

УДК 629.5

Сергій Тараненко¹, Світлана Голубєва^{2*}

¹ Доцент, Кафедра електрообладнання та автоматики водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9320-2514>

² Старший викладач, Кафедра суднових енергетичних установок, допоміжних механізмів суден та їх експлуатації, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8285-7566>

* Автор, відповідальний за листування: glbvnu@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ «ДЕРЕВА ВІДМОВ» ЯК ЛОГІКО-ІМОВІРНІСНОГО МЕТОДУ АНАЛІЗУ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Незважаючи на успіхи в дослідженнях та розробці конструкцій сучасних електродвигунів для промислових підприємств різного призначення, зокрема суднові електродвигуни, досі не створено надійних методик для визначення причин їх відмов, а застосування на практиці відомих методик, у тому числі діагностики технічного стану двигунів, не лише вимагає великої трудомісткості та високої кваліфікації персоналу, але й у багатьох випадках фактично неефективні. Особливо це стосується важких експлуатаційних пошкоджень, що виникають при руйнуванні деталей і супроводжуються порушенням синхронізації їх поворотно-поступального та обертального руху. З іншого боку, виконане дослідження показує, що причини несправностей та відмов електродвигунів можуть визначатися і логіко-імовірнісними методами, у тому числі на основі аналізу дерева відмов, із залученням результатів досліджень різноманітних несправностей. Шляхом структурування ознак відмов було складено дерево відмов, що логічно описує причинно-наслідкові зв'язки між подією відмови і початковим пошкодженням, що викликало його, окремо по кожному з обраних для аналізу видів відмов, пов'язаних з важкими пошкодженнями електродвигунів досліджуваного типу. В результаті використання дерева відмов на практиці можливо визначити причини відмови електродвигунів та електродвигунів з автоматичними системами управління з достатньою достовірністю за мінімальними витратами часу.

Ключові слова: електродвигун, несправність, відмова, логічний метод, дерево відмов, система управління.

Вступ. У 1961 р. Х.А. Уотсон із «Белл телефону» запропонував метод аналізу надійності з використанням дерева відмов для систем управління міжконтинентальними ракетами «Мінітмен». Надалі Д.Ф. Хаасль розвинув цю методику широкого кола технічних проблем, які стосуються надійності. Головна перевага дерева відмов у порівнянні з іншими методами – аналіз обмежується виявленням тільки тих елементів системи та подій, що призводять до даної конкретної відмови системи чи аварії [1].

Щоб відшукати і наочно представити причинний взаємозв'язок за допомогою дерева відмов, необхідні елементарні блоки, які підрозділяються і зв'язують велику кількість подій.

У проведенні аналізу дерева відмов реалізовано дедуктивний метод (причини-наслідки), що дає найбільш серйозні можливості щодо пошуку кореневих причин подій для статичних

систем, оскільки дає наочну і докладну схему взаємозв'язків елементів інфраструктури та подій, що впливають на їх надійність.

Використання дерева відмов полягає в такому[2]:

аналіз орієнтується на знаходженні відмов;

дає змогу виявити ненадійні місця;

забезпечується графікою і є наочним матеріалом для тієї частини інженерно-технічних фахівців, які беруть участь в обслуговуванні системи;

дає можливість виконувати якісний або кількісний аналіз надійності системи;

дає можливість фахівцям по черзі зосереджуватися на окремих конкретних відмовах системи;

забезпечує глибоке уявлення про поведінку системи і проникнення в процес її роботи;

є засобом спілкування фахівців, оскільки вони представлені в чіткій наочній формі;

допомагає дедуктивно виявляти відмови;

дає конструкторам, користувачам та керівникам можливість наочного обґрунтування конструктивних змін або встановлення ступеня відповідності конструкції системи заданим вимогам і аналізу компромісних рішень;

полегшує аналіз надійності складних систем тощо.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Метод аналізу за допомогою дерева відмов є найефективнішим для усунення причин відмов. Дерево відмов (аварій, подій, наслідків небажаних подій та ін.) лежить в основі логіко-імовірнісної моделі причинно-наслідкових зв'язків відмов системи (як виду прояву небезпеки) з відмовами її елементів та іншими подіями (впливами). При аналізі виникнення відмови системи (події) подія представляється послідовністю і комбінацією порушень і несправностей, і таким чином вона є багаторівневою графологічною структурою причинних взаємозв'язків, отриманих в результаті простеження динаміки розвитку небезпечних ситуацій у зворотному порядку, щоб знайти можливі причини їх виникнення.

