

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2020.3\(481\).14](https://doi.org/10.15589/znp2020.3(481).14)
УДК 004.891.2

AUTOMATION OF SEARCHING FOR DEFECTS OF SHIP'S ELECTRICAL EQUIPMENT

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОИСКА ДЕФЕКТОВ СУДОВОГО ЕЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОШУКУ ДЕФЕКТІВ СУДНОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Oksana V. Tereshchenkova
tereshoks17@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0023-5550

Kostiantyn V. Kondrashov
kondrashov_82k.v@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1352-6098

О. В. Терещенкова,
канд. техн. наук, доцент

К. В. Кондрашов,
аспирант

Kherson State Maritime Academy, Kherson

Херсонская государственная морская академия, г. Херсон

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

Abstract. At the present stage of development of computer technologies and automation of various processes, special attention is paid to expanding the capabilities of modern control and diagnostic systems for ship devices.

The successful solution to the problem of reducing the accident rate of marine vessels is largely determined by the presence of new approaches, methods and directions in the development of both improving the efficiency of diagnostic systems and preventing ship electrical equipment failures, and in the quick elimination of, however, malfunctions.

The article evaluates the quality of the tasks performed by modern ship diagnostic systems from the point of view of ship safety and reliability of ship equipment. An analytical review of existing alarm systems is presented, as well as weaknesses and shortcomings. The necessity of increasing the efficiency of ship diagnostic systems has been substantiated. Structures of troubleshooting are described, as well as algorithms for their implementation. Based on the experimental data collected on the container ship “Brunella”, mathematical calculations of the average number of possible causes of malfunctions occurring on the ship were carried out. Analysis of breakdowns of ship electrical equipment shows that, on average, it is necessary to assess from 10 to 20 possible causes of failure. This places high demands on the level of preparedness that a decision maker must have in order to make the right decision to eliminate a malfunction. The article substantiates the need for the transition from current paper documentation to electronic operational documentation using an expert system. An expert system is proposed, which is built on a knowledge base that includes the experience of experts in repair and search for defects. The knowledge base is formed on the basis of an expert assessment, taking into account the ranking of experts. The described system uses an approach that implements the task of separating information stored in a common database and directly in the knowledge base. The general scheme of the constructed system is presented, on which the approbation of the results collected and tested on the ship “Brunella” was carried out.

Key words: object of diagnostics (OD); structural units (SU); electric automation devices (EAD); complex technical system (CTS); decision maker (DM); ship automated systems (SAS); expert system (ES); alarm monitoring system (AMS).

Анотація. На сучасному етапі розвитку комп'ютерних технологій і автоматизації різних процесів особлива увага приділяється розширенню можливостей сучасних систем контролю і діагностики за судновими пристроями. Успішне вирішення проблеми зниження аварійності морських суден значною мірою визначається наявністю нових підходів, методів і напрямів у розвитку підвищення ефективності систем діагностики і запобігання відмовам суднового електрообладнання, у швидкому їх усуненні. У статті зроблено оцінку якості виконуваних завдань сучасними судновими системами діагностування з погляду безпеки судна та надійності суднового устаткування. Представлений аналітичний огляд наявних систем аварійно-попереджувальної сигналізації, а також розглянуті слабкі місця і недоліки. Обґрунтовано необхідність підвищення ефективності суднових систем діагностування.

Описано структури пошуку несправностей, а також алгоритми їх реалізації. На основі експериментальних даних, зібраних на контейнеровозі "Brunella", проведено математичні розрахунки середньої кількості можливих причин несправностей, що виникають на судні. Аналіз несправностей суднового електрообладнання показує, що в середньому доводиться оцінювати від 10 до 20 можливих варіантів відмови. Це висуває високі вимоги до рівня підготовленості особи, що ухвалює рішення, для усунення виниклої несправності. У статті обґрунтовано необхідність переходу від наявної паперової документації до електронної експлуатаційної документації за допомогою експертної системи. Запропоновано експертну систему, яка будується на базі знань, що охоплює досвід експертів із ремонту та пошуку дефектів. База знань формується на основі експертної оцінки з урахуванням ранжирування експертів. Описана система використовує підхід, який реалізує завдання поділу інформації, що зберігається в загальній базі даних і безпосередньо в базі знань. Представлена загальна схема побудованої системи, на якій проводилась апробація результатів, зібраних і протестованих на судні "Brunella".

Ключові слова: об'єкт діагностування (ОД); структурні одиниці (СО); електричні засоби автоматизації (ЕЗА); складна технічна система (СТС); особа, яка ухвалює рішення (ОУР); суднові автоматизовані установки (САУ); експертна система (ЕС); система аварійно-попереджувальної сигналізації (САПС).

Аннотация. Анализ средств диагностики отказов, используемых оператором в реальных условиях плавания, для поиска и устранения причин неисправности судовых автоматизированных систем и механизмов является актуальной проблемой. Быстрый поиск и устранение дефекта влияет на уровень безопасности судна в целом. Данная статья посвящена изучению способов и моделей построения деревьев отказов и деревьев решений для выявления дефекта в конкретных объектах диагностики и их структурных единиц, а также методов поиска дефектов. Современная методика диагностирования включает в себя иерархический принцип поиска дефекта. На каждом этапе диагностирования происходит постепенное уточнение места дефекта. Систематизированы и упорядочены основные субъективные и объективные условия, влияющие на время, затрачиваемое обслуживающим персоналом на восстановление работоспособности отказавшей судовой системы. На основе собранных данных проведена систематизация причин отказов по уровням сложности их устранения. В статье обоснована необходимость перехода от действующей бумажной документации к электронной эксплуатационной документации с помощью экспертной системы. Описана общая схема построенной системы, на которой проводилась апробация результатов, собранных и протестированных на судне "Brunella".

