

УДК 656.25:004.421.2

Н. В. МАЛОВІЧКО^{1*}

^{1*}Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта n.v.malovichko@ust.edu.ua, ORCID 0009-0004-4093-9212

Розробка методики пошуку відмов в електричній централізації з використанням орієнтованих дерев

Мета. Ця робота спрямована на зменшення витрат часу на локалізацію відмов у постовій частині електричної централізації релейного типу. **Методика.** Для досягнення поставленої мети було проаналізовано способи пошуку відмов та методи, які застосовують для їх реалізації. З'ясовано, що у зв'язку зі складністю процесу визначення ймовірності відмови для кожного елемента релейної частини системи централізації, методи пошуку відмов, які використовують у наш час, є недосконалими та малоефективними. Запропоновано використовувати алгоритми пошуку відмов у вигляді орієнтованих дерев та розглянуто особливості побудови орієнтованих графів у вигляді дерева. **Результати.** Створено дерево для пошуку відмови в схемі штучного розмикання секцій маршруту і на його прикладі відображено шляхи вдосконалення алгоритмів пошуку за допомогою об'єднання графів для різних відмов у загальне дерево та використання спрощення дерев шляхом поглинання вершин. Також наведено можливості використання алгоритмів Крускала та Прима для визначення оптимальних шляхів пошуку в загальному дереві. Для розв'язання цієї задачі розглянуто можливість використання коду Прюфера під час відображення вузлів та ваги кожного ребра дерева в цифровій формі. **Наукова новизна.** Уперше розроблено методику визначення оптимальних шляхів пошуку відмов у постовій частині електричної централізації з використанням орієнтованих дерев, що дозволяє скоротити час локалізації відмов та обґрунтувати виявлення точок установлення контрольних датчиків для створення автоматизованої системи контролю. **Практичне значення.** Використання запропонованої методики дозволяє визначати оптимальні шляхи пошуку відмов, створювати на базі комп'ютера поради для прискорення роботи електромеханіки під час пошуку відмови, виявити місця встановлення датчиків контролю в процесі розробки автоматичної системи контролю та фіксувати реальні затрати часу на пошук відмов обслуговувальним персоналом.

Ключові слова: алгоритм пошуку відмов; кореневе дерево; граф; зменшення часу затримки поїздів; визначення оптимального шляху; штучне розмикання секцій

Вступ

Підвищення рівня безпеки залізничних перевезень згідно з транспортною стратегією України є одним із пріоритетних завдань під час розробки, впровадження та обслуговування систем залізничної автоматики [8]. Ефективність роботи залізничного транспорту в цілому та продуктивність перевезень значною мірою залежать від швидкості обробки рухомого складу на станціях. При цьому ціна кожної затримки поїзда, пов'язаної з відмовою засобів автоматичної централізації, із підвищенням інтенсивності та швидкості руху поїздів із кожним днем буде зростати. Під час побудови та експлуатації нових мікропроцесорних систем централізації на залізничних станціях процес пошуку та усунення відмов значно спрощується, оскільки в системах такого типу вбудовані підсистеми

самоконтролю та діагностування [2]. Мікропроцесорні системи дозволяють навіть контролювати якість технічного обслуговування з боку персоналу та фіксувати затрати часу на цю процедуру [9]. Водночас сьогодні локалізація відмов у релейних системах є доволі складним процесом, який потребує великих затрат часу. Сучасну техніку контролю та діагностування систем із релейною елементною базою реалізують в основному тільки для контролю елементів релейного захисту [7], а розробку комплексів контролю стану елементів системи, яка повністю складається з релейних компонентів, практично не ведуть, оскільки такі системи в наш час уже практично не розробляють. Проте на залізницях України більше ніж 95 % станцій обладнані саме такими системами, і тому розробка методів пошуку відмов у системах, де

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

відсутній автоматичний контроль, є актуальним завданням. Ця робота присвячена розробці методики локалізації відмов у релейних системах централізації шляхом побудови орієнтованих дерев пошуку відмов та особливостям об'єднання окремих дерев пошуку в загальну структуру.

