

УДК 629.5.064.5
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/33>

Дакі О.А.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Якусевич Ю.Г.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Колесник В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Тришин В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА СУДНІ НА ОСНОВІ ДЕРЕВА ВІДМОВ

У роботі висвітлюється проблема постійного розвитку суднової енергетики, автоматизації, що впливає на роботу електричного обладнання. Типи електричних несправностей електрообладнання численні і часто непередбачувані. Зазначається, що в разі виходу обладнання з ладу використовуються різні методи контролю і діагностики несправностей електрообладнання. Контроль у такому випадку трактується як виявлення несправності, а діагностика – як пошук відмови вузла елемента. В якості таких методів контролю і діагностики можуть, наприклад, використовуватися методи на основі аналізу дерева відмов або на основі використання баз знань експертної системи.

У статті наведено підходи щодо побудови моделі дослідження особливостей несправностей електрообладнання на судні на основі дерева відмов. Систематизовано проблеми, здійснена класифікація видів несправностей електрообладнання судна, що сприяє правильному визначенню причин відмов і їх усуненню та дає змогу застосовувати метод дерева відмов. Обґрунтовано доцільність та розроблені пропозиції щодо формального представлення процесу виявлення несправностей електрообладнання судна на основі дерева відмов. Надалі дерево відмов може бути використано для аналізу чутливості окремих подій до відхилень параметрів системи. Також можливе проведення аналізу дерева відмов з метою видачі рекомендацій, а саме, в яких напрямках повинні бути вжиті заходи для зниження ризику головної події.

Головна перевага дерева відмов (порівняно з іншими методами) полягає в тому, що аналіз обмежується виявленням тільки тих елементів системи й подій, які призводять до конкретної відмови системи або аварії. Однак цей метод також може використовуватися в якості формального апарату для формалізації знань експертів під час розробки експертної системи обслуговування, контролю, діагностики та ремонту суднового електроустаткування. Метою статті є вдосконалення процесу визначення несправностей електрообладнання на судні з урахуванням їхніх особливостей на основі використання дерева відмов. Тому доцільним є вивчення вказаного питання в дослідженні особливостей виявлення несправностей електрообладнання.

Ключові слова: електрообладнання, несправність, судно, дерево відмов, класифікація, логічний символ.

Постановка проблеми. Із постійним розвитком суднової електротехніки, обладнання й автоматизації електричне обладнання стає все більш складним, тож типи електричних несправностей електрообладнання численні і часто непередбачувані. У разі виходу обладнання з ладу використовуються різні методи контролю і діагностики несправностей електрообладнання. Контроль у такому випадку трактується як виявлення несправності, а діагностика – як пошук відмовив вузла елемента. В якості таких методів контролю й діагностики

можуть, наприклад, використовуватися методи на основі аналізу дерева відмов або на основі використання баз знань експертної системи.

Як зазначається в роботі [1], для допомоги електротехнічного персоналу суден з обслуговування електроустаткування найбільш повно підходить експертна система з напрямком на обслуговування, контроль, діагностику і ремонт суднового електрообладнання. Це пов'язано перш за все з тим, що за її розробки в базі знань можна врахувати багаторічний досвід обслуговування

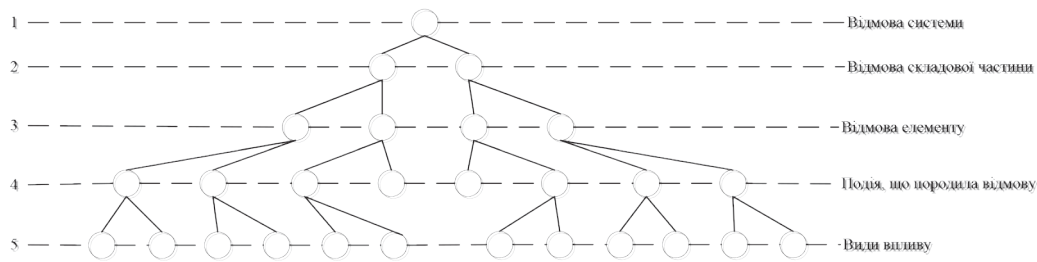


Рис. 1. Умовна схема побудови дерева відмов

електроустаткування професіоналами та досвід спеціальних кафедр підготовки електротехнічного персоналу суден. При цьому з математичної точки зору базовим методом формалізації знань експертів виступає апарат продукційних правил.