Метод дерева відмов, як і будь-який інший, має певні переваги та недоліки. Так, наприклад, метод дає уявлення про поведінку системи, але вимагає від фахівців з надійності глибокого розуміння системи та конкретного розгляду щоразу лише однієї певної відмови; допомагає дедуктивно виявляти відмови; дає конструкторам, користувачам та керівникам можливість наочного обґрунтування конструктивних змін та аналізу компромісних рішень; дозволяє виконувати кількісний та якісний аналіз надійності; полегшує аналіз надійності складних систем. Водночас реалізація методу потребує значних витрат коштів та часу.

Крім того, отримані результати важко перевірити і важко врахувати стан часткової відмови елементів, оскільки при використанні методу, як правило, вважають, що система знаходиться або у справному стані, або в стані відмови. Суттєві труднощі виникають і при отриманні в загальному випадку аналітичного рішення для дерев, що містять резервні вузли та відновлювані вузли з пріоритетами, не кажучи вже про значні зусилля, які потрібні для охоплення всіх видів множинних відмов [3].

У літературі на даний час застосовують метод дерева відмов для структурного аналізу об'єктів [4,5,6]. Аналіз дерева відмов є поширеним методом моделювання надійності складних технічних систем, які зазвичай виконуються на стадії їх проектування [7].

Аналіз наукових джерел щодо діагностики технічного стану складних технічних систем вказує на поширене використання так званого «дерева відмов». В цьому дереві візуалізуються та систематизуються причинно-наслідкові зв'язки між відмовами технічних систем. Таке широке використання дерева відмов пов'язане в тому числі і з підвищенням ефективності технічних систем, а отже може бути застосовано і для аналізу відмов судових електродвигунів та судових електродвигунів з автоматичними системами управління. Очевидно, що відпрацьовані методики побудови дерева відмов можуть привести до поліпшення процесу

прийняття рішень щодо усунення несправностей та оптимізації інтелектуальних систем управління.

Мета і завдання дослідження. Розробка методики логічного визначення причин несправностей та відмов електродвигунів під час їх експлуатації, у тому числі з автоматичними системами управління, що застосовується не лише фахівцями експертного рівня, а й середньої кваліфікації.

Для досягнення поставленої мети використано логіко-імовірнісний метод аналізу дерева відмов. Для цього потрібно побудувати дерево відмов і оцінити його, а потім треба вжити відповідних заходів, щоб усунути чи зменшити причину відмов і, таким чином, уникнути зупинки установок. Результати розрахунків впливу та щільності відмов можуть бути використані при проектуванні та експлуатації суднових електричних приводів.

Матеріали та методи дослідження. Для вирішення завдання було застосовано метод аналізу дерева відмов (Fault Tree Analysis – FTA) – це багаторівнева графологічна структура (граф) причинних взаємозв'язків у системі, отриманих внаслідок простеження небезпечних ситуацій, щоб знайти можливі причини їх виникнення. На рис. 1 наведена схема побудови дерева відмов [2].

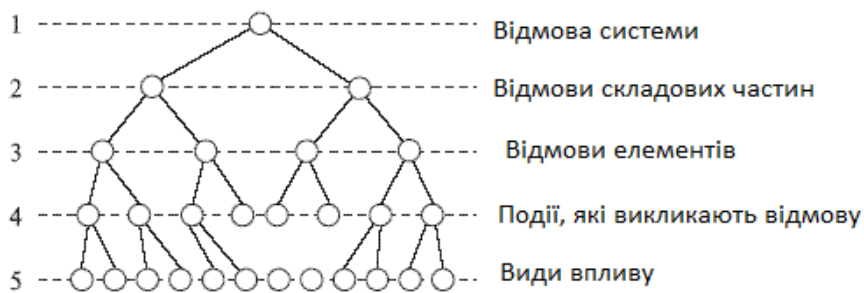


Рис. 1. Схема побудови дерева відмов

Побудова дерева відмов електродвигуна, що розглядається, була виконана в кілька послідовних наближень [8]:

- 1) визначення можливих джерел, причин та ознак несправностей для даного об'єкта;
- 2) деталізація та структурування ознак та причин відмов за виділеними блоками (вузлами) об'єкта з їх докладним описом;
- 3) складання прямого дерева відмов об'єкта з основних причин несправностей.