Мета

Основною метою цієї роботи є зменшення витрат часу на локалізацію відмов у постовій частині електричної централізації релейного типу шляхом розробки методики фіксації відмов із використанням побудови орієнтованих дерев пошуку.

Створення алгоритму дій обслуговувального персоналу під час пошуку відмови у вигляді орієнтованих дерев дозволить значно спростити процес виявлення відмови певного типу, без наявності глибоких знань із принципів роботи електричної централізації з боку працівників. Під час створення окремих дерев пошуку для кожного типу відмови та занесенні їх до загальної бази з'являється можливість їх поєднання в загальну структуру пошуку, що своєю чергою дасть змогу поєднати дерева та створити оптимальний шлях для складних та комбінованих відмов. За умови подальшого накопичення бази пов'язаних дерев є можливість спрощення алгоритмів пошуку за рахунок вилучення несуттєвих та тупикових гілок, а також використання для оптимізації дерев штучних нейронних мереж [4].

Методика

У системах електричної централізації релейного типу контроль апаратури залежно від моменту фіксації відмови поділяють на два типи. Перший тип контролю виявляє пошкодження в момент їх виникнення. Це такі пошкодження, як втрата контролю крайнього положення стрілки, перекриття сигналів, відмова апаратури рейкових кіл і т. д. Для організації постійного контролю необхідне використання великої кількості апаратури, тому системи централізації контролюють тільки незначну кількість найбільш відповідальних об'єктів. Другий тип контролю виявляє пошкодження в момент використання цих об'єктів для операцій зі

встановлення та відміни маршрутів. Причому понад 90 відсотків усієї постової апаратури контролюють саме таким чином. З цієї причини в разі виникнення відмови в обслуговувального персоналу залишається обмаль часу на виявлення та ліквідацію відмови без створення затримок у поїзній роботі станції.

Для швидкого пошуку елемента, який відмовив у релейній частині електричної централізації, обслуговувальний персонал повинен володіти великим багажем знань та навичок щодо роботи з такими системами, зокрема вміти користуватись вимірювальними приладами, принциповими та монтажними схемами, знати принципи функціонування системи, послідовність роботи окремих елементів та розміщення апаратури в релейній.

У наш час на залізницях України спостерігається значна нестача таких висококваліфікованих працівників, і пошук відмови в разі її виникнення затягується. Також на час пошуку впливає той факт, що в разі виникнення такої проблеми обслуговувальний персонал може бути відсутній на станції, і до часу існування відмови додається час на прослідкування електро-механіка до релейного приміщення цієї станції. З урахуванням усього переліченого і того, що час на пошук місця пошкодження в релейній частині електричної централізації значно більший за час ліквідації відмови після її виявлення, розроблено різні способи ліквідації відмов для пришвидшення цього процесу.

Зокрема, на залізницях України використовують три способи пошуку відмов. Перший спосіб базується на зовнішньому огляді елементів релейної техніки. Він найбільш простий у застосуванні, але водночас не дає можливості виявляти приховані відмови. Другим способом є послідовна заміна компонентів, що передбачає вилучення по черзі елементів, які використовують у колі, що пов'язане з цією відмовою, та заміну їх на працездатні елементи із запасу. Такий спосіб вимагає значних затрат часу для пошуку відмови у великих схемах, наприклад, встановлення маршруту на великих станціях, а оскільки час пошуку відмови є найбільш важливим фактором, який необхідно враховувати, цей спосіб не є ефективним. Крім того, в разі виникнення двох відмов у колі одночасно або за умови виходу з ладу працездатного елемента

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

в момент його встановлення замість непрацездатного цей метод виявити відмову не дозволяє. Третім способом є вимірювання, за допомогою яких визначають пошкоджений елемент. Під час застосування цього способу обслуговувальний персонал користується вимірювальними приладами, а відповідно, також витрачає значний час на пошук та локалізацію відмови.