Дерево відмов (несправностей, аварій, подій, наслідків, небажаних подій та ін.) лежить в основі логіко-ймовірнісної моделі причинно-наслідкових зв'язків відмов системи з відмовами її елементів та іншими подіями (впливами). Під час аналізу виникнення відмови дерево відмов складається з послідовностей і комбінацій порушень і несправностей, таким чином, воно являє собою багаторівневу графологічну структуру причинних взаємозв'язків, отриманих у результаті простеження небезпечних ситуацій у зворотному порядку для того, щоб відшукати можливі причини їх виникнення (рис. 1).

Головна перевага дерева відмов (порівняно з іншими методами) полягає в тому, що аналіз обмежується виявленням тільки тих елементів системи і подій, які призводять до конкретної відмови системи або аварії. Водночас цей метод також може використовуватися в якості формального апарату для формалізації знань експертів під час розробки експертної системи обслуговування, контролю, діагностики та ремонту суднового електроустаткування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження особливостей несправностей електрообладнання на судні базується на роботах вчених, які зробили вагомий внесок як у розвиток теорії, так і розробку методів вирішення прикладних завдань, таких як: В.Я. Молочков, І.Д. Молочкова [1], О.В. Терещенкова, К.В. Кондрашов [2], Л.І. Ковтун [3], Ю.Л. Іванілов [4], А.Е. Стукалов [5], І.А. Бурмака [6].

Роботи П. Лейси [7], А.В. Антонова, Е.Ю. Галивеца, В.А. Чепурка, А.Н. Черняєва [8], Д.Н. Шевченка [9], А.Б. Корчагіна [10] присвячені дослідженням щодо застосування методів на основі дерева відмов.

Окремо необхідно виділити спеціалізовані міжнародні нормативні джерела щодо питань безпеки на морських судах [11] та стандарту з використання математичного апарату дерева відмов [12].

Постановка завдання. Мета статті – вдосконалення процесу визначення несправностей електрообладнання на судні з урахуванням їхніх особливостей на основі використання дерева відмов.

Виклад основного матеріалу дослідження. Суднове електрообладнання – сукупність апаратів і приладів накопичення, перетворення і передачі електроенергії. Загалом комплекс складається з ряду механізмів: розподільних щитків, трансформаторів, проводів, регуляторів, освітлювальних пристроїв, а також механічних та електричних керуючих систем.

У практиці експлуатації електрообладнання важливе значення має класифікація несправностей через те, що вона сприяє правильному визначенню причин відмов та їх усуненню. Аналіз несправностей електрообладнання судна показує, що приблизно 40–50% всіх відмов відбувається через помилки, що допущені під час конструювання, 20% – через помилки в процесі виробництва, 30% – у результаті неправильної експлуатації, 5–10% – через природне зношування та старіння (рис. 2).

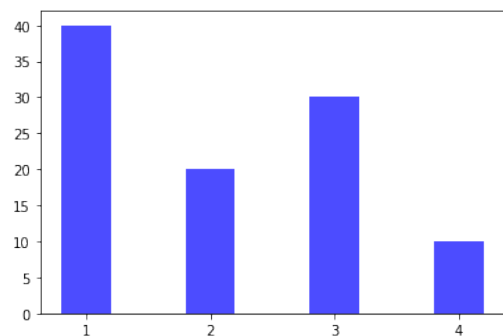


Рис. 2. Порівняльний аналіз причини виникнення несправностей електрообладнання судна:

1 – через помилки, що допущені під час конструювання; 2 – через помилки в процесі виробництва; 3 – в результаті неправильної експлуатації; 4 – через природне зношування і старіння.

Для побудови дерева відмов електрообладнання судна представимо класифікацію видів несправностей, що умовно наведена на рис. 3.

Надалі побудова дерева відмов ґрунтується на видах відмов, що визначаються внаслідок їх появи.

Класифікація станів електрообладнання судна у разі наявності або відсутності несправностей визначається такими підмножинами видів технічного стану:

- ω_c а ω_{nc} справний та несправний;
- ω_p а ω_{np} працездатний та непрацездатний;
- ω_f а ω_{nf} правильно та неправильно функціонуючий.

