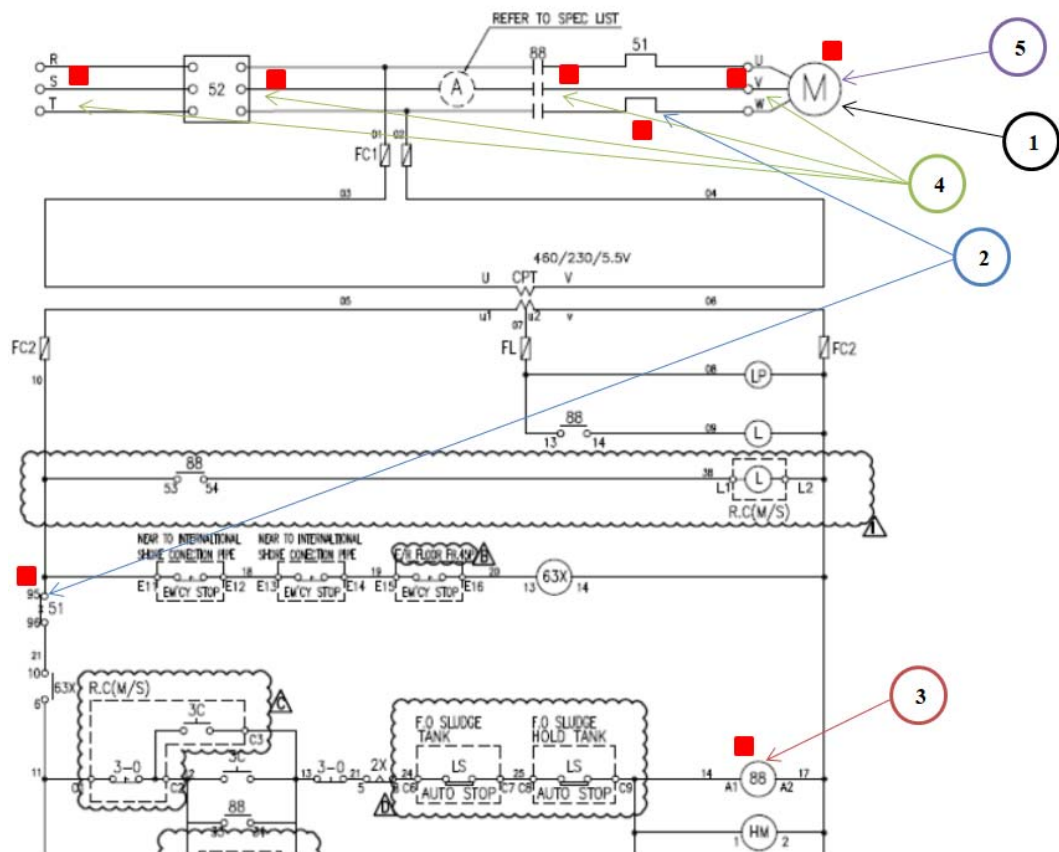


Рис. Б.7 – При спробі запуситися, електродвигун не запускається та спрацьовує тепловий захист

Примітки:

■ - цей символ позначає конкретне місце на схемі, де може бути причина даної несправності

- на схемі все кабеля пронумеровані, що дозволяє робити необхідні перевірки безпосередньо з termination board (TB), розташованому в місцевому щиті LGSP-9, section P3501, див. розділ структурні схеми

8. Система АПС видає сигнал "No.1 Sludge pump failure", але електропривод запускається та працює справно, рис. Б.8, рис. Б.9.

- Перевірити/замінити допоміжне реле ○, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити/виправити поганий контакт в Terminal board, місцевого кабінету управління (P3501), див. схему та розділ "фото"
- Перевірити/виправити поганий контакт в DI/AI cards cabinet SAU 10, на карті DPU 046, для даного каналу, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити канал карти DPU 046 для даного сигналу. Перевірка робиться шляхом переподключення даного сигналу до іншого 100% -во працюючого каналу даної карти. У разі несправності каналу - використовувати запасний або замінити карту, див. схему та розділ "фото"
- Перевірити настройки каналу для даного сигналу з головного ПК. Перевірка проводиться шляхом порівняння параметрів каналу з 100% -во робочим каналом з однаковими функціями. Переналаштувати параметри якщо потрібно, див. схему та розділ "фото"

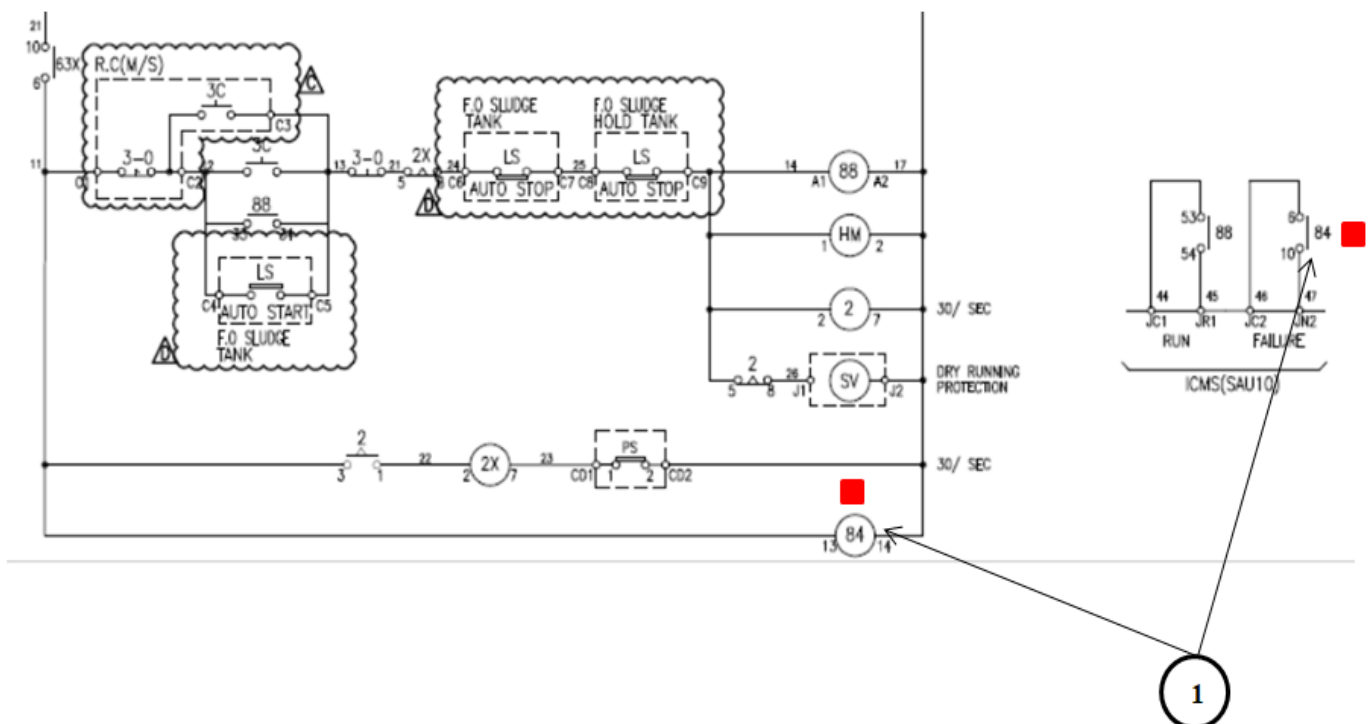


Рис. Б.8 – Система АПС видає сигнал "No.1 Sludge pump failure", але електропривод запускається та працює справно