Слід зазначити, що даний вид логічного аналізу не передбачає будь-яких розрахунків ймовірності відмови, як це зазвичай прийнято при оцінці надійності об'єктів, що проектуються, – апіорі передбачається, що такий аналіз вже був виконаний розробником при проектуванні об'єкта. Тоді, якщо припустити, що в експлуатації відмова вже трапилася, основним завданням логічного аналізу дерева відмов буде не виведення формул для розрахунку ймовірності виникнення, а логічний пошук самої причини відмови, що вже відбулася [7].

Побудова логічного графа дерева відмов електродвигуна. Асинхронні двигуни (АД) становлять до 80% всього електричного навантаження судна. При цьому асинхронне навантаження можна поділити на дві основні групи. Перша група, підключена до розподільного щита, є двигунами приводів, що обслуговують головну енергетичну установку, судову електростанцію та невеликий ряд механізмів різного призначення. Друга група, що позначає потужні приводи баластових насосів, станцій гідравліки та вантажних насосів. Електродвигуни другої групи значно відрізняються від двигунів першої групи за своїми параметрами, але основні причини виходу з експлуатації АД однакові.

Трифазні АД є найбільш масовою продукцією електромашинобудування, проте їх надійність недостатня. Основним видом відмови суднових електродвигунів є пошкодження його обмотки, що потребує капітального ремонту [9].

Дерево відмов АД представлено на рис. 2, в якому показані відмови чотирьох основних елементів, відмова, одного з яких, згідно з деревом, веде до відмови АД. Дуже цікавою виявляється побудова дерева відмов для автоматизованих електроприводів. Перспективним виявляється використання частотного регулювання. На рис. 3 – 5 показано коротке дерево відмов АД з перетворювачами частоти (ПЧ), самого ПЧ та системи управління (СУ) АД з ПЧ.

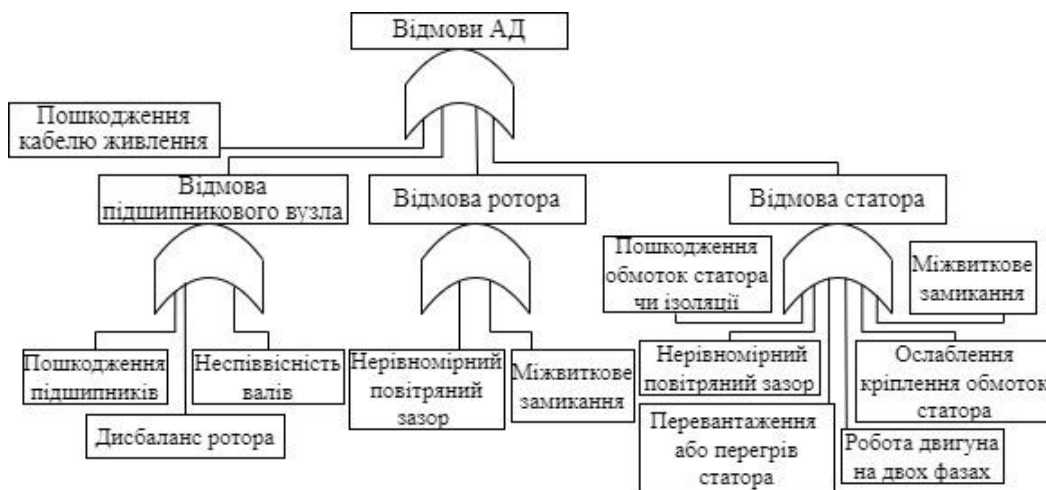


Рис. 2. Дерево відмов АД

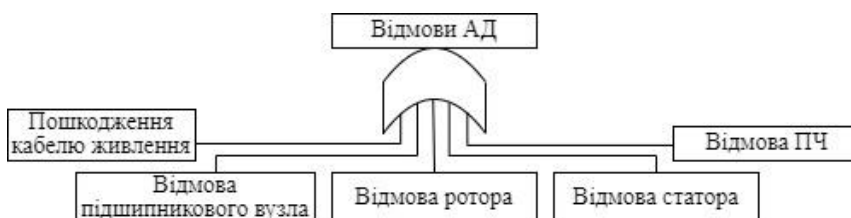


Рис. 3. Дерево відмов АД с ПЧ



Рис. 4. Дерево відмов ПЧ

Слід зазначити, більшість достовірних даних про відмови можна отримати лише експертним шляхом.