Відмова(несправність) електрообладнання ω_e визначається як група станів відповідно до такого виразу:

$$\omega_e = \omega_{nc} \cap \omega_{np} \cap \omega_{nf} \quad (1)$$

Щоб відшукати й наочно уявити причинний взаємозв'язок із допомогою дерева відмов, необхідні елементарні блоки, що підрозділяють і зв'язують велику кількість подій. Є два типи блоків: логічні символи (знаки) і символи подій.

Логічні символи (знаки) пов'язують події відповідно до їх причинних взаємозв'язків. Позначення логічних знаків наведені в табл. 1. Значення логічних символів дерева відмов може мати один або кілька входів, але тільки один вихід або вихідну подію.

Логічний знак «І» (схема збігу). Вихідна подія логічного знаку І настає в тому випадку, якщо всі вхідні події з'являються одночасно. Події, вхідні по відношенню до операції І, повинні сформулюватися так, щоб друге було умовним по відношенню до першого, третє умовним по відношенню до першого і другого, а останнє – умовним до всіх попередніх. Крім того, одна з подій має бути пов'язана з появою вихідної події. Повна характеристика події не потрібна. Потрібно лише впорядкувати події так, щоб подія праворуч залежала від появи події ліворуч. Таким чином, поява вихідної події буде визначатися появою останньої події в ряду N-подій. Якщо є кілька причин, які повинні з'явитися одночасно, то зазвичай використовують операцію І.

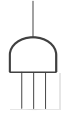




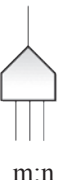
Логічний знак «АБО» (схема об'єднання). Вихідна подія логічного знаку АБО настає в тому випадку, якщо наявна будь-яка з вхідних подій. Події, вхідні по відношенню до операції АБО, повинні сформулюватися так, щоб вони разом вичерпували всі можливі шляхи появи вихідної події. Крім того, будь-яка з вхідних подій повинно призводити до появи вихідної події. Якщо будь-яка з причин призводить до появи вихідної події, слід використовувати операцію АБО.

Таким чином, для будь-якої події, що підлягає подальшому аналізу, спочатку розглядаються всі



Рис. 3. Класифікація видів відмов (несправностей) електрообладнання судна

Логічні символи дерева відмов

№	Символ	Назва	Сутність (причинний взаємозв'язок)
1		I	Вихідна подія відбувається, якщо всі вхідні події трапляються одночасно
2		АБО	Вихідна подія відбувається, якщо трапляється будь-яка з вхідних подій
3		Заборона	Наявність входу викликає наявність виходу тоді, коли відбувається умовна подія
4		Пріоритетне I	Вихідна подія трапляється, якщо всі вхідні події відбуваються в потрібному порядку зліва направо
5		Виключне АБО	Вихідна подія трапляється, якщо трапляється одна (але тільки одна) з вихідних подій
6		Голосування або вибірка	Вихідна подія трапляється, якщо трапляється m з n вхідних подій

можливі події, які є входами операцій АБО, потім входи операцій I. Це справедливо як для головної події, так і для будь-якої події, аналіз якої доцільно продовжити.

Шестикутник, що є логічним знаком заборони, використовується для представлення імовірнісних причинних зв'язків. Подія під логічним знаком заборони називається вхідною подією, тоді як подія, розташована збоку від логічного знаку, називається умовною подією. Умовна подія набуває форми події за умови появи вхідної події. Вихідна подія відбувається, якщо і вхідна, і умовна подія наявні. Тобто, вхідна подія викликає вихідну з імовірністю (зазвичай постійної) появи умовної події. Логічний знак заборони часто з'являється в тих випадках, коли подія викликається на вимогу. Він використовується головним чином для зручності й може бути замінений логічним знаком I.

«Пріоритетне I». Подія на виході з'являється, якщо події на вході відбуваються в певній послідовності (зліва направо). Поява подій на вході

в іншому порядку не викликає події на виході. Розглянемо, наприклад, систему електроживлення судна, що має основне й резервне джерело живлення, наприклад, основний та резервний дизель-генератор. Резервне джерело живлення включається в роботу автоматично перемикачем, коли відмовляє основне джерело. Живлення відсутнє, якщо:

- відмовляють як основний, так і резервний джерела;
- спочатку виходить з ладу перемикач, а потім відмовляє основне джерело живлення.

Передбачається, що, якщо за відмовою перемикача настає відмова основного джерела, це не призведе до втрати живлення за умови нормальної роботи резервного джерела. Логічний символ «пріоритетне I» може бути представлений поєднанням «логічного I» та знаку заборони, а отже, ці логічні знаки є еквівалентом «логічного I». Умовною подією для «логічної заборони» є те, що вхідні події логічного знаку I відбуваються в певній послідовності (рис. 4).