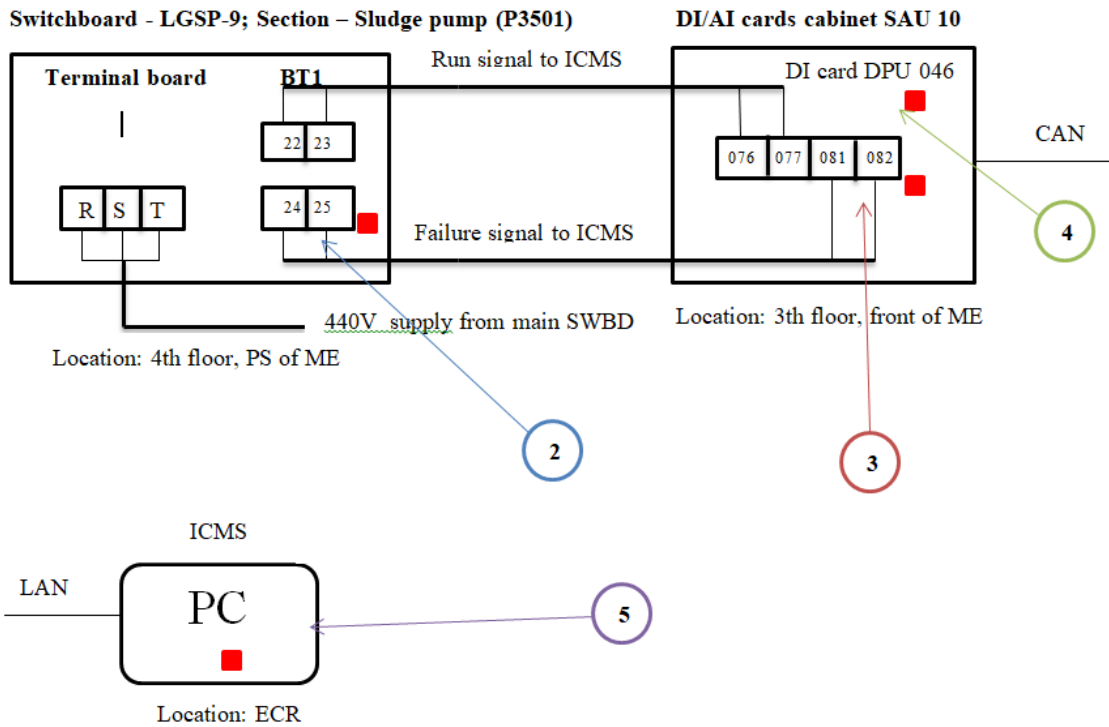


Рис. Б.9 – Продовження рис. Б.8

Примітки:

■ - цей символ позначає конкретне місце на схемі, де може бути причина даної несправності

- на схемі все кабеля пронумеровані, що дозволяє робити необхідні перевірки безпосередньо з termination board (TB), розташованому в місцевому щиті LGSP-9, section P3501, див. розділ структурні схеми



- на схемі все кабеля пронумеровані, що дозволяє робити необхідні перевірки безпосередньо з termination board (TB), розташованому в місцевому щиті LGSP-9, section P3501, див. розділ структурні схеми

**10. Принципова схема системи «SLUDGE PUMP», рис. Б.11**

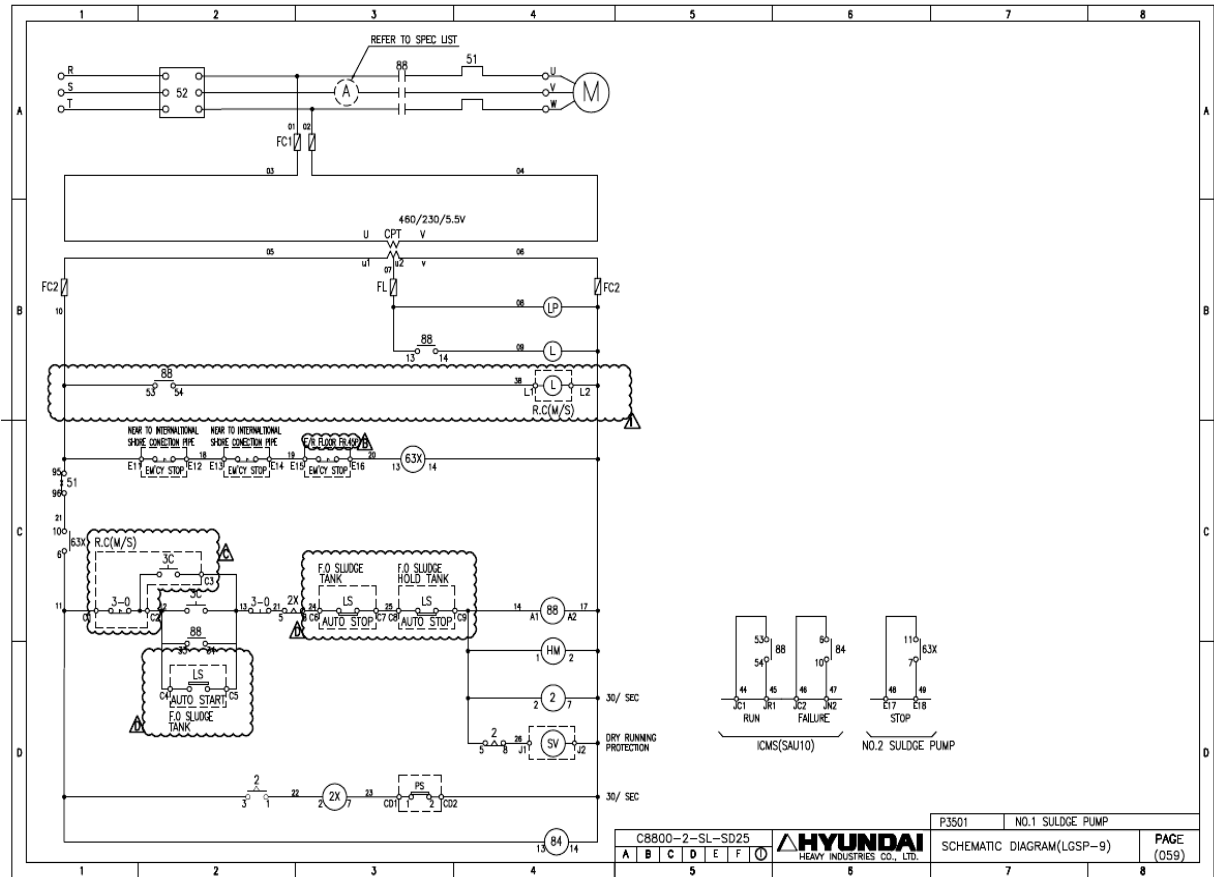


Рис. Б.11 – Принципова схема системи «sludge pump»