Ключевые слова: объект диагностирования (ОД); структурные единицы (СЕ); электрические средства автоматизации (ЭСА); сложная техническая система (СТС); лицо, принимающее решение (ЛПР); судовые автоматизированные установки (САУ); экспертная система (ЭС); система аварийно-предупредительной сигнализации (САПС).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Современные электронные технологии нашли самое широкое применение в области мореплавания. Но усложнение состава электрооборудования, рост его количества и широкое внедрение комплексных средств автоматизации на судах неизбежно приводят к увеличению интенсивности отказов судовых систем. Вследствие этого нередки простои судов, вызванные необходимостью ремонта электрооборудования. И, соответственно, убытки, связанные с потраченным временем и ресурсами, существенно возрастают.

Опыт эксплуатации сложных технических систем показывает, что основную долю времени восстановления работоспособности электрических средств автоматизации (далее – ЭСА) составляет время, затрачиваемое на поиск дефектов. Эта доля часто составляет 70–90% от общего времени восстановления и почти полностью зависит от компетентности обслуживающего персонала [1–2]. Очевидно, чем сложнее становятся функции различных автоматических и автоматизированных систем судна, тем острее необходимость в координации обслуживающего персонала в случае возникновения нестандартных ситуаций или отказов электрооборудования.

Актуальность работы обусловлена необходимостью поиска решений относительно снижения негативного влияния так называемого «человеческого фактора» в сфере эксплуатации и обслуживания судового оборудования, что прописано в резолюции ИМОА.884 (21). А также необходимостью повышения безопасности экипажа судна, возможностью повышения эксплуатационного срока работы судового электрооборудования.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ работ [3–5] показал, что достаточно широкая аудитория исследователей ставила перед собой задачу именно прогноза и упреждения отказа судовых систем. В итоге, разработанные и внедрённые методы помогали снизить количество отказов электрооборудования. Однако следует отметить, что недостатком такого подхода является отсутствие координации лица, принимающего решения, (далее – ЛПР) в связи с фактами отказов, что в некоторых случаях может привести к катастрофическим последствиям.

Принципы разработки экспертных систем описаны в работах А. Брукинга [6], К. Нейлора [7] и других. Использование современных технологий

в разработке интеллектуальных систем исследовали Р. Баженов и Д. Лопатин [8]. Т. Козлова и другие рассмотрели реализацию экспертной системы поддержки принятия решений для определения неисправностей технологической системы [9]. Б. Палюх и другие рассмотрели интеллектуальную систему поддержки принятия решений по управлению сложными объектами с использованием динамических нечетких когнитивных карт [10]. В работах Института электроэнергетики США в области создания и использования экспертных систем особое внимание уделено трем главным направлениям: управлению, диагностике оборудования, информационной поддержке [11]. Опыт разработки зарубежных ученых описан в работах [11; 12].

В настоящее время используется и разрабатывается много информационных систем, методов, средств контроля и диагностики технического состояния электрооборудования. Однако необходимы совершенствование существующих и разработка новых технологий и практических методов, которые обеспечивали бы эффективное техническое обслуживание и ремонт электрооборудования по техническому состоянию. Анализ их эффективности показывает, что наряду с множеством определенных достоинств они имеют ряд недостатков. Как правило, это методы, предусматривающие процедуру съема информации с достаточно большого количества контрольных точек. При этом процесс диагностирования предполагает выполнение разветвленных алгоритмов, сложность которых увеличивается с ростом размерности диагностируемой электрической цепи [13–15].

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс поиска неисправностей является наиболее сложным при ремонте электрооборудования, так как современные автоматизированные системы представляют собой сложную взаимосвязанную сеть электрических и электронных цепей. Задача по поиску неисправного элемента состоит в нахождении такой последовательности проверок, при которой на поиск дефекта затрачивается минимум времени.

МЕТОДЫ, ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Современная методика диагностирования САУ включает в себя иерархический принцип поиска дефекта. На каждом этапе диагностирования происходит постепенное уточнение места дефекта. Определяется неработоспособный блок (конструктивно оформленный элемент ОД, пославший сообщение об ошибке), затем производится диагностирование выявленного блока с глубиной поиска до узла/элемента функциональной схемы и т. д. Результат состоит в диагностировании на уровне элемента функциональной схемы с глубиной поиска до элемента принципиальной схемы.

Для возможности показать возможную величину затрачиваемого на поиск и ремонт времени был произведен эксперимент на одном из контейнеровозов судоходной компании Mediterranean Shipping Company (MSC) m/v MSC “Brunella” [16–17].