Рис. 4. Приклад відмови системи електроживлення судна з використанням дерева відмов

Логічний символ «виключне АБО» описує ситуацію, в якій подія на виході з'являється, якщо одна з двох (але не обидві) події відбуваються на вході. Як приклад розглянемо ту ж систему електроживлення судна на основі двох дизель-генераторів. Часткова втрата потужності може бути представлена елементом «виключне АБО». Цей елемент може бути замінений комбінацією логічних елементів І та АБО (рис. 5). Зазвичай у дереві відмов уникають використання працездатних станів, таких як «генератор працює», оскільки вони значною мірою ускладнюють кількісний аналіз.

Логічний знак голосування m з n має n подій на вході, а подія на виході з'являється, якщо відбуваються щонайменше m з n подій на вході. Розглянемо відмову системи електроживлення судна, яка зберігає працездатність до відключення двох з трьох джерел живлення. Припустимо, що виключення системи відбувається тоді й тільки тоді, коли два з трьох джерел живлення вийшли з ладу. Таким чином, вимикання системи відбувається, якщо два або більша кількість контрольних приладів подадуть помилковий сигнал на вимикання, тоді як система перебуває в нормальному стані.

Якісний аналіз побудованого дерева відмов проводиться з використанням методу аналізу набору мінімальних перетинів. Сутність його полягає в тому, щоб знайти спосіб визначення можливих комбінацій відмов у роботі електроустаткування (мінімального короткого шляху), які призводять до виникнення небажаної події.

Серед переваг застосування методу дерева відмов виділимо такі:

- аналіз орієнтується на знаходження відмов;
- дає змогу показати в явному вигляді ненадійні місця;

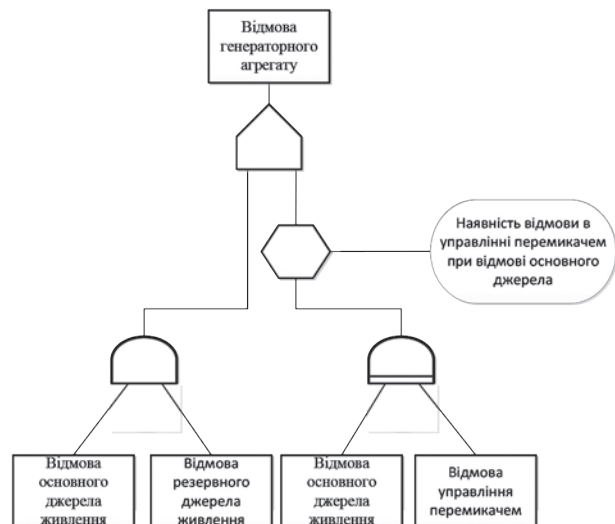


Рис. 5. Приклад відмови системи електроживлення судна з використанням розширеного дерева відмов

– забезпечується графікою та являє наочний матеріал для тієї частини фахівців, які беруть участь в обслуговуванні системи;

– надає можливість виконувати якісний або кількісний аналіз надійності системи.

Основні недоліки дерева відмов:

– важко врахувати стан часткової відмови елементів, оскільки за використання методу, як правило, вважають, що система знаходиться або в справному стані, або в стані відмови;

– труднощі в загальному випадку аналітичного рішення для дерев, які містять резервні вузли та відновлювані вузли з пріоритетами;

– дерево відмов описує систему в певний момент (зазвичай у сталому режимі), і послідовності подій можуть бути показані з великими труднощами, іноді це виявляється неможливим.

Висновки.

1. Систематизовано проблеми, здійснена класифікація видів несправностей електрообладнання судна, що сприяє правильному визначенню причин відмов та їх усуненню, що своєю чергою дало змогу застосовувати метод дерева відмов.

2. Обґрунтовано доцільність та розроблено пропозиції щодо формального представлення процесу виявлення несправностей електрообладнання судна на основі дерева відмов.

3. Надалі дерево відмов може бути використано для аналізу чутливості окремих подій до відхилень параметрів системи. Також можливе проведення аналізу дерева відмов із метою видачі рекомендацій, а саме, в яких напрямках повинні бути вжиті заходи для зниження ризику головної події.