З урахуванням зазначеного розроблено спеціальні методи пошуку відмов, за яких обслуговувальний персонал може користуватись одним, двома або усіма трьома способами, які дають змогу мінімізувати час локалізації відмови. Найпростіший із них – це метод послідовного перебору елементів. Він ґрунтується на послідовній перевірці всіх елементів кола. Його використання дає найменшу економії часу порівняно з іншими методами, тому зазвичай ним користуються лише в разі недостатньої кваліфікації обслуговувального персоналу.

Другий метод, який використовують на практиці доволі часто – це метод середньої точки за кількістю елементів в електричному колі. Цей метод зазвичай передбачає вимірювання, і перше вимірювання виконують посередині кола, у якому виникла відмова. За допомогою такого вимірювання визначають, у якій половині кола знаходиться елемент, що став непрацездатним. Оскільки в релейній частині електричної централізації через усе коло проходить електричний струм, то вимірювання часто проводять за допомогою вольтметра, і в разі виникнення перехідного опору визначають половину з несправним елементом. Після цього в частині, де зафіксовано несправність, вимірювання знову роблять посередині і повторюють таку процедуру, поки не доходять до елемента, що відмовив. Хоча цей метод і не є найбільш ефективним з точки зору економії часу, але на практиці його використовують найчастіше.

Третім методом пошуку відмов є метод перевірки від середньої точки за ймовірністю відмови елементів. Принцип методу полягає в тому, що під час першого вимірювання коло ділять навпіл не за кількістю елементів, які в нього входять, а за сумарною ймовірністю відмови цих елементів. Такий метод ефективно використовувати саме для релейних схем, оскільки ймовірність відмов елементів різних типів суттєво відрізняється. Метод дає кращу еконо-

мію за часом порівняно з методом середньої точки за кількістю елементів, але потребує від обслуговувального персоналу, крім умінь користуватися схемами та вимірювальними приладами, ще й знань щодо ймовірності відмови того чи іншого елемента. Тому цей метод на практиці використовують нечасто.

Четвертим методом, за допомогою якого виявляють відмови в релейних схемах електричної централізації, є метод інформаційних діаграм. Він базується на комбінації двох попередніх методів, при цьому створюють інформаційну діаграму, у якій прописують алгоритм пошуку відмови обслуговувальним персоналом у вигляді блок-схеми. Залежно від отриманих результатів вимірювань під час пошуку визначають шлях, яким рухається електромеханік для визначення відмови. Такий метод дозволяє отримати оптимальний результат із найменшими затратами часу. Проте побудова інформаційної діаграми є доволі складним процесом, оскільки вимагає досконалих знань щодо ймовірності відмови кожного елемента схеми. На сьогодні інформаційні діаграми розроблені в основному для пошуку відмов у підлогових пристроях, а також у деяких схемах постової частини. Наявні інформаційні діаграми не охоплюють і п'яти відсотків відмов елементів електричної централізації. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки алгоритмів пошуку для всіх можливих відмов постової частини електричної централізації та їх систематизації.

Для оптимізації процесу пошуку відмов у постовій частині електричної централізації розроблено методику формалізації алгоритму дій обслуговувального персоналу у вигляді графів. Як відомо з [5], систему електричної централізації в разі виникнення в ній відмови можна розглядати як систему з невизначеністю. Кожна процедура вимірювань або перевірки якогось з елементів системи цю невизначеність буде зменшувати, оскільки виключають один з елементів бази, знаходження елемента з несправністю стає більш імовірною подією. Таким чином, під час проведення вимірювань ентропія системи зменшується, і досягнення правильного результату залежить від того, яка кількість елементів була в початковій вибірці та скільки елементів уже перевірено.

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Зменшення невизначеності в результаті однієї перевірки можна виразити такою формулою:

$$\Delta H = -P \log_2 P - (1 - P) \log_2 (1 - P),$$

де P – імовірність виявлення відмови в результаті перевірки.

Із продовженням процедури перевірок, якщо елемент, що відмовив, не визначено, розрахунок ентропії виконують аналогічно, і відбувається процес її зменшення до моменту виявлення відмови. Проведення процедур виявлення ймовірностей відмов для кожного з елементів – доволі складний процес, який можна виконати, спираючись на статистику відмов пристроїв. Але тут також виникає ряд проблем, таких як невідповідність офіційної статистики реальним відмовам на станції, відсутність у статистичних даних розподілення відмов у релейній техніці за кожним з елементів схеми, наявність у статистичних даних відмов причина яких не виявлена, і т. под.