Мы использовали архивный журнал системы АПС Kongsberg K-Chief 600, контейнеровоза MSC “Brunella” 2016 г. постройки. Общее количество контролируемых системой АПС параметров составляет 3 410 единиц.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Любое современное судно представляет собой сложнейшую автоматизированную систему. Только сложная работа всех систем судна позволяет обеспечить как живучесть судна, так и безопасность всех членов экипажа. Для надёжной работы автоматизированных судовых систем и механизмов необходимо осуществлять непрерывный контроль над ними. Эту функцию взяла на себя система аварийно-предупредительной сигнализации (далее – САПС) судна, которая является неотъемлемой частью любого современного судна [15–17].

В современном мире все суда, независимо от типа и конструкции, оборудованы САПС. Очень хорошо зарекомендовали себя следующие системы: германская САПС “Norcontrol 8810”, популярная на контейнерном флоте; САПС “UMS 2100” датской фирмы “Lingso Marine”; САПС “Auto Chief – 600” немецкой фирмы “Kongsberg”; САПС “Manager 301M”, популярная на танкерном флоте, российской компании ЗАО «Морские навигационные системы».

Все современные САПС имеют одинаковую иерархическую структуру (рис. 1), отличие состоит лишь в производителе электронных карт, модулей и протоколах взаимодействия.

Данные судовых неисправностей, зарегистрированных в судовом журнале судна в течение шести месяцев, были условно разбиты по уровню сложности систем, в которых они произошли, и сведены в таблицу 1.

Целью эксперимента был расчет среднего количества возможных причин этих отказов, а также количества возможных путей их устранения и времени, затраченного на их устранение.

На основе данных, взятых из архива САПС (статистики неисправностей), построен вариационный ряд наблюдений по количеству неисправностей, случившихся в течение полугода на судне, и количеству их возможных причин. Полученные данные отобразим в виде графика, представленного на рисунке 2.

Из графика видно, что наиболее чаще неисправности случаются с системами среднего уровня сложности, а это значит, что среднее количество возможных причин неисправностей для каждого случая равно 15.

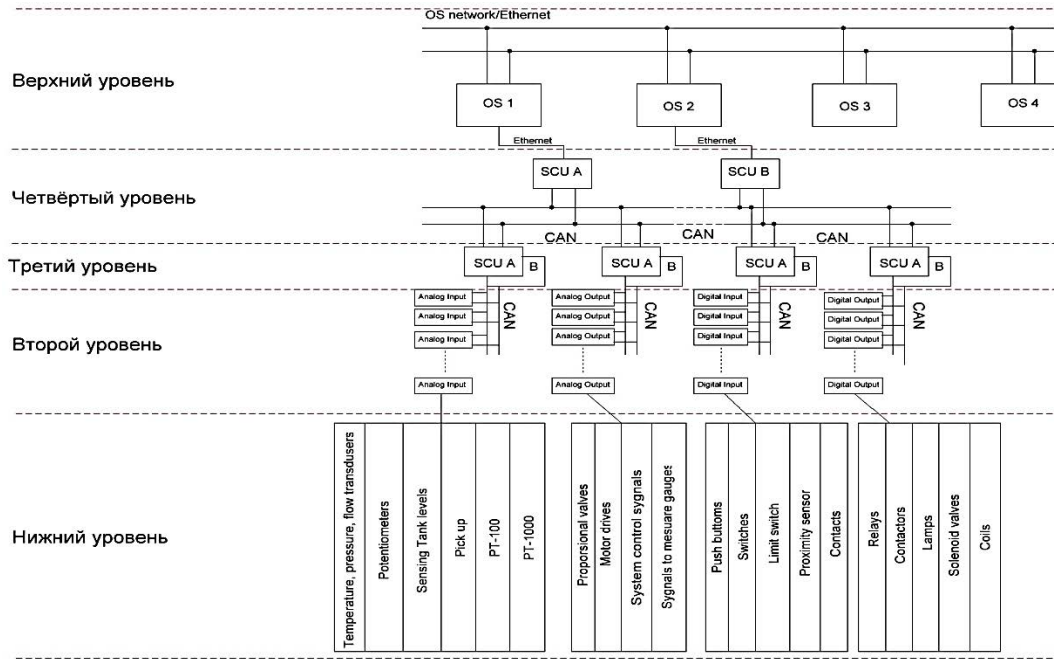


Рис. 1. Иерархическая структура САПС

Таблица 1. Неисправности судовой системы АПС Kongsberg K-Chief 600 контейнеровоза MSC “Brunella”

Количество неисправностей, зарегистрированных системой АПС за полгода				
Простые элементы	Простые системы	Системы средней сложности	Сложные системы	Очень сложные системы
Всего – 24	Всего – 126	Всего – 198	Всего – 168	Всего – 12

Найдем относительную частоту событий за полугодие W_i для каждого уровня сложности систем:

$$W_i = \frac{N_i}{n},$$

где N_i – число поломок на заданном интервале; n – общее количество неисправностей в течении шести месяцев.

Подставив числовые данные, получим: $W_1 = 0,046$; $W_2 = 0,241$; $W_3 = 0,379$; $W_4 = 0,311$; $W_5 = 0,023$. Найдем числовые параметры: среднее значение и дисперсию:

$$\bar{X}_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m N_i * X_i = 15, \text{ где } \bar{X}_B \text{ – выборочное среднее.}$$

Дисперсия дискретной случайной величины:

$$D_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_B)^2 = 28,7, \text{ где } D_B \text{ – выборочная дисперсия.}$$

Тогда среднее квадратичное отклонение (стандартная ошибка):

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

Таким образом, среднее количество возможных причин случайного отказа, зарегистрированного системой АПС, $\bar{X}_B = 15$, со средним квадратичным отклонением $\sigma_B = 5$.