Виконаний аналіз підтверджує висновок, що зі збільшенням кількості елементів досліджуваної системи її загальна надійність неминуче знижується. Тобто, загальна ймовірність відмови СУ АД з частотним управлінням буде вищою за ймовірність відмови СУ АД з нерегульованими механізмами. Завдання в цьому випадку полягає в тому, щоб звести цю різницю до мінімуму, підвищити надійність перетворювача частоти в існуючих умовах роботи на судах, а також знизити його вплив на інші елементи системи.

Перетворювачі частоти на судах використовують для живлення та управління електродвигунами гребних електричних установок (ГЕУ), суднових електроприводів, технологічних механізмів та встаткування та ін.

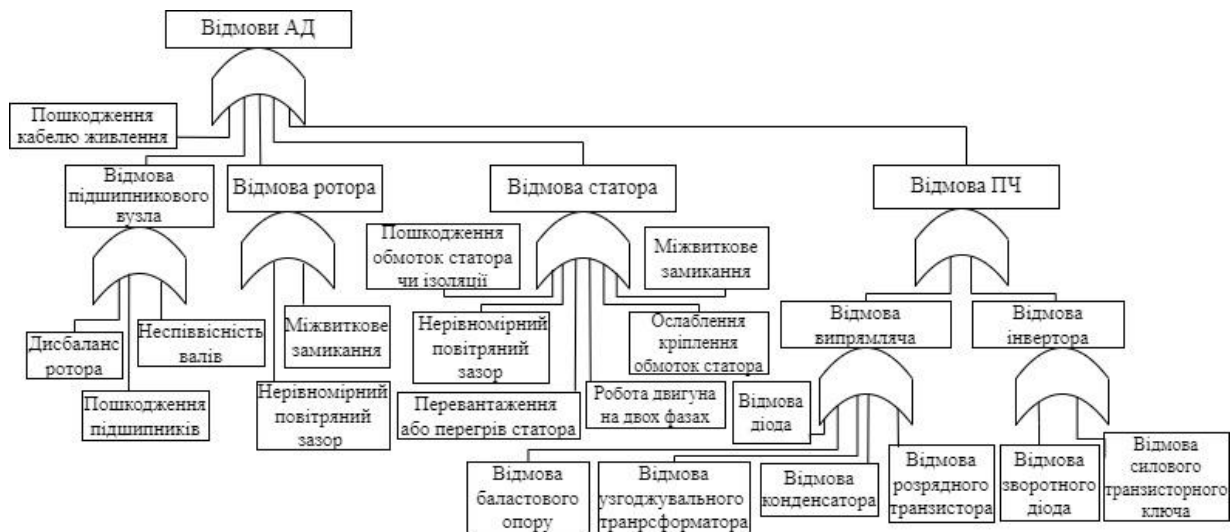


Рис. 5. Дерево відмов СУ АД з ПЧ

На рис. 6, а представлено дерево відмов, характерне для суднових насосів (зокрема баластних, вантажних насосів), виконаних за існуючою схемою, не оснащених ПЧ. У разі виконання за системою ПЧ-АД дерево відмов набуває вигляду, представленого на рис. 6, б. Аналогічні дерева відмов можна отримати інших механізмів з електродвигунами на судах.

Під час проведення вантажних операцій та при русі судна для попередження виникнення небезпечних ситуацій використовуються автоматичні системи баластування та кренування. Баластна система призначена для прийому в цистерни водяного баласту, перекачування і видалення його з судна з метою зміни осадки і остійності судна. При проведенні баластних операцій виникає низка проблем як технічного, так і екологічного характеру.

Таким чином, питання підвищення ефективності функціонування устаткування для прийняття та обробки баластних вод є актуальним, так само, як і раціональний вибір відповідного обладнання при проектуванні або модернізації суден.

При проведенні операцій зміни баласту найбільш відповідальною ланкою є саме баластний насос, від ефективності функціонування якого в значній мірі залежить час проведення баластних операцій. Проведені дослідження показали, що подача баластного насоса може змінюватися в широких межах і при збільшенні призводити до значного зростання споживаної потужності.