Список літератури:

1. Молочкова И.Д. Экспертные системы в практике обслуживания и ремонта электрооборудования судов. *КиберЛенинка*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekspertnye-sistemy-v-praktike-obsluzhivaniya-i-remonta-elektrooborudovaniya-sudov/viewer> (дата звернення: 15.10.2021).
2. Терещенкова О.В. Анализ неисправностей судового электрооборудования. «*PERSPECTIVES OF SCIENCE AND EDUCATION*»: IV міжнар. науково-практ. конф., м. Карлові Вари, 2018. С. 443–449.
3. Ковтун Л.И. Мониторинг, упреждающее моделирование и ситуационный анализ аварийных процессов и мер противодействия для систем автоматизированного управления сложными комплексами машиностроения морской техники: программная разработка для ЭВМ. № 2010613335, от 20 мая 2010 г.
4. Иванилов Ю.Л. Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматизации : учебное пособие для вузов. Омск : Иртышский филиал НГАВТ, 2007. 208 с.
5. Стукалов А.Е. Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматизации : Методические указания к расчетно-графическим работам для студентов спец. 180404 / Сост. А.Е. Стукалов. Омск : Иртышский филиал НГАВТ, 2007. 16 с.
6. Бурмака И.А. Судовые энергетические установки и электрооборудование судов : учебник. Одесса : ОНМА, 2014. 136 с.
7. Лэйси П. Применение анализа дерева отказов для выявления и управления рисками в сфере оказания гуманитарных услуг, финансируемых государством. *Материалы 2-й Международной конференции по государственной политике и социальным наукам*. 2011.
8. Fault tree analysis in the R programming environment / A.V. Antonov et. al. 2018. Т. 18. № 1. С. 4–13. URL: <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2018-18-1-4-13> (дата звернення: 18.10.2021).
9. Шевченко Д.Н. Анализ динамического дерева отказов. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2011. № 2. С. 142–148.
10. Корчагин А.Б. Надежность технических систем и техногенный риск : учеб. пособие в 2 ч. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011. 140 с.
11. Международная Конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДМНВ-78), с изменениями, дополнениями, принятыми Комитетом по безопасности на море в 1995, 1997, 1998, 2000, 2004 гг. Одесса : Студия «Негоциант», 2005. 194 с.
12. Faulttree-analysis (FTA) IEC 1025:1990. Стандарт МЭК Анализ дерева неполадок, 1990 / пер. с франц., СИФ НТЦ ПБ-707. (ГОСТ Р 51901.13-2005 (МЭК 61025:1990). Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей).

Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Kolesnyk V.V., Tryshyn V.V. RESEARCH OF FEATURES OF FAULTS DETECTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT ON SHIPS BASED ON A FAULT TREE

The paper highlights the problem of continuous development of marine energy, automation, which affects the operation of electrical equipment. Yes, as the types of electrical failures of electrical equipment are numerous and often unpredictable. It is noted that in case of equipment failure, various methods are used to control and diagnose faults in electrical equipment. Under control in this case means detection of malfunction, and under diagnostics search of the failed knot of an element. As such methods of control and diagnostics, for example, methods on the basis of the analysis of a tree of failures or on the basis of use of knowledge bases of expert system can be used.

The article presents approaches to building a model for studying the characteristics of electrical equipment failures on a ship based on a failure tree. The problems are systematized, the classification of types of malfunctions of the ship's electrical equipment is carried out, which contributes to the correct determination of the causes of failures and their elimination and allowed to apply the method of failure tree. The expediency and proposals for the formal presentation of the process of detecting faults in the electrical equipment of the vessel on the basis of the failure tree are substantiated. In the future, the failure tree can be used to analyze the sensitivity of individual events to deviations of system parameters. It is also possible to analyze the failure tree in order to issue recommendations, namely, in which areas measures should be taken to reduce the risk of the main event.

The main advantage of the failure tree (compared to other methods) is that the analysis is limited to identifying only those elements of the system and events that lead to a particular system failure or accident. This method can also be used as a formal apparatus for formalizing the knowledge of experts in the development of an expert system of maintenance, control, diagnostics and repair of marine electrical equipment. The purpose of the article is to improve the process of determining the faults of electrical equipment on the ship, taking into account their features based on the use of the failure tree. Therefore, it is expedient to study this question at research of features of detection of malfunctions of the electric equipment.

Key words: *electrical equipment, malfunction, vessel, failure tree, classification, logical symbol.*