Односигмовый интервал (доверительная вероятность которого 67%) для приведенной случайной величины составляет от 10 до 20 возможных причин.

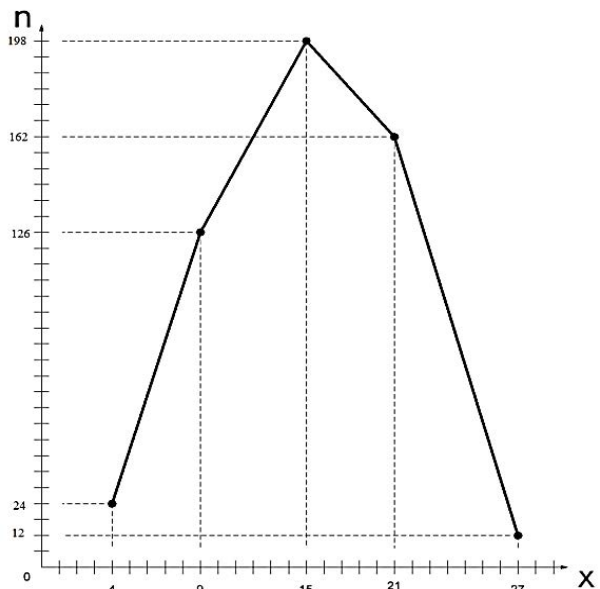


Рис. 2. График поломок за полугодие

Это означает, что очень часто даже опытные специалисты-электромеханики будут тратить достаточно много времени на предположения и догадки о причинах поломки и способах её устранения.

После подтверждения факта отказа системы начинается период поиска дефекта, который привёл к этому отказу. Ввиду того, что основная часть времени от момента отказа до момента восстановления работоспособности расходуется именно на поиск дефекта, этот период мы рассмотрим подробно.

На первом этапе происходит регистрация факта отказа конкретной судовой системы. Задача специалиста, отвечающего за работоспособность систем, или лица, принимающего решения, состоит в возврате системы из неисправного состояния в работоспособное состояние.

На втором этапе отказавшая система (объект диагностики (далее – ОД)) условно делится на составные части – структурные единицы (далее – СЕ), соединённые последовательно. Для представления СЕ графически обычно пользуются моделями ОД в виде структурных, функциональных, монтажных схем, а также схем соединений и подключений. Каждая СЕ может представлять собой отдельный модуль, блок, узел, участок и т. д.

Здесь ЛПР выбирает стратегию дальнейшего поиска дефекта, т. е. способ, которым он будет локализовать неисправность в конкретной СЕ. Таких способов всего три:

1) последовательный способ поиска – поиск дефекта ведётся путём измерения сигнала в контрольных точках поочередно, от СЕ к СЕ. То есть проверяется выходной сигнал каждой СЕ. Как правило, наиболее удобные модели для выбора контрольных точек – принципиальные и структурные схемы ОД;

2) параллельный способ поиска – ОД разбивается каждой проверкой на две равные или почти равные части, если соответственно в ОД четное или нечетное число СЕ;

3) комбинированный способ поиска – комбинация последовательного и параллельного.

Универсальные алгоритмы поиска дефектной СЕ представлены на рисунке 3.

Последовательность выполнения проверок при поиске дефекта последовательным способом (рис. 3А) представлена в виде графа (дерева), где вершинами являются проверки, а ветви указывают направление перехода в зависимости от результата проверки, конечные вершины – обнаруживаемые дефекты.

Проверку наличия дефекта в СЕ можно производить двумя путями: от начала к концу и от конца к началу.

В первом случае необходимо выполнить проверку Π_1 в точке A_1 . Если сигнал в допустимых пределах, то проверку Π_2 следует выполнить в точке A_2 , которая позволит определить состояние CE_2 . Если результат проверки отрицательный, то дефект обнаружен в данной структурной единице, если положительный, то необходимо выполнить проверку в следующей точке, и т. д.

Во втором случае (от конца к началу), если результат проверки Π_1 в точке A_{n-1} отрицательный, то следующую проверку Π_2 необходимо выполнить в точке A_{n-2} . При положительном результате дефект в CE_{n-1} , при отрицательном – выполняется следующая проверка.

В результате выполнения последовательности проверок поиск приводит к определённому состоянию, соответствующему обнаружению отказавшей СЕ.