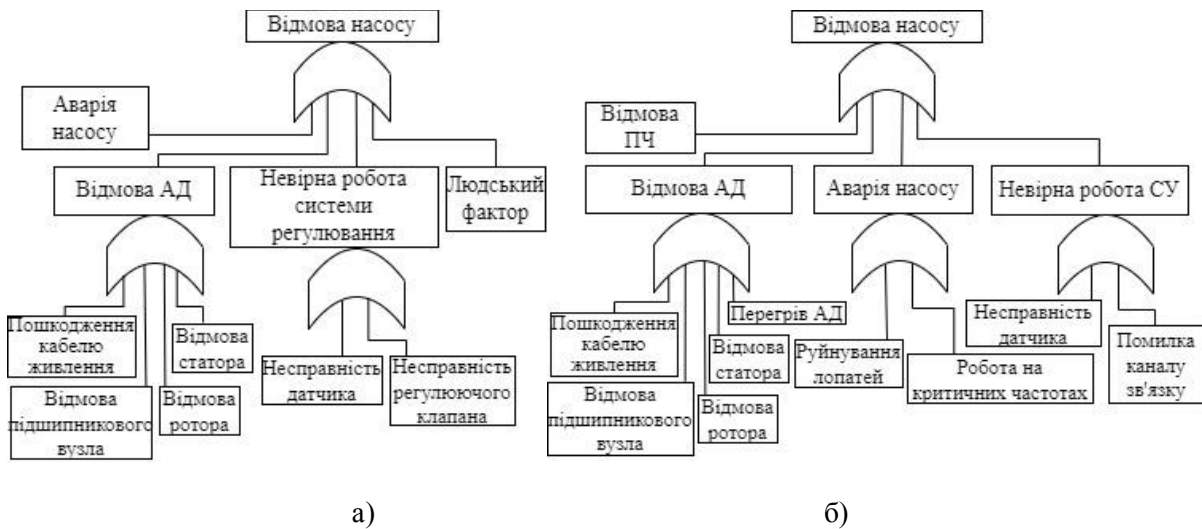


Рис. 6. Древа відмов мережевого, рециркуляційного насосів

без частотного регулювання (а) та оснащених частотно-регульованим електроприводом (б)

Підвищення ефективності функціонування насосу можливе за рахунок впровадження керованого електроприводу, в якому регульованим параметром є максимальний натиск рідини. Як регульований електропривод баластного насоса передбачається використання електроприводу з живленням від частотних перетворювачів фірми Stromberg [10].

Стабілізація напору рідини здійснюється за рахунок того, що при зменшенні тиску напір в мережі збільшується, а частота обертання електродвигуна насоса в результаті дії системи регулювання зменшується.

Частотне управління приводом насоса баластної системи забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, а механічні характеристики мають високу жорсткість [11].

Застосування пристроїв плавного регулювання частоти обертання двигунів в насосних агрегатах, крім економії електроенергії, дає ряд додаткових переваг, а саме: плавний пуск і зупинка двигуна виключає шкідливий вплив перехідних процесів (типу гідравлічний удар) в напірних трубопроводах і технологічному обладнанні; пуск двигуна здійснюється при струмі, обмеженому на рівні номінального значення, що підвищує довговічність двигуна, знижує вимоги до потужності мережі і комутуючої апаратури; можлива модернізація діючих технологічних агрегатів без заміни насосного обладнання [12].

Розглянемо аналогічним способом дерево відмов двигунів постійного струму (ДПС) (рис. 7) та тиристорного перетворювача (рис. 8).

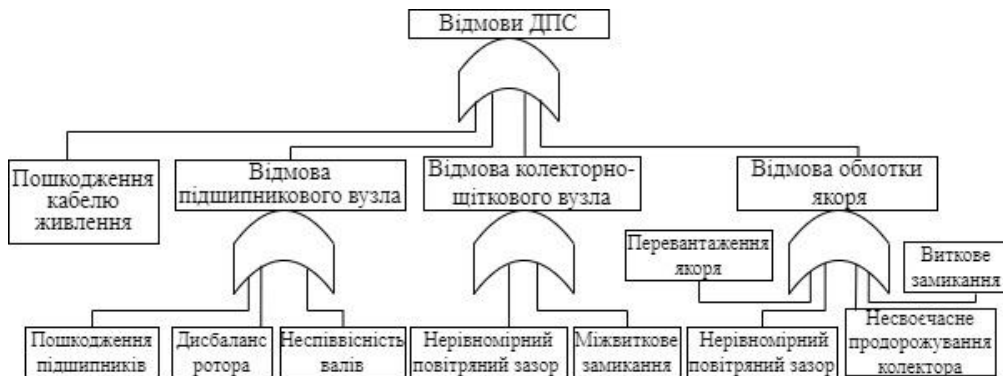


Рис. 7. Дерево відмов ДПС



Рис. 8. Дерево відмов тиристорного перетворювача електроприводу

Вибір такого напрямку пояснюється такими причинами:

основну частку вартості ЕП становить вартість електродвигуна і силових напівпровідникових елементів, тоді як заміна лише системи управління має дати швидкий економічний ефект за рахунок збільшення надійності і поліпшення якості регулювання;

двигуни постійного струму та основна частина силових тиристорних блоків не виробили свій ресурс і можуть перебувати в експлуатації.