Схема включає наступні елементи та позначення:

52 – автоматичний вимикач. Служить для живлення системи основним напругою 440V. Захищає суднову мережу від струмів К.З в системі електроприводу;

**(A)** – амперметр. Служить для візуального спостереження за робочими струмами електромотора;

51 – тепловий захист. Охороняє електромотор від струмів перевантаження;

**(M)** – електромотор. Обертає приводний механізм системи;

FC1 – запобіжники. Служать для захисту трансформатора СРТ від струмів К.З та перевантаження;

СРТ – трансформатор. Служить для перетворення напруги 440V в напругу 220V для ланцюгів управління та 5.5 V для індикаційних ламп;

FC2 – запобіжники. Служать для захисту ланцюга управління 220V від струмів короткого замикання;

**(L)** – індикаційні лампочки. Служать для індикації напруги живлення та індикації роботи електроприводу відповідно;

"Em'cy stop" - кнопки зупинки електроприводу. Кнопки розташовані в конкретних місцях та служать для негайної зупинки електромотора;

**(63)** – основний контактор. Служить для подачі живлення 440V на електромотор;

**(88)** – допоміжний контактор. Служить для розмикання своїх контактів в ланцюзі основного контактора, в разі якщо натиснута кнопка "Em'cy stop";

3-0 кнопка "stop". Служить для зупинки електроприводу;

3С кнопка "start". Служить для запуску електроприводу;

LS поплавкові датчики рівня. Служать для автоматичної зупинки електроприводу по нижньому рівню в сладжевих танках, шляхом розмикання своїх контактів в ланцюзі основного контактора;

**(HM)** – лічильник роботи годин електроприводу;

②x – реле часу з витримкою 30с. Служить для розмикання свого контакту в ланцюзі основного контактора, в разі падіння тиску в системі під час роботи електроприводу;

② – реле часу з витримкою 30с. Створює витримку часу на замикання в ланцюзі реле часу, а також 30с. на розмикання в ланцюзі соленоїдного клапана "SV", в початковий момент пуску електроприводу;

③ – соленоїдний клапан. Служить для запобігання роботи електроприводу "на суху" в момент пуску;

PS - датчик тиску. Служить для розривання свого контакту в ланцюзі реле часу, в разі падіння тиску в системі;

⑧4 – допоміжне реле. Служить для замикання свого контакту в ланцюзі системи АПС для подачі сигналу про несправності;

P3501 – позначення системи електроприводу на принципових схемах;

ICMS – integrated control monitor system (система АПС);

LGSP – 9 – місцевий розподільний щит, в якому присутні елементи системи управління даними електроприводом (в секції P3501);

R.C (M/S) – remote control (muster station)

На схемі все кабелі пронумеровані, що дозволяє робити перевірки безпосередньо з termination board (TB), розташованому в місцевому щиті LGSP-9, section P3501, див. розділ структурні схеми.

## 11. Структурні схеми системи «SLUDGE PUMP»

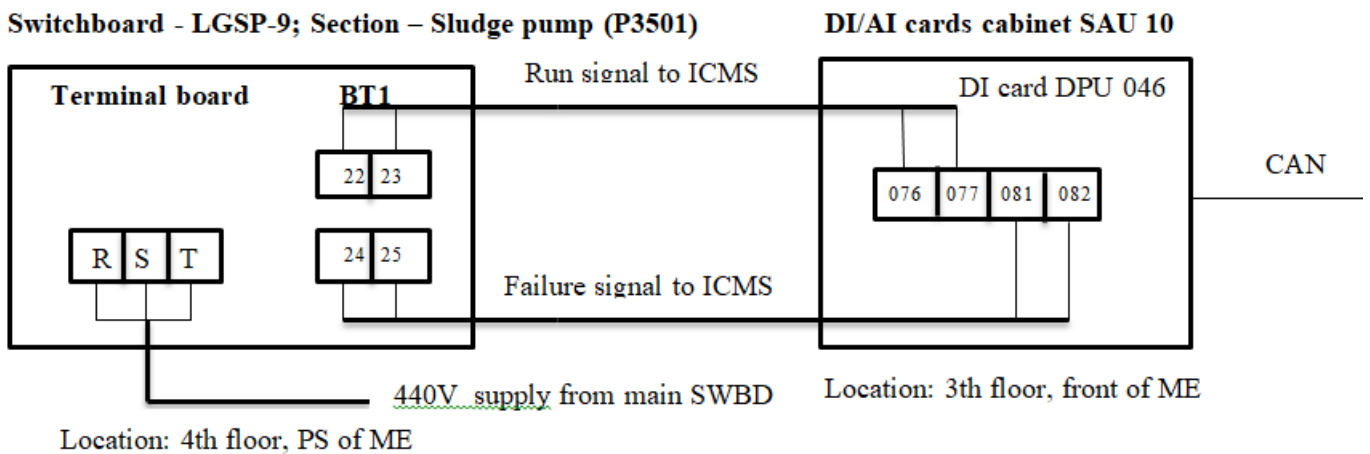


Рис. Б.12 – Схема сигналів для системи АПС

На схемі рисунка Б.12 показаний шлях сигналу про несправності від місцевого щита керування електроприводом системи "Sludge pump" до центрального поста системи АПС. Також показані сполучні вузли та місця їх розташування.

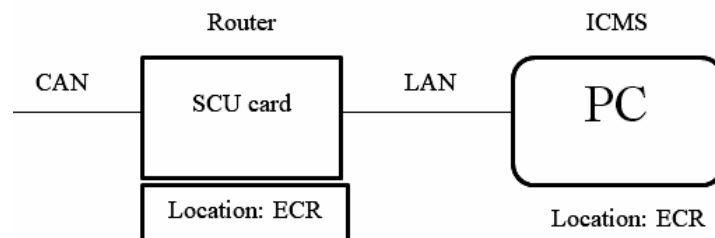


Рис. Б.13 – Продовження рис. Б.12

Схема рисунка Б.13 продовжує перший рисунок. Показує закінчення шляху сигналу про несправності.