Зважаючи на вищеперелічене, прийнято рішення створювати порядок пошуку відмови у постовій частині системи електричної централізації на підставі експертних оцінок обслуговувального персоналу [14]. Згідно з цим принципом, для кожного типу відмови створюють оптимальний шлях пошуку і представляють це у вигляді графа. Представлення процедури пошуку відмов у вигляді графів зумовлене рядом особливостей цього процесу [10]. По-перше, у процедурі пошуку використовують ряд операцій які є досить різноманітними, таких як візуальний огляд об'єктів та ламп індикації, проведення вимірювань, натискання кнопок на пульті та ін. Задати їх математично та ввести в комп'ютер для аналізу найзручніше саме у вигляді графа. По-друге, у вигляді графів представляють саме дії обслуговувального персоналу під час пошуку відмови, і вони мають послідовну направленість, тобто періодичне повторювання одних і тих самих дій нераціональне, і представлення їх у вигляді орієнтованого графа без циклів є найбільш раціональним.

Під час проведення досліджень виявлено, що найкращі результати обробки та аналізу послідовностей дій персоналу для локалізації від-

мов отримуємо в разі представлення алгоритму у вигляді орієнтованого дерева.

Для пояснення наступних результатів роботи слід відзначити, що дерево – це граф без циклів [12, 13]. Вершину або початок дерева прийнято називати коренем, а дерево, відповідно, кореневим, якщо його направленість йде з однієї вершини. Вершина, яка за структурою дерева знаходиться вище, називається батьківською, а та, яка знаходиться нижче, називається дочірньою. Кожна вершина, окрім кореня, має одну батьківську вершину в дереві, а вершини, які не мають дочірніх, називають листям [11]. Під час побудови кореневих орієнтованих дерев можна на ребрах графа не вказувати направленість, оскільки рух по дереву можливий лише від коренів до листя, але для кращого сприйняття на рисунку направленість відображають.

Результати

Виконаємо побудову кореневого орієнтованого дерева для пошуку такої відмови, як несправність у схемі штучного розмикання секції в разі відміни маршруту. Для аналізу переваг та недоліків цього методу пошуку відмов можна використати будь-яку відмову в постовій частині системи електричної централізації. Вибір зазначеної відмови пов'язаний із невеликим розміром схеми і, відповідно, доволі скромним орієнтованим деревом, що описує цю процедуру. Під час пошуку відмов у схемах установлення маршруту великих станцій дерево може мати більше сотні вершин, і повний опис його роботи в публікації є досить проблематичним. Структура кореневого дерева пошуку відмови в схемі штучного розмикання маршруту складається з:

X_1 – натискають кнопку ИР блока СП секції, яка не розмикається;

X_2 – перевірка стану лампи. Лампа ИР блимає;

X_3 – перевірка стану лампи. Лампа ИР не світиться;

X_4 – необхідна заміна блока СП. Відмова в колі реле РИ;

X_5 – натискають кнопку ГИР;

X_6 – перевірка стану лампи. Лампа ИР продовжує блимати;

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

X_7 – перевірка стану лампи. Лампа ІР горить безперервно;

X_8 – перевірка наявності напруги на реле ГРИ1;

X_9 – очікування, поки пройде час уповільнення на розмикання секції в блоці витримки;

X_{10} – напруга на обмотці реле ГРИ1 відсутня. Вийшла з ладу кнопка ГИР;

X_{11} – напруга на обмотці реле ГРИ1 наявна. Необхідна заміна реле ГРИ1;

X_{12} – перевірка стану лампи. Лампа ІР продовжує горіти безперервно;

X_{13} – перевірка наявності напруги на реле ІВ;

X_{14} – перевірка стану лампи. Лампа ІВ блимає безперервно;

X_{15} – напруга на обмотці реле ІВ відсутня. Вийшов із ладу блок витримки часу;

X_{16} – напруга на обмотці реле ІВ наявна. Необхідна заміна реле ІВ;

X_{17} – необхідна заміна блока СП. Відмова в колі реле Р або реле З (рис. 1).