Побудуємо дерево відмов у разі управління ДПС за допомогою тиристорного перетворювача (ТП) (рис. 9).

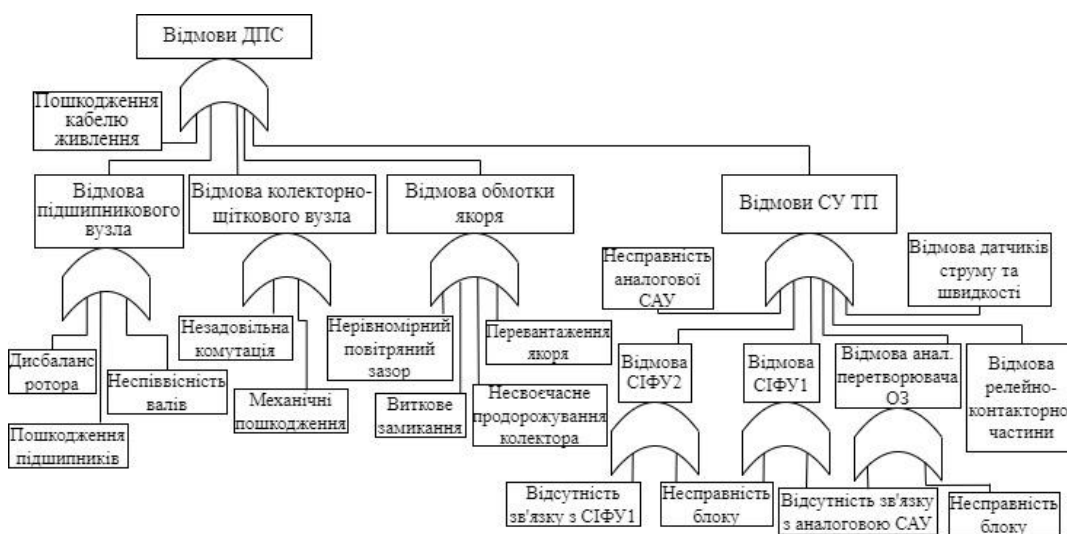


Рис. 9. Дерево відмов ДПС з ТП

Висновки. Залежно від конкретних цілей аналізу дерева можуть бути побудовані для будь-яких видів відмов – первинних, вторинних та ініційованих відмов.

Метод аналізу дерева відмов сприяє ретельному аналізу причин відмов технічних систем та вироблення заходів, найбільш ефективних для їх усунення. Такий аналіз проводять кожного періоду функціонування, кожної частини чи системи загалом.

Розроблено дерева відмов для АД та ДПС, а також їх систем управління, що дозволяє у явному вигляді визначати вразливі елементи двигунів та модернізувати їх. Дерева відмов мають наочність, що робить їх зручним і надійним інструментом у роботі.

На основі оцінки дерева відмов можна визначити появу події, яка може призвести до небажаного порушення роботи. Потрібно побудувати дерево відмов та оцінити його, а потім треба вжити заходи, щоб усунути чи зменшити причину відмов і, таким чином, уникнути зупинки установок.