На схемі рисунка. Б.14 показані всі з'єднання проводів наведених на принциповій схемі системи електроприводу sludge pump. Termination board знаходиться безпосередньо в місцевому щиті управління приводом.

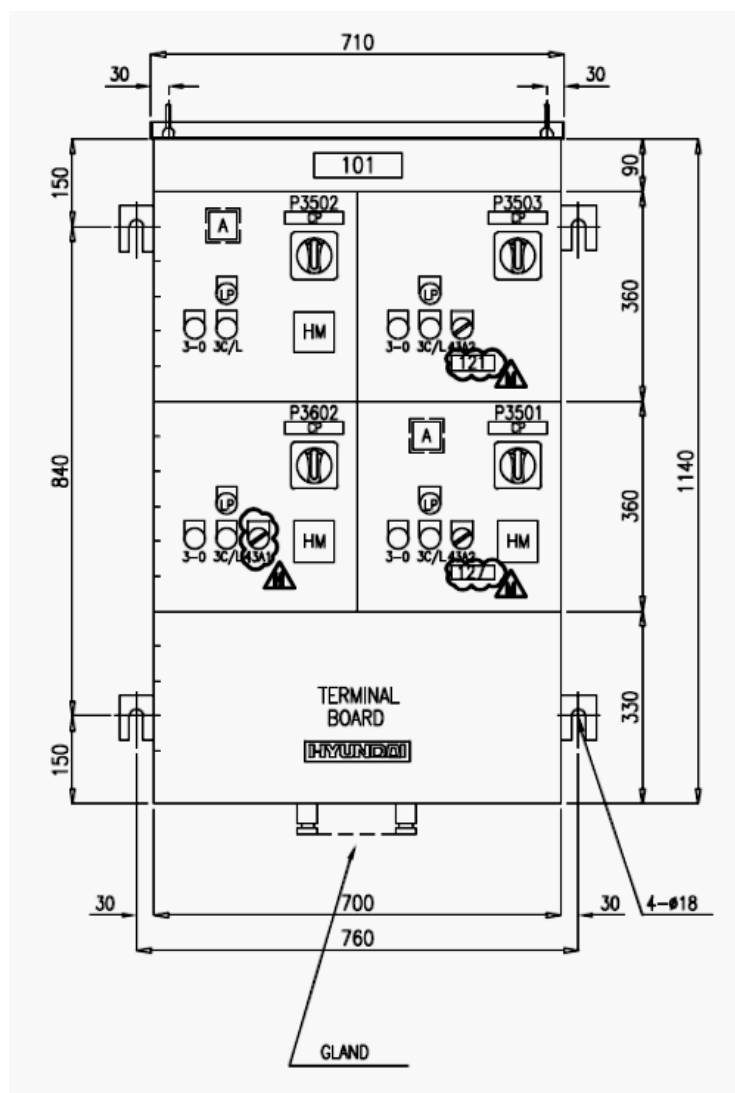


Рис. Б.15 – Загальний вигляд Щита LGSP – 9

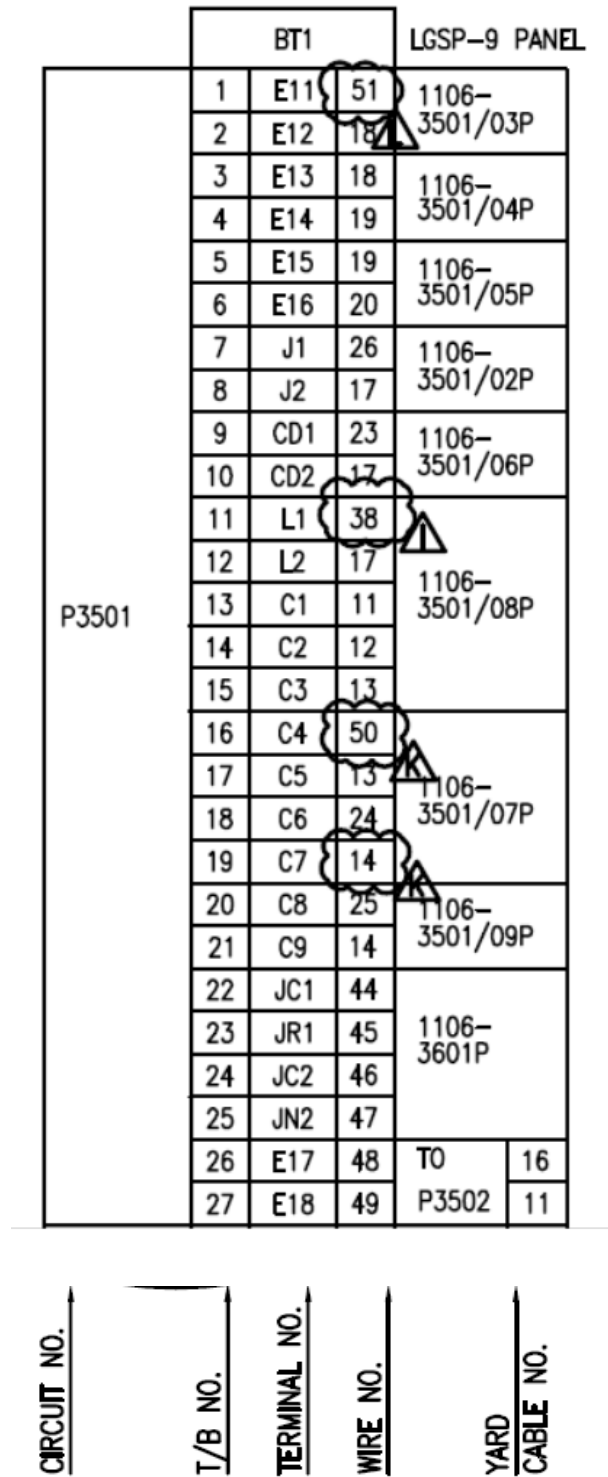


Рис. Б.14 – Схема termination board

На схемі рисунка Б.15 показаний загальний вид розподільного щита, його місцезнаходження та, безпосередньо, секція P3501 - керування електроприводом системи Sludge pump.