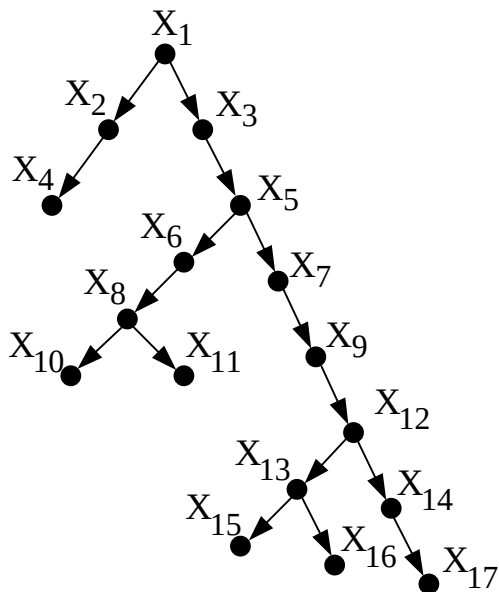


Рис. 1. Кореневе орієнтоване дерево пошуку відмови в схемі штучного розмикання секції маршруту

Fig. 1. Root-oriented fault tree in the artificial route section disconnection scheme

Коренем цього дерева, як і всіх інших дерев, які створюють для пошуку відмови, є перша дія електромеханіка під час початку пошуку, а листям дерева є результати пошуку. Вершини X_4 , X_{10} , X_{11} , X_{15} , X_{16} , та X_{17} є листками, які вказу-

ють на конкретний елемент, що відмовив у схемі. Причому вершини X_4 та X_{17} вказують на відмову блока СП, але різних його елементів, тому поєднані бути не можуть. Користуючись цим деревом пошуку, електромеханік може виявити типові відмови, які виникають у схемі, навіть без знань про принципи функціонування самої схеми з мінімальними затратами часу.

Наведене дерево наочно відображає процес пошуку відмови, а в разі застосування до нього властивостей направлених графів його можна зменшити. В алгоритмі видалення зайвих вершин направленої графа застосовують принцип: якщо вершина має всього одну дочірню вершину, то її можна видалити і замінити дочірньою [3]. Використавши цю властивість, ми можемо з дерева вилучити вершини X_2 , X_7 , та X_{14} , тим самим скоротивши дерево пошуку більше ніж на 10 %. Для дерев пошуку більш складних відмов така дія дасть зменшення в десятки вершин.

Під час створення методу пошуку відмов у вигляді орієнтованих дерев необхідно виконати такі кроки для ефективного його застосування. Спочатку необхідно, згідно з думками експертів, що обслуговують такі системи, побудувати орієнтовані дерева для найбільш розповсюджених відмов постової частини електричної централізації. Потім необхідно поєднати ці окремі дерева в загальну структуру, визначивши точки перетину графів та провівши перевірку на ізоморфізм та гомоморфізм [6], перевірити ці дерева на можливість спрощення та визначити остови в загальному дереві для кожного типу відмови. Далі для визначення найкоротшого шляху пошуку відмови можна скористатись алгоритмами Крускала або Прима. Також для автоматизації цих процесів можна назви вершин і дерев представити у вигляді чисел і скористатись кодом Прюфера, який розроблений для розв'язання таких задач [1].

Слід зазначити, що під час побудови дерев пошуку відмов головною характеристикою цього процесу залишається час, який витрачає працівник на локалізацію відмови. Ребра всіх дерев під час створення дерев пошуку вважають однаковими, тобто шлях між вершинами вважають рівнозначним за часом. Таке спрощення використовують з двох причин. По-

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

перше, усі операції пошуку відбуваються в будівлі поста електричної централізації і не мають великих відмінностей за часом переміщення до місця вимірювання чи фіксації стану об'єкта, та й самі типи перевірок зіставні за часом. По-друге, для визначення часу кожної операції необхідно провести експертне опитування за кожним із процесів, що є складною процедурою, і це завдання залишається перспективою майбутніх досліджень.