Подальші дослідження в розробці методик визначення причин несправностей логічними методами можуть бути спрямовані на відпрацювання структури логічних графів для охоплення ширшого спектра можливих несправностей та відмов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Санталова Г.О. Безпека життєдіяльності: метод. вказів. до організації самост. роботи ст. усіх спец. ден. та заоч. форм навч. Краматорськ: ДДМА, 2014. 48 с.
2. Копей Б.В., Копей В.Б., Мартинець О.Р., Стефанишин О.І., Стефанишин А.Б. Використання «дерева відмов» як методу структурного аналізу штангової насосної установки. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, 2013. № 2(47). С. 62-71.
3. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М.: Мир, 1984. 318 с.
4. FTA. Дерево отказов, как метод структурного анализа. URL: <https://inlnk.ru/NDMjxP> (дата звернення: 28.10.2022).
5. Техническая диагностика механического оборудования/ В.А. Сидоров и др. Донецк: Новый мир, 2003. 125 с.
6. Zhanyu Ge. Statistical analysis of sucker rod pumping failures in the Permian basin: thesis in Petroleum Engineering. Texas Tech University. Texas, 1998. 156 p.
7. Хрулев А.Э., Клименко В.Г. Особенности построения и применения логических методов поиска причин отказов поршневых двигателей внутреннего сгорания в эксплуатации. Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2020. № 7(167). С. 146-157.
8. Хрулев А.Э. Использование логико-вероятностных методов для определения причин отказов турбокомпрессоров в эксплуатации ДВС. Автомобиль и электроника. Сучасні технології, 2019. № 16. С. 5-18. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2019.16.0.5>.
9. Тараненко С.В., Голубева С.М. Аналіз показників надійності суднових електродвигунів, що використовуються у сучасному судновому обладнанні. Водний транспорт, 2021. № 2(33). С. 5-12. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.2.33.01>.
10. Аврамов О.С., Колебанов О.К. Система управління баластними насосами контейнеровоза CMG CMA HERODOTE. // Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства: Матеріали VIII Всеукраїнської студ. наук. конф. м. Херсон, 22 лист. 2018 р. Херсон: Видавництво ХДМА, 2018. Том. 2. С. 11-13.
11. Seascope BWMS Ballast Water Treatment System. URL: <https://inlnk.ru/BpLJL1> (дата звернення: 28.10.2022).
12. Бруд А.С., Колебанов О.К. Дослідження можливості застосування електроприводу для модернізації вантажної системи танкера. Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства: Матеріали VIII Всеукраїнської студ. наук. конф. м. Херсон, 22 лист. 2018 р. Херсон : Видавництво ХДМА, 2018. Том. 2. С. 48-50.
13. Губаревич О.В., Голубева С.М. Аналіз методів діагностики технічного стану ізоляції асинхронних двигунів. Наукові праці Донецького національного технічного університету, 2019. №1(21). С. 55-63. <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2019-1-55-63>.
14. Кравченко В.М., Сидоров В.А. Визуальное диагностирование механического оборудования: підручник. Донецк: ООО Юго-Восток, ЛТД, 2004. 120 с.
15. Чупейкина Н.Н., Удодова Э.О. Виды отказов асинхронных двигателей, их признаки, причины и методы устранения. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006. №10. С. 284-329.

REFERENCES

1. Santalova, H.O. (2014). Bezpeka zhyttiediiialnosti [Life safety]. *Kramatorsk: DDMA* [in Ukrainian].
2. Kopey, B.V., Kopey, V.B., Martinets, O.R., Stefanishin, O.I. & Stefanishin, A.B. (2013). Vykorystannia «dereva vidmov» yak metodu strukturnoho analizu shtanhovoi nasosnoi ustanovky [Using the "fault tree" as a method of structural analysis of a sucker-rod pumping unit]. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch – Exploration and Development of Oil and Gas fields*, 2(47), 62-71 [in Ukrainian].
3. Dillon, B. (1984). *Inzhenernyie metodyi obespecheniya nadezhnosti system* [Engineering Methods for Ensuring System Reliability]. (Ch. Singh, Trans). Moscow: Mir [in Russian].
4. FTA. Derevo otkazov, kak metod strukturnoho analiza [Fault tree as a way of structural analysis]. *intellect.icu*. Retrieved from <https://inlnk.ru/NDMjxP>.
5. Sidorov, V.A., Kravchenko, V.M., Sedush, V.Ya. & Oshovskaya, E.V. (2003) *Tekhnicheskaya diagnostika mekhanicheskogo oborudovaniya* [Technical diagnostics of mechanical equipment]. Donetsk: Novyyiy mir [in Russia].

