

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 судових 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 судовими системами *аварійно-попереджувальної сигналізації (АПС)* в роботі виконано з точки зору безпеки судна та надійності судового 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 судових 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 судової 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 формується 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 судових систем за вектором їх параметрів у вигляді спостерігача.

Обґрунтовано модель системи пошуку причин несправності судового 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 судової 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 інформацію:

- 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 судового обладнання.

Використання таких систем СППР в перспективі дозволять значно знизити негативний вплив так званого «людського фактора» у сфері безпечної експлуатації та обслуговування не тільки судового 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 судового 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 електрооборудования // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «PERSPECTIVES OF SCIENCE AND EDUCATION» м. Київ, м. Карлові Вари 2018. С. 443-449. *(Здобувачем зроблено ранжування суднових 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 суднових систем діагностування. Описано їх достоїнства і недоліки).*

6. **Кондрашов К.В.**, Терещенкова О.В. Необходимость создания СППР судового електромеханика // 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 судових 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.