## ДОДАТОК В

### ФРАГМЕНТИ ПРОГРАМНОГО КОДУ

```

app/Http/Controllers/AlarmController.php
<?php
namespace App\Http\Controllers;
use App\Alarm;
use Illuminate\Http\Request;
class AlarmController extends Controller
{
/**
 * Display a listing of the resource.
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function index()
{
    $alarms = Alarm::get(['id', 'code', 'name', 'content', 'system_id', 'belong_to'])-
>toArray();
    $alarms = json_encode($alarms);
    return view('alarms.index', ['alarms' => $alarms]);
}
/**
 * Show the form for creating a new resource.
 *
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function create()
{
    return view('alarms.create');
}
/**
 * Store a newly created resource in storage.
 *
 * @param \Illuminate\Http\Request $request
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function store(Request $request)
{
    $license = new Alarm([
        'code' => $request->get('code'),
        'name' => $request->get('name'),
        'content' => $request->get('content'),
        'system_id' => $request->get('system_id'),
        'belong_to' => $request->get('belong_to')
    ]);
}
}

```

```

]);
$license->save();
return redirect('/alarms')->with('success', 'Alarm has been added');
}

/**
 * Display the specified resource.
 *
 * @param \App\Alarm $alarm
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function show(Alarm $alarm)
{
//
}

/**
 * Show the form for editing the specified resource.
 *
 * @param \App\Alarm $alarm
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function edit(Alarm $alarm)
{
return view('alarms.edit', array('my_alarm' => $alarm));
}
/**
 * Update the specified resource in storage.
 *
 * @param \Illuminate\Http\Request $request
 * @param \App\Alarm $alarm
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function update(Request $request, Alarm $alarm)
{
$alarm->code = $request->get('code');
$alarm->name = $request->get('name');
$alarm->content = $request->get('content');
$alarm->system_id = $request->get('system_id');
$alarm->belong_to = $request->get('belong_to');
$alarm->save();
return redirect('/alarms')->with('success', 'Alarm has been updated');
}
/**
 * Remove the specified resource from storage.

```

```

*
* @param \App\Alarm $alarm
* @return \Illuminate\Http\Response
*/
public function destroy(Alarm $alarm)
{
    if ( $alarm ) {
        $result = $alarm->delete();
        $message = 'Alarms was deleted successfully';
        return response()->json(['success' => 1, 'message' => $message]);
    }
    else {
        $error = 'There is no such alarm';
        return response()->json(['success' => 0, 'message' => $error]);
    }
}
}
}
}
app/Alarm.php
<?php
namespace App;
use Illuminate\Database\Eloquent\Model;
class Alarm extends Model
{
    protected $fillable = [
        'id',
        'code',
        'name',
        'content',
        'system_id',
        'belong_to'
    ];
}
app/Http/Controllers/ReasonController.php
<?php
namespace App\Http\Controllers;
use App\Models\Reason;
use Illuminate\Http\Request;
use Illuminate\Support\Str;
class ReasonController extends Controller
{
    public function index()
    {
        $data['reasons'] = Reason::get();//->paginate(10);
        return view('reasons.index', $data);
    }
}

```

```

public function create()
{
return view('reasons.create');
}

public function store(Request $request)
{
$request->validate([
//'alarm_id'=>'required',
'name' => 'required',
'expert_opinion' => 'required|min:0|max:100',
'experts_count' => 'required',
'priority' => 'required|integer|min:1|max:5'
]);
$reason = new Reason();
$reason->name = $request->name;
$reason->expert_opinion = $request->expert_opinion;
$reason->experts_count = $request->experts_count;
$reason->priority = $request->priority;
$reason->save();
return redirect()->route('reasons.index')->with('success', 'Reason has been created
successfully');
}
public function edit(Reason $reason)
{
return view('reasons.edit', compact('reason'));
}
public function update(Request $request, $id)
{
$request->validate([
'name' => 'required',
'expert_opinion' => 'required|integer|min:0|max:100',
'experts_count' => 'required',
'priority' => 'required|integer|min:1|max:5'
]);
$reason = Reason::find($id);
$reason->name = $request->name;
$reason->expert_opinion = $request->expert_opinion;
$reason->experts_count = $request->experts_count;
$reason->priority = $request->priority;
$reason->save();
return redirect()->route('reasons.index')->with('success', 'Reason has been edited
successfully');
}
public function destroy(Reason $reason)

```

```

    {
    $reason->delete();
    return redirect()->route('reasons.index')->with('success', 'Reason has been deleted
successfully');
    }
    public function find(Request $request)
    {
    $name = $request->input('find_reason');;
    $data = Reason::get();
    $reasons = array();
    foreach ($data as $i) {
    if (Str::is('*' . $name . '*', $i->name)) {
    array_push($reasons, $i);
    }
    }
    return view('reasons.index', compact('reasons'));
    }
    public function getAttributes($id)
    {
    $i = 1;
    $result = "";
    $attributes = Reason::find($id)->attributes;
    foreach ($attributes as $attribute) {
    $result = $result . $i . ' . ' . $attribute->description . "\n";
    $i++;
    }
    return $result;
    }
    }
    app/Reason.php
    <?php
    namespace App\Models;
    use Illuminate\Database\Eloquent\Factories\HasFactory;
    use Illuminate\Database\Eloquent\Model;
    class Reason extends Model
    {
    use HasFactory;
    public function attributes(){
    return $this->hasMany(Attribute::class);
    }
    }
    app/Http/Controllers/SystemController.php
    <?php
    namespace App\Http\Controllers;
    use App\System;

```

```

use Illuminate\Http\Request;
class SystemController extends Controller
{
/**
 * Display a listing of the resource.
 *
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function index()
{
    $systems = System::get(['id', 'name', 'level', 'group_name'])->toArray();
    $systems = json_encode($systems);
    return view('systems.index', ['systems' => $systems]);
}
/**
 * Show the form for creating a new resource.
 *
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function create()
{
    return view('systems.create');
}
/**
 * Store a newly created resource in storage.
 *
 * @param \Illuminate\Http\Request $request
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function store(Request $request)
{
    $license = new System([
        'name'=> $request->get('name'),
        'level'=> $request->get('level'),
        'group_name'=> $request->get('group_name')
    ]);
    $license->save();
    return redirect('/systems')->with('success', 'System has been added');
}
/**
 * Display the specified resource.
 *
 * @param \App\System $system
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */

```

```

public function show(System $system)
{
return view('systems.show', array('my_system' => $system));
}
/**
 * Show the form for editing the specified resource.
 *
 * @param \App\System $system
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function edit(System $system)
{
return view('systems.edit', array('my_system' => $system));
}
/**
 * Update the specified resource in storage.
 *
 * @param \Illuminate\Http\Request $request
 * @param \App\System $system
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function update(Request $request, System $system)
{
$system->name = $request->get('name');
$system->level = $request->get('level');
$system->group_name = $request->get('group_name');
$system->save();
return redirect('/systems')->with('success', 'System has been updated');
}
/**
 * Remove the specified resource from storage.
 *
 * @param \App\System $system
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function destroy(System $system)
{
if ( $system) {
$result = $system->delete();
$message = 'System was deleted successfully';
return response()->json(['success' => 1, 'message' => $message]);
}
else {
$error = 'There is no such system';
return response()->json(['success' => 0, 'message' => $error]);
}
}