Например, при поиске дефекта параллельным способом (рис. 3Б) для ОД, состоящей из 4-х структурных единиц ($n = 4$), поиск производится следующим образом: первая проверка Π_1 выполняется в точке A_2 . Если результат отрицательный, то следующая проверка Π_2 выполняется в точке A_1 , в результате чего определяется место нахождения дефекта

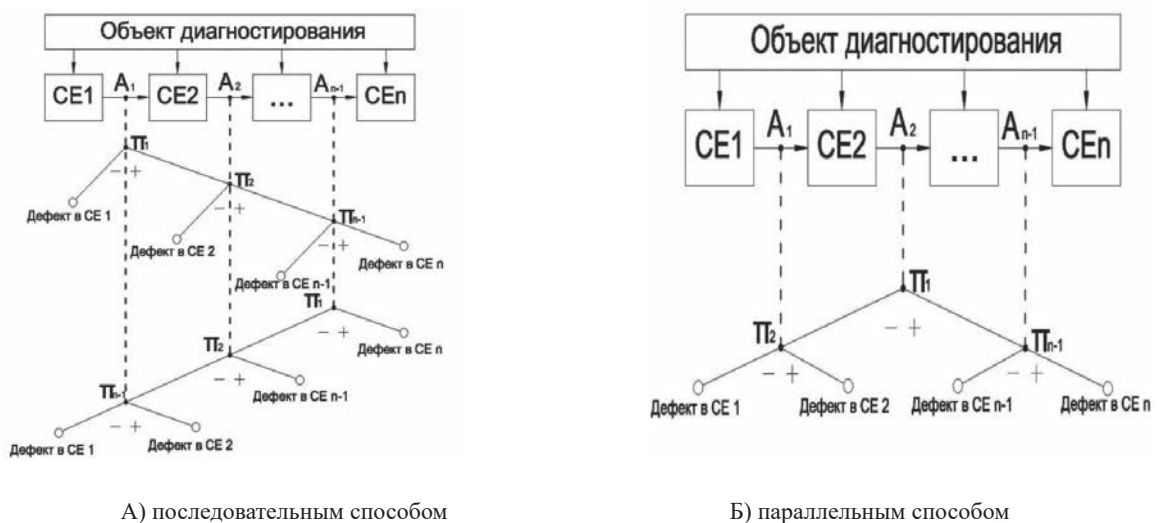


Рис. 3. Универсальные алгоритмы поиска дефектной СЕ: CE_1, CE_2, CE_n – структурные единицы объекта диагностирования; A_1, A_2, A_{n-1} – контрольные точки (выходные сигналы с каждой СЕ); Π_1, Π_2, Π_{n-1} – проверки; n – порядковый номер СЕ в схеме

(CE_1 или CE_2). В противном случае назначается проверка P_{n-1} в точке A_{n-1} , позволяющая определить дефект в CE_{n-1} или CE_n .

После определения конкретного участка, который содержит дефект, переходят к третьему этапу поиска неисправности.

На третьем этапе для дефектной СЕ строится дерево решений. Для составления алгоритма поиска дефекта в виде дерева решений используются такие модели ОД, как принципиальные схемы, схемы соединений и подключений, а также объединённые схемы. СЕ разбивается на отдельные взаимосвязанные узлы или простые элементы и производится проверка каждого из них по стандартным алгоритмам.

Алгоритм поиска дефектов в СЕ представляет собой дерево решений в виде последовательных проверок узлов и элементов этой СЕ. Проверки производятся различными методами в зависимости от решения ЛПР. Наиболее используемые методы для проверки предполагаемых дефектов следующие: внешний осмотр, прозвонка, снятие рабочих характеристик, сравнение с исправным блоком, моделирование, временная модификация схемы, метод замены, проверка режима работы элемента, провоцирующие воздействия.

Также для типовых поломок используют таблицы дефектов ОД.

После нахождения дефекта в СЕ переходят к четвёртому этапу.

На четвёртом этапе производят анализ причин и определяют событие, которое привело к дефекту данного элемента. Среди них следующие: плохой контакт, коррозия, окисление, пробой изоляции, скачки напряжения, перегрузка по току, дефект материалов и т. д.

После устранения события, приведшего к отказу элемента, переходят к завершающему этапу.

На последнем этапе определяют и устраняют виды воздействия, которые способствовали появлению события, вызвавшего отказ элемента ОД. Наиболее

часто встречаются такие виды воздействия, как: температура, влажность, вибрация, механические воздействия, электромагнитное воздействие, пыль и др.

Предлагаемая экспертная система будет строиться на базе знаний, включающих опыт экспертов по ремонту и поиску дефектов. База знаний формируется на основе экспертной оценки (в качестве экспертов выступают специалисты-электромеханики с опытом работы не менее пяти лет, а также суперинтенданты фирм-крюингов с таким же опытом).

В системе используется подход, реализующий задачу разделения информации, хранимой в общей базе данных и непосредственно в базе знаний (набор таблиц решений).

Для реализации этого подхода используются связующие переменные (таблицы связи).

Посредством этих таблиц связи осуществляется связь переменной из базы знаний с данными, хранящимися в общей базе данных по оборудованию и готовым алгоритмам устранения неисправностей.

Структурная схема экспертной системы представлена на рисунке 4.

База знаний включает в себя знания и оценки экспертов по случившимся поломкам, а также базы данных со структурными схемами, принципиальными схемами элементов и составных частей, алгоритмы нахождения и устранения неисправностей.

Наполнение происходит из судовых журналов, в которых регистрируется количество неисправностей, выявленных системой АПС для судов типа контейнеровоз. Для занесения в базу данных неисправности ранжируются по уровню их сложности. Все записи журналов передаются суперинтендантом в крюинговую компанию, где наполняется база на основании данных журналов, собранных со всех судов данного крюинга на протяжении всего времени эксплуатации судна.