Наукова новизна та практична значимість

Уперше розроблено методику визначення оптимальних шляхів пошуку відмов у постовій частині електричної централізації з використанням орієнтованих дерев, що дозволяє скоротити час локалізації відмов та обґрунтувати визначення точок установлення контрольних датчиків для створення автоматизованої системи контролю.

Використання такої методики дозволяє:

- отримати оптимальні шляхи пошуку відмов у постовій частині системи на підставі обробки та мінімізації направлених графів у вигляді дерев за допомогою обчислювальної техніки;
- створити на базі обчислювальної машини, у яку закладені дерева пошуку відмов, програмника для обслуговувального персоналу, за підказками якого електромеханік навіть без знань про принципи функціонування системи зможе локалізувати відмову в найкоротший термін;

– виділити в загальних деревах пошуку відмов вершини, через які найчастіше проходять шляхи пошуку відмов, що відбуваються найбільш регулярно, та встановити в точках системи, які перевіряють ці вершини, датчики контролю. Таким чином, за мінімальних затрат є можливість створити автоматизовану систему пошуку відмов, де контроль головних вершин дерев відбувається автоматично, що дасть змогу розпочинати пошук відмови не від кореня дерева, а від вузлової вершини нижнього рівня, у дочірніх вузлах якої система локалізує відмову. Це дасть змогу зменшити час пошуку для відмов у постовій частині в декілька разів;

– вирішити проблему фіксації реальних затрат часу на пошук відмови, для розрахунку та оплати праці обслуговувального персоналу під час ліквідації пошкоджень. Кожна відмова має свій оптимальний шлях із мінімальною відстанню, рухаючись по якому працівник затратить саме мінімальний час на локалізацію відмови, а оптимальний шлях із часом, необхідним на його проходження, легко отримати з комп'ютера, у якому закладені орієнтовані дерева пошуку.

Висновки

Використання розробленої методики пошуку відмов у постовій частині електричної централізації на релейній елементній базі за допомогою орієнтованих дерев дозволить суттєво зменшити час на локалізацію відмови і, як наслідок, підвищити пропускну спроможність станцій та зменшити затримки в русі поїздів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрійчук В. І., Комарницький М. Я., Іщук Ю. Б. *Вступ до дискретної математики*. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 254 с.
2. Гаєвський В. В. *Удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі оперативної ідентифікації та локалізації порушень* : дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2021. 214 с.
3. Демченко Ф. О., Лістровий С. В., Луханін М. І., Семчук Р. В. *Теорія графів у задачах розподілу ресурсів*. Кн. 1: Алгоритми та методи обчислень. Харків : Нове слово, 2008. 120 с.
4. Добровська Л. М., Добровська І. А. *Теорія та практика нейронних мереж*. Київ : НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2015. 396 с.
5. Жураківський Ю. П., Полторак В. П. *Теорія інформації та кодування*. Київ : Вища школа, 2001. 255 с.
6. Капітонова Ю. В., Кривий С. Л., Летичевський О. А., Луцький Г. М. *Основи дискретної математики*. Київ : Наукова думка, 2002. 580 с.
7. Кутін В. М., Кутіна М. В., Ілюхін М. О. *Засоби діагностування релейного захисту та автоматики електроенергетичних систем*. Вінниця : ВНТУ, 2017. 120 с.
8. *Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року*. Київ, 2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p#Text>

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

9. Система для визначення якості технічного обслуговування пристроїв залізничної автоматики: пат. № 123221 Україна; заявл. 12.09.2016; опубл. 26.02.2018. Бюл. № 4. 5 с.
10. Тараненко С., Голубева С. Використання «дерева відмов» як логіко-ймовірнісного методу аналізу суднових електродвигунів. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2022. Вип. 40. С. 149–158. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-13>
11. Anderson J. *Discrete Mathematics With Combinatorics*. Prentice Hall, 2003. 928 p.
12. Cui T., Li S. *Space Fault Tree Theory and System Reliability Analysis*. EDP Sciences, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-2504-2>
13. Kabir S. An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis. *Expert Systems with Applications*. 2017. Vol. 77. P. 114–135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.01.058>
14. Malovichko V., Rybalka R., Malovichko N., Honcharov K. Determining the Set of Elements for Automatic Monitoring and Diagnosing the Relay Interlocking System. *Proceedings of 26th International Scientific Conference. Transport Means 2022*. (Kaunas, 05–07 Oct. 2022). Kaunas, 2022. Pt. II. P. 509–514.