```

```

}
}
}
app/System.php
<?php
namespace App;
use Illuminate\Database\Eloquent\Model;
class System extends Model
{
protected $fillable = [
'id',
'name',
'level',
'group_name'
];
}
app/Http/Controllers/AttributeController.php
<?php
namespace App\Http\Controllers;
use App\Models\Attribute;
use Illuminate\Http\Request;
class AttributeController extends Controller
{
public function index(){
$data['attributes']=Attribute::get();
return view('attributes.index',$data);
}
public function create(){
return view('attributes.create');
}
public function store(Request $request){
$request->validate([
'reason_id'=>'required',
'description'=>'required'
]);
$attribut=new Attribute();
$attribut->reason_id=$request->reason_id;
$attribut->description=$request->description;
$attribut->save();
return redirect()->route('attribute.index')->with('success','Attribut has been created
successfully');
}
public function edit(Attribute $attribute){
return view('attributes.edit', compact('attribute'));
}
}

```



```

public function update(Request $request, $id){
    $request->validate([
        'reason_id'=>'required',
        'description'=>'required'
    ]);
    $attribut=Attribute::find($id);
    $attribut->reason_id=$request->reason_id;
    $attribut->description=$request->description;
    $attribut->save();
    return redirect()->route('attribute.index')->with('success','Attribut has been created
successfully');
}
public function destroy(Attribute $attribute){
    $attribute->delete();
    return redirect()->route('attribute.index')->with('success','Reason has been deleted
successfully');
}
}
}
routes/web.php
<?php
use Illuminate\Support\Facades\Route;
use App\Http\Middleware;
use App\Http\Controllers\ReasonController;
use App\Http\Controllers\AttributeController;
/*
|-----
| Web Routes
|-----
|| Here is where you can register web routes for your application. These
| routes are loaded by the RouteServiceProvider within a group which
| contains the "web" middleware group. Now create something great!
|
*/
Route::get('/', function () {
return view('auth/login');
});
Auth::routes();
Route::get('/', function () {
return view('home');
})->name('home');
Route::get('companies/delete/{id}', 'CompanyController@destroy')-
>middleware(Middleware\Admin::class);
Route::resource('companies', 'CompanyController')->except(['destroy'])-
>middleware('auth');

```

```

Route::get('users/delete/{id}', 'UserController@destroy')-
>middleware(Middleware\Admin::class);
Route::resource('users', 'UserController')->except(['destroy'])->middleware('auth');
Route::get('alarms/delete/{id}', 'AlarmController@destroy')->middleware('auth');
Route::resource('alarms', 'AlarmController')->except(['destroy'])-
>middleware('auth');
Route::get('systems/delete/{id}', 'SystemController@destroy')->middleware('auth');
Route::resource('systems', 'SystemController')->except(['destroy'])-
>middleware('auth');
Route::get('systems/{id}/show', 'SystemController@shown')->middleware('auth');
Route::resource('reasons', 'ReasonController')->middleware('auth');
Route::resource('attribute', AttributeController::class);
Route::post('/reasons_find', 'App\Http\Controllers\ReasonController@find')-
>name('reasons_find');
Route::get('/info', 'HomeController@info')->name('info');
Route::get('lang/{locale}', 'LocalizationController@index');
app/Http/Controllers/ExpertsController.php
<?php
namespace App\Http\Controllers;
use Illuminate\Http\Request;
use App\User;
use App\Role;
use App\Company;
use App\DeviceType;
use Illuminate\Validation\Rule;
use Validator;
class ExpertsController extends Controller
{
/**
 * Display a listing of the resource.
 *
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function index()
{
    $currentUser = \Auth::user();
    if ( $currentUser->admin ) {
        $company_id = session('selected_company_id');
        if($company_id){
            $users = User::where('company_id', '=', $company_id)->get();
        }
        else{
            $users = User::all();
        }
    }
}
}

```

```

else {
    $users = User::where('company_id', '!=', $currentUser->company_id)->get();
}
foreach ( $users as $user ) {
    if(isset($user->company_id)){
        $company = Company::findOrFail($user->company_id);
        $user->company = $company["name"];
    }
    if(isset($user->role)&&($user->role != 0)){
        $role = Role::findOrFail($user->role);
        $user->role = $role["name"];
    }
    else {
        $user->role = '-';
    }
}
if(!$users) $users = null;
$users = json_encode($users);
return view('users.index', compact('users'));
}
/**
 * Show the form for creating a new resource.
 *
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function create()
{
    $roles_list = Role::all('id', 'name');
    $companies_list = Company::all('id', 'name');
    return view('users.create', compact('roles_list', 'companies_list'));
}
/**
 * Store a newly created resource in storage.
 *
 * @param \Illuminate\Http\Request $request
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function store(Request $request)
{
    $user = new User();
    $validatedData = $request->validate($user->validationRules());
    $show = User::create($validatedData);
    return redirect('/users')->with('success', 'User has been added');
}
/**

```

```

* Display the specified resource.
*
* @param int $id
* @return \Illuminate\Http\Response
*/
public function show($id)
{
//
}
/**
* Show the form for editing the specified resource.
*
* @param int $id
* @return \Illuminate\Http\Response
*/
public function edit($id)
{
$user = User::findOrFail($id);
$roles_list = Role::all('id', 'name');
$companies_list = Company::all('id', 'name');
return view('users.edit', compact('user', 'roles_list', 'companies_list'));
}

/**
* Update the specified resource in storage.
*
* @param \Illuminate\Http\Request $request
* @param int $id
* @return \Illuminate\Http\Response
*/
public function update(Request $request, $id)
{
$user = User::find($id);
$validationRules = [
'name' => ['required', 'string', 'max:255'],
'email' => ['required', 'email'],
'first_name' => ['nullable', 'string', 'max:40'],
'last_name' => ['nullable', 'string', 'max:40'],
'phone' => ['nullable', 'string', 'min:11', 'max:14', 'regex:/^[0-9]+$/',
'mobile_phone' => ['nullable', 'string', 'min:11', 'max:14', 'regex:/^[0-9]+$/',
'comment' => ['nullable', 'string', 'max:50'],
'password' => ['nullable', 'min:6'],
'position' => ['nullable', 'string', 'max:50'],
'company_id' => ['nullable', 'string', 'max:50'],
'role' => ['nullable', 'string', 'max:50']