Конечный продукт представляет собой программное обеспечение, которое предоставляет оператору

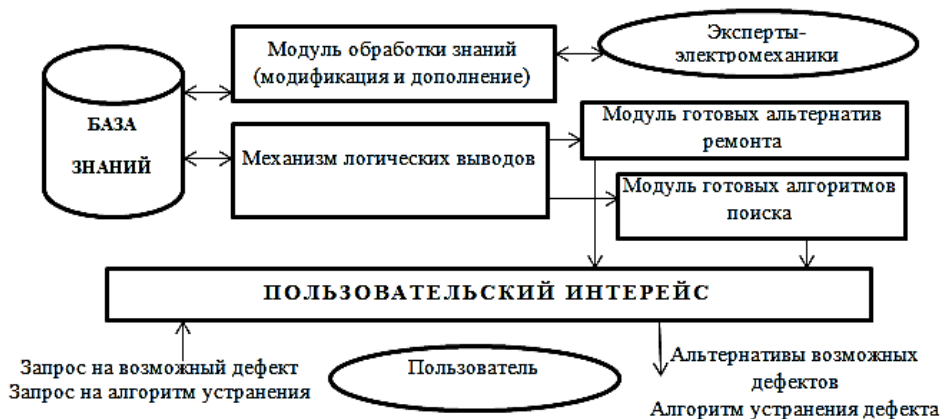


Рис. 4. Структурная схема экспертной системы

полную, но не избыточную информацию по необходимой неисправности, а также чёткую последовательность действий для её быстрого устранения.

На рисунке 5 представлены некоторые окна разработанной системы.

Операция принятия решений в ЭС судового электромеханика происходит следующим образом: зарегистрированная ошибка системы АПС вводится в окно системы; пользователь получает всю необходимую документацию по агрегату, подавшему сигнал ошибке, а также набор стратегий для устранения неполадки. Так как вариативность возможных неполадок возрастает со сложностью механизма, возникает необходимость выбрать наиболее эффективную стратегию для сокращения времени устранения. Для этого существует таблица мнений экспертов, которые сталкивались с подобными проблемами.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

На сегодняшний день повысить эффективность САУ можно двумя способами.

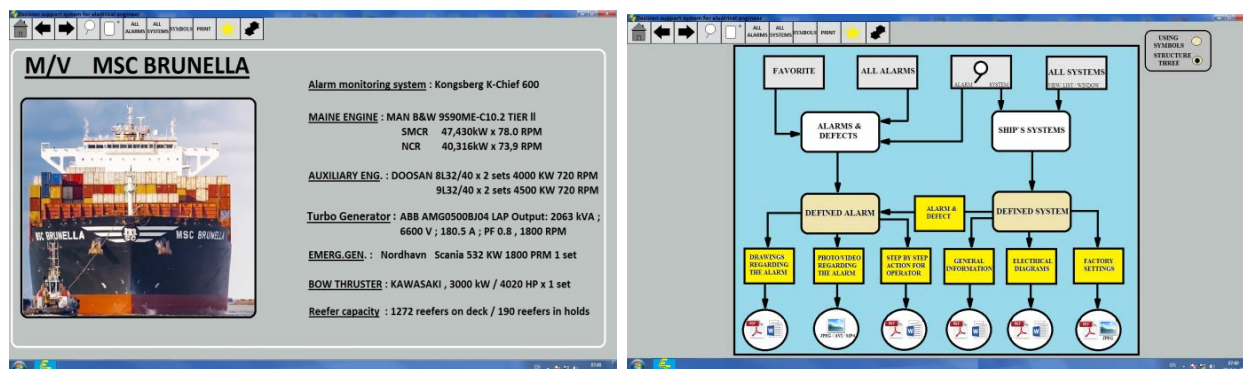
Первый способ – это подготовка высококвалифицированного персонала. Для быстрого нахождения и устранения дефекта ОД ЛПР должен владеть обширными знаниями и опытом, а также обладать широким спектром личностных качеств. Кроме того,

ЛПР должен уметь приспосабливаться к объективным причинам, затрудняющим поиск неисправностей.

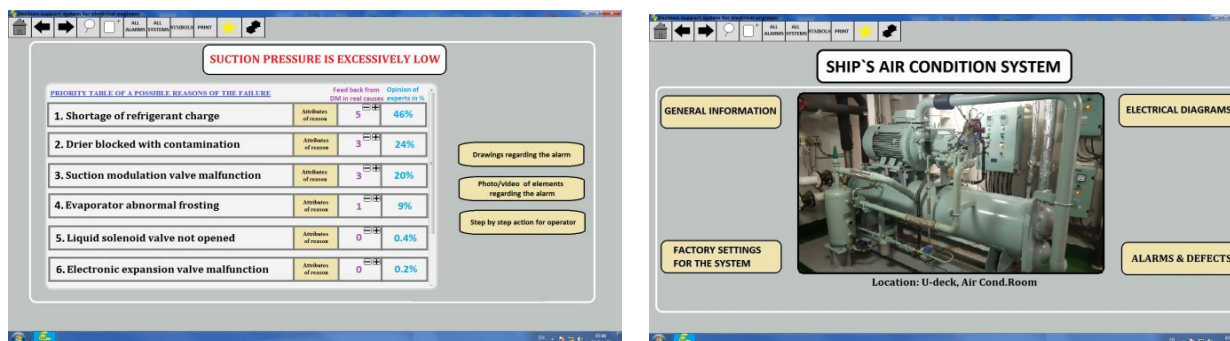
Проблема в том, что даже при наличии всех этих качеств у одного ЛПР (что крайне маловероятно) процесс поиска дефекта может быть длительным. Так происходит потому, что объём информации, получаемой оператором, в каждом конкретном случае зачастую носит избыточный характер. Один и тот же ОД, как правило, представлен различными моделями, а объём информации о его элементах и связях, а также различных особенностях значительно превышает уровень, необходимый для отыскания дефекта.