6. Zhanyu, Ge. (1998) Statistical analysis of sucker rod pumping failures in the Permian basin. *Thesis in Petroleum Engineering*. Texas: Texas Tech University.
7. Hrulev, A.E. & Klimenko, V.G. (2020) Osobennosti postroeniya i primeneniya logicheskikh metodov poiska prichin otkazov porshnevnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya v ekspluatatsii [Features of the construction and application of logical methods for searching for the causes of failures of reciprocating internal combustion engines in operation]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia – Aerospace engineering and technology*, 7(167), 146-157 [in Ukrainian].
8. Hrulev, A.E. (2019) Ispol'zovanie logiko-veroyatnostnykh metodov dlya opredeleniya prichin otkazov turbokompressorov v ekspluatatsii DVS [The use of logical-probabilistic methods to determine the causes of failures of turbochargers in the operation of internal combustion engines]. *Avtomobil y elektronika. Suchasni tekhnolohii – Automobile and electronics. Modern technologies*, 16, 5-18 [in Russian]. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2019.16.0.5>.
9. Taranenko, S.V. & Golubieva, S.M. (2021) Analiz pokaznykh nadiinosti sudnovykh elektrodvyhunyv, shcho vykorystovuiutsia u suchasnomu sudnovomu obladnanni [Analysis of the reliability indicators of marine electric motors used in modern ship equipment]. *Vodnyi transport – Water transport*, 2(33), 5-12 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.2.33.01>.
10. Avramov, O.S. & Kolebanov, O.K. (2018) Systema upravlinnia balastnymy nasosamy konteinerovoza CMG CMA HERODOTE [Ballast pump control system for container ship CMG CMA HERODOTE]. *VIII Vseukrainska studentska naukova konferentsiia «Suchasni problemy morskoho transportu ta bezpeka moreplavstva» – VIII All-Ukrainian Student Scientific Conference «Modern problems of maritime transport and safety of navigation»*. (Vol. 2), (pp. 11-13). Kherson: Vydavnytstvo KhDMA [in Ukrainian].
11. Seascope BWMS Ballast Water Treatment System. *elit-engine.ru*. Retrieved from <https://inlnk.ru/BpLJL1>.
12. Brud, A.S. & Kolebanov, O.K. (2018) Doslidzhennia mozhlivosti zastosuvannya elektropryvodu dlia modernizatsii vantazhnoi systemy tankera [Study of the possibility of using an electric drive for the modernization of the cargo system of a tanker]. *VIII Vseukrainska studentska naukova konferentsiia «Suchasni problemy morskoho transportu ta bezpeka moreplavstva» – VIII All-Ukrainian Student Scientific Conference «Modern problems of maritime transport and safety of navigation»*. (Vol. 2), (pp. 48-50). Kherson: Vydavnytstvo KhDMA [in Ukrainian].
13. Gubarevych O.V., Golubieva S.M. Analiz metodiv diahnozyky tekhnichnoho stanu izoliatsii asynkronnykh dyvhunyv [Analysis of methods for diagnosing the technical condition of the insulation of asynchronous motors]. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu – Scientific works of Donetsk National Technical University*, 1, 55-63 [in Ukrainian].
14. Kravchenko, V.M., & Sydorov, V.A. *Vyzualnoe dyahnostyrovanye mekhanicheskoho oborudovanyia [Visual diagnostics of mechanical equipment]*. Donetsk: OOO Yugo-Vostok, LTD [in Russian].
15. CHupejkina, N.N., & Udodova, E.O. Vidy otkazov asinhronnykh dvigatelej, ih priznaki, prichiny i metody ustraneniya [Types of failures of asynchronous motors, their signs, causes and methods of elimination]. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' – Mining Information and Analytical Bulletin*, 10, 284-329 [in Russian].

Sergey Taranenko¹, Svitlana Golubieva^{2*}

¹Associate Professor, Department of Electrical Equipment and Automation of Water Transport, The State University of Infrastructure and Technology, Kyrylivska street, 9, Kyiv, 04071, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9320-2514>

²Senior Lecturer, Department of Ship Power Plants, Auxiliary Machinery and Their Operations Transport, The State University of Infrastructure and Technology, Kyrylivska street, 9, Kyiv, 04071, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8285-7566>

* **The corresponding author:** glbvnu@gmail.com

USING THE FAULT TREE AS A LOGICAL-PROBABILISTIC METHOD FOR ANALYSIS OF SHIP ELECTRIC MOTORS

Despite the progress in research and development of designs of modern electric motors for industrial enterprises for various purposes, including marine electric motors, reliable methods for determining the causes of their failures have not yet been created, and the application of well-known methods in practice, including diagnosing the technical condition of engines, not only requires a lot of labor and highly qualified personnel, but in many cases it is actually inefficient. This is especially true of severe operational damage arising from the destruction of parts and accompanied by a violation of

the synchronization of their reciprocating and rotational motion. On the other hand, the performed study shows that the causes of malfunctions and failures of electric motors can also be determined by logical and probabilistic methods, including on the basis of fault tree analysis involving the results of research on various faults. By structuring the signs of failures, a failure tree was compiled that logically describes the cause-and-effect relationships between the failure event and the initial damage that caused it separately for each of the failure modes selected for analysis associated with severe damage to the electric motors of the type under study. As a result of using the fault tree in practice, it is possible to determine the causes of failure of electric motors and electric motors with automatic control systems with sufficient reliability and minimal time.

Keywords: *electric motor; malfunction; refusal; logical method; fault tree, control system.*