```

```

];
$validatedData = $request->validate($validationRules);
$currentUser = \Auth::user();
$user->name = $request->input('name');
$user->email = $request->input('email');
$user->first_name = !empty($request->input('first_name')) ? $request-
>input('first_name') : "";
$user->last_name = !empty($request->input('last_name')) ? $request-
>input('last_name') : "";
$user->mobile_phone = !empty($request->input('mobile_phone')) ? $request-
>input('mobile_phone') : "";
$user->comment = !empty($request->input('comment')) ? $request-
>input('comment') : "";
$user->position = !empty($request->input('position')) ? $request->input('position') :
";
$user->role = !empty($request->input('role')) ? $request->input('role') : "";
$user->company_id = !empty($request->input('company_id')) ? $request-
>input('company_id') : $currentUser->company_id;
if ( !empty($request->input('password')) )
$user->password = bcrypt($request->input('password'));
if ( !empty($request->input('role'))&&($request->input('role')==1) )
$user->admin = 1;
$user->save();
//User::whereId($id)->update($validatedData);
return redirect('/users')->with('success', 'User data is successfully updated');
}

/**
 * Remove the specified resource from storage.
 *
 * @param int $id
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function destroy($id)
{
    $user = User::findOrFail($id);
    if ( isset($user) && !empty($user) ) {
        $result = $user->delete();
        if ( $result ) {
            $message = trans('user.#user_was_deleted_successfully#');
        }
        else {
            $error = [trans('user.#something_went_wrong#')];
        }
    }
}

```

```

else {
    $error = [trans('user.#there_no_such_user#')];
}
if ( isset($error) && !empty($error) ) {
    return redirect('/users')->withErrors($error);
}
return redirect('/users')->with('success', $message);
}
}
app/Models/Expert.php
<?php
namespace App;
use Illuminate\Contracts\Auth\MustVerifyEmail;
use Illuminate\Foundation\Auth\User as Authenticatable;
use Illuminate\Notifications\Notifiable;
class Expert extends Authenticatable
{
    use Notifiable;
    /**
     * The attributes that are mass assignable.
     *
     * @var array
     */
    protected $fillable = [
        'name', 'email', 'password',
    ];

    /**
     * The attributes that should be hidden for arrays.
     *
     * @var array
     */
    protected $hidden = [
        'password', 'remember_token',
    ];

    /**
     * The attributes that should be cast to native types.
     *
     * @var array
     */
    protected $casts = [
        'email_verified_at' => 'datetime',
    ];
}

```

```

app/Http/Middleware/Admin.php
<?php
namespace App\Http\Middleware;
use Closure;
class Admin
{
/**
 * Handle an incoming request.
 *
 * @param \Illuminate\Http\Request $request
 * @param \Closure $next
 * @return mixed
 */
public function handle($request, Closure $next)
{
    $currentUser = \Auth::user();
    if ( !$currentUser->admin ) {
        return redirect('/home');
    }
    return $next($request);
}
}

app/Http/Middleware/Authenticate.php
<?php
namespace App\Http\Middleware;
use Illuminate\Auth\Middleware\Authenticate as Middleware;
class Authenticate extends Middleware
{
/**
 * Get the path the user should be redirected to when they are not authenticated.
 *
 * @param \Illuminate\Http\Request $request
 * @return string|null
 */
protected function redirectTo($request)
{
    if ( ! $request->expectsJson() ) {
        return route('login');
    }
}
}

Http/Middleware/Localization.php
<?php
namespace App\Http\Middleware;
use Closure;

```

```

use App;
class Localization
{
/**
 * Handle an incoming request.
 *
 * @param \Illuminate\Http\Request $request
 * @param \Closure $next
 * @return mixed
 */
public function handle($request, Closure $next)
{
    if (session()->has('locale')) {
        App::setLocale(session()->get('locale'));
    }
    return $next($request);
}
}
}

.env
APP_NAME=EE
APP_ENV=local
APP_KEY=base64:g/Z4LFlvxwnSJ2FJZaK8qi+h41IQ79F88x68+O95vWs=
APP_DEBUG=true
APP_URL=http://localhost
LOG_CHANNEL=stack
DB_CONNECTION=mysql
DB_HOST=127.0.0.1
DB_PORT=3306
DB_DATABASE=ship
DB_USERNAME=ship
DB_PASSWORD=Q96c0tBqtVhiDGJP1
BROADCAST_DRIVER=log
CACHE_DRIVER=file
QUEUE_CONNECTION=sync
SESSION_DRIVER=file
SESSION_LIFETIME=120
REDIS_HOST=127.0.0.1
REDIS_PASSWORD=null
REDIS_PORT=6379
MAIL_MAILER=smtp
MAIL_HOST=smtp.mailtrap.io
MAIL_PORT=2525
MAIL_USERNAME=null
MAIL_PASSWORD=null
MAIL_ENCRYPTION=null

```



```

MAIL_FROM_ADDRESS=null
MAIL_FROM_NAME="{APP_NAME}"
AWS_ACCESS_KEY_ID=
AWS_SECRET_ACCESS_KEY=
AWS_DEFAULT_REGION=us-east-1
AWS_BUCKET=
PUSHER_APP_ID=
PUSHER_APP_KEY=
PUSHER_APP_SECRET=
PUSHER_APP_CLUSTER=mt1
MIX_PUSHER_APP_KEY="{PUSHER_APP_KEY}"
MIX_PUSHER_APP_CLUSTER="{PUSHER_APP_CLUSTER}"
resources/views/alarms/index.blade.php
@extends('layouts/app')
@section('content')
<div class="uper">
<div class="card-header">
@lang('Alarms list')
</div>
<br>
@if($errors->any())
<div class="alert alert-danger">
<ul>
@foreach($errors->all() as $error)
<li>{{ $error }}</li>
@endforeach
</ul>
</div><br />
@endif
@if(session()->get('success'))
<div class="alert alert-success">
{{ session()->get('success') }}
</div><br />
@endif
@include('components.alarms-list')
<a href="{{ route('alarms.create') }}"><button style="width: 300px" class="btn
badge-info btn-primary" id="create_token">@lang('Create new alarm#')</button>
@endsection

```

**ДОДАТОК Г**  
**ДОВІДКИ ПРО ВИКОРИСТАННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

ТОВ «ХМСЦТ ХДМА»  
"KMSTC KSMA" LLC



SPECIALIZED  
TRAINING CENTRE

73000, Україна/Ukraine, Херсон/Kherson, просп. Адмірала Ушакова 20/20, Ushakova avenue,  
tel: + 38 050 6727685, email: office@kmstc.org

ЗАТВЕРДЖУЮ  
ДИРЕКТОР ТОВ «ХЕРСОНСЬКИЙ МОРСЬКИЙ  
СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ ТРЕНАЖЕРНИЙ ЦЕНТР ПРИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНІЙ МОРСЬКІЙ АКАДЕМІЇ»  
ДУДЧЕНКО С.В.