В результате получается, что невозможно быстро составить чёткую схему действий при поиске дефекта. ЛПР всегда вынужден держать в голове все способы и алгоритмы проверок, понимать, когда следует заменить один метод другим в процессе поиска одного и того же дефекта, постоянно осмысливать, что использовать в данный момент времени. В этом случае срабатывает такой фактор человеческой психики, как ограниченная возможность перерабатывать большое количество информации (от 5 до 9) в единицу времени. Поэтому даже грамотный и компетентный ЛПР при поиске дефекта попадает в обязательные временные рамки, увеличивающие процесс поиска неисправности.

Второй способ – это повышение надёжности ОД путем усиления контроля над работоспособностью



а) стартовая страница программы и структура взаимодействия окон программы



б) данные о выбранной системе и экспертная оценка по выбранной неисправности

Рис. 5. Окна экспертной системы

основных узлов ОД и взаимосвязей между ними. Проблема состоит в том, что конструктивные, схемные и технологические возможности повышения надёжности судовых систем ограничены и практически исчерпаны. Более того, повышение надёжности ОД за счёт конструктивного усложнения систем диагностирования, как правило, предусматривает рост количества измерений с увеличением размерности диагностируемой цепи, а это требует увеличения количества контрольных точек в ОД, что неизбежно порождает новую проблему, связанную с надёжностью самих диагностирующих систем. Кроме того, их ложные срабатывания могут запускать цепочку неправильных действий оператора, ведущих к аварии или катастрофе.

В итоге, даже сложные системы диагностирования, хоть и помогают снизить количество отказов электрооборудования путём своевременного информирования оператора о нарушениях в работе того или иного механизма, но, к сожалению, мало способствуют быстрому нахождению и устранению дефекта, в случае возникшего отказа судовой системы. А это требует высокой квалификации обслуживающего персонала и более длительных проверок, что в усло-

виях автономного плавания и при низкой квалификации персонала может привести к нежелательным последствиям.

ВЫВОДЫ

Дальнейшее развитие и усовершенствование САУ приводит к противоречиям. С одной стороны, требования к надёжности систем повышаются, с другой – их усложнение приводит, как правило, к снижению надёжности. Так как конструктивные, схемные и технологические возможности повышения надёжности САУ ограничены, а большая часть времени, затрачиваемая обслуживающим персоналом на восстановление работоспособности судового электрооборудования, расходуется на поиск дефектов, то очевидным путём устранения этих противоречий является разработка методов, позволяющих максимально минимизировать время, необходимое для выявления и исправления неисправности.

Данная статья наглядно демонстрирует острую необходимость внедрения специальных информационных экспертных систем, позволяющих даже при невысокой квалификации обслуживающего персонала и низкой эффективности контроля ОД быстро находить дефекты в отказавшей судовой системе.

REFERENCES

- [1] Bigus, G. A. (2014) Diagnostika tekhnicheskikh ustroystv [Diagnostics of technical devices] – M. : izd. MGTU im. N.E. Bauman, 615 s.
- [2] Yakh'yayev, N. YA. (2009) Osnovy teorii nadozhnosti i diagnostiki. [Fundamentals of the theory of reliability and diagnostics] Uchebnik dlya vuzov – M. : Akademiya, 256 s.
- [3] Shibayeva, N. O. (2016) Metody otsenki i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya sudovykh slozhnykh system [Methods for assessing and predicting the technical state of complex ship systems]: dis. kand. tekhn. nauk: spets. 05.22.20: Odesskiy natsional'nyy morskoy universitet. – 223 s.
- [4] Steklov, A. S. (2017) Modeli i algoritmy diagnostirovaniya i prognozirovaniya tekhnicheskikh sostoyaniy sudovykh elektroenergeticheskikh sistem v usloviyakh ekspluatatsii [Models and algorithms for diagnosing and predicting technical conditions of ship electric power systems in operating conditions]: dis. kand. tekhn. nauk: spets. 05.09.03: Nizhegorodskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet. – 170 s.
- [5] Ravin, A. A. (2015) Diagnosticheskoye obespecheniye sudovogo energeticheskogo oborudovaniya: problemy i resheniya [Diagnostic support of ship power equipment: problems and solutions]: dis. dokt. tekhn. nauk: spets. 05.08.05: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy morskoy tekhnicheskiiy universitet. – 436 s.
- [6] Bruking, A. (1987) Ekspertnyye sistemy. Printsipy raboty i primery [Expert systems. Operating principles and examples]. M.: Radio i svya. 224 s.
- [7] Neylor, K. (1991) Kak postroit' svoyu ekspertnyuyu sistemu [How to Build Your Expert System]. M.: Energoatomizdat. 286 s.
- [8] Bazhenov, R. I., Lopatin, D. K. (2014) O primeneniі sovremennykh tekhnologiy v razrabotke intellektual'nykh system [On the application of modern technologies in the development of intelligent systems]. Zhurnal nauchnykh publikatsiy aspirantov i doktorantov. № 3 (93). S. 263–264.
- [9] Kozlova, T. D., Ignat'yev, A. A., Samoylova, Ye. M. (2011) Realizatsiya ekspertnoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy dlya opredeleniya neispravnostey tekhnologicheskoy sistemy [Implementation of an expert decision support system for identifying malfunctions of a technological system]. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. № 2. S. 219–224.
- [10] Palyukh, B. V., Kakatunova, T. V., Dli, M. I., Baguzova, O. V. (2013) Intellektual'naya sistema podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu slozhnyimi ob'yektami s ispol'zovaniyem dinamicheskikh nechetkikh kognitivnykh kart [Intelligent decision support system for managing complex objects using dynamic fuzzy cognitive maps]. Programmnyye produkty i sistemy. № 4. S. 30.
- [11] Moreno, C. J., Espejo, E. (2015) A performance evaluation of three inference engines as expert systems for failure mode identification in shafts. Engineering Failure Analysis. T. 53. S. 24–35.
- [12] Liberado, E. V. et al. (2015) Novel expert system for defining power quality compensators. Expert Systems with Applications. T. 42. №. 7. S. 3562–3570.