10/06/2021

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи  
«Підвищення ефективності експлуатації аварійно-  
попереджувальної системи судна»  
Кондрашова Костянтина Вікторовича

Комісія у складі:

- Голова комісії: Дудченко С.В. – директор ТОВ «Херсонський морський спеціалізований тренажерний центр при Херсонській державній морській академії»
- Члени комісії: Макарчук Д.В. – завідувач відділу (сектору) курсів пов'язаних з палубою  
Полікарпов Г.С. – завідувач відділу (сектору) курсів аварійного реагування

цим актом засвідчують, що результати дисертаційного дослідження Кондрашова К.В. на тему «Підвищення ефективності експлуатації аварійно-попереджувальної системи судна», представлені на здобуття наукового ступеня доктора філософії використані в професійно-технічній і навчально-тренажерній діяльності товариства з обмеженою відповідальністю «Херсонський морський спеціалізований тренажерний центр при херсонській державній морській академії» у вигляді розробленого в рамках дисертаційного дослідження програмного продукту, який впроваджено в курсі Marine Automation and Control Systems Training процес пошуку причин несправності суднового обладнання як система підтримки прийняття рішень.

Використання вказаних результатів дозволяє ефективно проводити навчально-тренажерну підготовку морських фахівців, досягти більш глибокого розуміння процесів при експлуатації суднових механізмів та надати необхідні компетенції щодо технічної експлуатації суднового обладнання.

Директор ТОВ ХМСЦТ ХДМА

Дудченко С.В.

ЗАТВЕРДЖУЮ

проректор з науково-педагогічної роботи  
Херсонської державної морської академії

Андрій БЕНЬ

09.06.2021 р.

АКТ



про використання результатів дисертаційної роботи  
**Кондрашова Костянтина Вікторовича «Підвищення ефективності  
експлуатації аварійно-попереджувальної системи судна» у  
навчальному процесі Херсонської державної морської академії**

Ми, що підписалися нижче, проректор з навчально-методичної роботи ХДМА Дягилева О.С., завідуючий кафедрою експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики Рожков С.О., доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики Тимофеев К.В. склали дійсний Акт про те, що результати дисертаційної роботи Кондрашова Костянтина Вікторовича «Підвищення ефективності експлуатації аварійно-попереджувальної системи судна», представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії, впроваджені у навчальний процес підготовки фахівців за спеціальністю 271 – Річковий та морський транспорт з освітньо-професійною програмою «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» на кафедрі експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики.

Для пошуку та усунення причин несправності в суднових автоматизованих системах та механізмах автором виконано аналіз засобів діагностики відмов, які використовуються оператором в реальних умовах плавання судна. Систематизовані та упорядковані основні умови, що впливають на час, який витрачається обслуговуючим персоналом на відновлення працездатності суднової системи, яка відмовила. В роботі запропоновано та розроблено систему СППР, яка може бути використана при виборі рішення про необхідність технічних впливів по кожному з неприпустимому стану суднової системи з урахуванням всіх факторів.

Основні результати дисертаційного дослідження використовуються при викладанні дисциплін «Автоматизація електроенергетичних систем та комплексів», «Автоматизовані електроенергетичні пропульсивні установки і спеціалізовані суднові електроприводи», «Системи автоматичного управління судновими енергетичними установками».

Проректор  
з навчально-методичної роботи ХДМА

Олена ДЯГИЛЕВА

Доцент кафедри ЕСЕЗА  
к.т.н., доцент

Олександр КОЛЕБАНОВ

Доцент кафедри ЕСЕЗА  
к.т.н., доцент

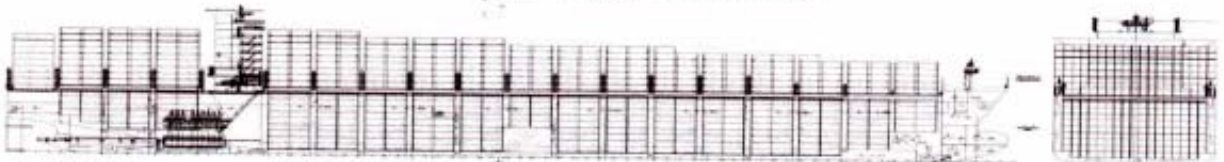
Костянтин ТИМОФЕСВ





**MEDITERRANEAN SHIPPING COMPANY**

**m/v "MSC Brunella"**



<b>MAIN ENGINE :</b> MAN B&W 9S90ME-C10.2 TIER II <b>OUTPUT :</b> SMCR 47.430kW x 78.0 RPM NCR 40.318kW x 73.9 RPM <b>AUXILIARY ENG. :</b> DOOSAN 8L32/40 X 2 sets 4000KW 720RPM 8L32/40 X 2 sets 4500KW 720RPM <b>EMERG. GENER. :</b> Nordhavn Scania 532kw@1800RPM 1set <b>PROPELLER :</b> 6 blades righthanded, D 9600 mm <b>PROPELLER PITCH :</b> (geo.mean) 9699 mm <b>BOWTHRUSTER :</b> KAWASAKI, 3,000kW x 1Set	<b>Service SPEED on Scantling Draft at NCR</b> <b>CONSUMP. PER DAY :</b> <b>DAILY PORT CONSUMP. :</b> <b>FUEL CAPACITY :</b> <b>DIESEL CAPACITY :</b> <b>MARINE GASOIL</b> <b>L.O. CAPACITY :</b> <b>F.W. GENERATOR :</b> <b>F.W. CAPACITY :</b> <b>BALLAST CAPACITY :</b> <b>M.E. FUEL TYPE :</b>	21.8 knots 158.8 mt 46 mt 8,459.4 m3 589.6 m3 338.8 m3 560.3 m3 40 tons/day 452.7 m3 33,763.2 m3 up to 700 CST at 50°C
--	--	--

IMO NO. : 9702106

e-mail: [msc.brunella@mscfleet.com](mailto:msc.brunella@mscfleet.com)

Telephone: +870 773 934 200

**Implementation Act**

of the results of the dissertation work of Kostyantyn Viktorovich Kondrashov on the topic "Increasing the efficiency of alarm monitoring system of the vessel." The Commission of m/v "Brunella" consisting of P.V. Naumov, V.V. Stepanov and D.I. Khorokhorov considered the issue of using the results of the dissertation work of Kondrashov K.V. and installed the following:  
 The software product developed within the framework of the dissertation research is introduced into the process of finding the causes of malfunction of ship equipment as a decision support system and is used by our specialists in their daily work.

Chairman of the commission:



Ch.eng. P.V. Naumov

Commission members:



Ch. Off. V.V. Stepanov



2-nd.eng. D.I. Khorokhorov