- [13] Boran-Keshish'yan, A. L. (2008) Obespecheniye nadezhnosti sudovykh sistem navigatsii i upravleniya v sovremennykh usloviyakh [Ensuring the reliability of ship navigation and control systems in modern conditions]. – Novorossiysk. – 68 s.
- [14] Afromeyev, E. A. (2005) Kriterii tekhnicheskogo sovershenstva sudov [Criteria for the technical perfection of ships]. Sudostroyeniye. № 6. S. 14–17.
- [15] Kalyavin, V. P., Rybakov, L. M. (2009) Nadezhnost' i diagnostika elementov elektroustanovok SPb [Reliability and diagnostics of electrical installation elements]: Elmor, – 336 s.
- [16] KONSBERG. Standard K-Chief 600 Alarm and Monitoring System / 354760 / Rev. D March 2013 © Kongsberg Maritime AS
- [17] KONSBERG. Kongsberg K-Chief 500/600 Marine Automation System Installation Manual / 311956/F March 2013 © Kongsberg Maritime AS.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бигус Г. Диагностика технических устройств. Москва : изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 615 с.
- [2] Яхьяев Н. Основы теории надёжности и диагностики : учебник для вузов. Москва : Академия, 2009. 256 с.
- [3] Шибяева Н. Методы оценки и прогнозирования технического состояния судовых сложных систем : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Одесса, 2016. 223 с.
- [4] Стеклов А. Модели и алгоритмы диагностирования и прогнозирования технических состояний судовых электроэнергетических систем в условиях эксплуатации : дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03э Нижний Новгород, 2017. 170 с.
- [5] Равин А. Диагностическое обеспечение судового энергетического оборудования: проблемы и решения : дис. ... докт. техн. наук: 05.08.05. Санкт-Петербург, 2015. 436 с.
- [6] Брукинг А. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. Москва, 1987. 224 с.
- [7] Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. Москва : Энергоатомиздат, 1991. 286 с.
- [8] Баженов Р., Лопатин Д. О применении современных технологий в разработке интеллектуальных систем. *Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов*. 2014. № 3 (93). С. 263–264.
- [9] Козлова Т., Игнатъев А., Самойлова Е. Реализация экспертной системы поддержки принятия решений для определения неисправностей технологической системы. *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2011. № 2. С. 219–224.
- [10] Интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению сложными объектами с использованием динамических нечетких когнитивных карт / Б. Палух и др. *Программные продукты и системы*. 2013. № 4. С. 30.
- [11] Moreno C., Espejo E. A performance evaluation of three inference engines as expert systems for failure mode identification in shafts. *Engineering Failure Analysis*. 2015. Т. 53. Р. 24–35.
- [12] Novel expert system for defining power quality compensators / E. Liberado et al. *Expert Systems with Applications*. 2015. Т. 42. №. 7. Р. 3562–3570.
- [13] Боран-Кешишьян А. Обеспечение надежности судовых систем навигации и управления в современных условиях. Новоросийск, 2008. 68 с.
- [14] Афромеев Э. Критерии технического совершенства судов. *Судостроение*. 2005. № 6. С. 14–17.
- [15] Калявин В., Рыбаков Л. Надежность и диагностика элементов электроустановок. Санкт-Петербург : Элмор, 2009. 336 с.
- [16] KONSBERG. Standard K-Chief 600 Alarm and Monitoring System / 354760 / Rev.D March 2013 © Kongsberg Maritime AS.
- [17] KONSBERG. Kongsberg K-Chief 500/600 Marine Automation System Installation Manual / 311956/F March 2013 © Kongsberg Maritime AS.

© О. В. Терещенкова, К. В. Кондрашов
Дата надходження статті до редакції: 16.10.2020
Дата затвердження статті до друку: 26.10.2020