N. V. MALOVICHKO^{1*}

^{1*}Dep. «Automation and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail n.v.malovichko@ust.edu.ua, ORCID 0009-0004-4093-9212

Development of a Methodology for Fault Detection in Electrical Centralization Using Oriented Trees

Purpose. This work is aimed at reducing the time spent on locating failures in the station part of relay-type electrical centralization. **Methodology.** To achieve this goal, methods for searching for failures and the methods used to implement them were analyzed. It was found that due to the complexity of the process of determining the probability of failure for each element of the relay part of the centralization system, the failure detection methods currently in use are imperfect and ineffective. It is proposed to use failure detection algorithms in the form of directed trees, and the features of constructing directed graphs in the form of a tree are considered. **Finding.** A tree has been created for fault detection in the artificial sectioning of route sections, and its example illustrates ways to improve search algorithms by combining graphs for different faults into a common tree and using tree simplification by absorbing vertices. The possibilities of using Kruskal's and Prim's algorithms to determine the optimal search paths in a common tree are also presented. To solve this problem, the possibility of using Prufer's code when displaying nodes and the weight of each edge of the tree in digital form is considered. **Originality.** For the first time, a methodology has been developed for determining the optimal paths for searching for failures in the post part of electrical centralization using oriented trees, which allows reducing the time for localizing failures and justifying the detection of points for installing control sensors to create an automated control system. **Practical value.** Using the proposed method allows you to determine the optimal paths for finding faults, create a computer-based guide to speed up the work of an electrical engineer when searching for a fault, identify the locations for installing control sensors in the process of developing an automatic control system, and record the actual time spent by maintenance personnel on searching for faults.

Keywords: failure search algorithm; root tree; graph; reduction of train delay time; determination of the optimal path; artificial section disconnection

REFERENCES

1. Andriichuk, V. I., Komarnytskyi, M. Ya., & Ishchuk, Yu. B. (2004). *Vstup do dyskretnoi matematyky*. Kyiv: Tsentr navchalnoi literatury. (in Ukraine)
2. Gaievskiy, V. V. (2021). *Udoskonalennia tekhnichnoi ekspluatatsii system mikroprotsesornoj tsentralizatsii na osnovi operatynoi identyfikatsii ta lokalizatsii porushen* (PhD dissertation). Kharkiv. (in Ukrainian)
3. Demchenko, F. O., Listrovyi, S. V., Lukhanin, M. I., & Semchuk, R. V. (2008). *Theory of graphs in resource allocation problems* (Vol. 1: Algorithms and computational methods). Kharkiv: Nove Slovo. (in Ukraine)
4. Dobrovska, L. M., & Dobrovska, I. A. (2015). *Teoriia ta praktyka neironnykh mrezh*. Kyiv: NTUU «KPI» Vydavnytstvo «Politehnika». (in Ukraine)

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

5. Zhurakivskiy, Yu. P., & Poltorak, V. P. (2001). *Teoriia informatsii ta koduvannia*. Kyiv: Vyshcha shkola. (in Ukraine)
6. Kapitonova, Yu. V., Kryvyi, S. L., Letychevskiy, O. A., & Lutskiy, H. M. (2002). *Osnovy dyskretnoi matematyky*. Kyiv: Naukova dumka. (in Ukraine)
7. Kutin, V. M., Kutina, M. V., & Iliukhin, M. O. (2017). *Zasoby diahnostuvannia releinoho zakhystu ta avtomatyky elektroenerhetychnykh system*. Vinnytsia: VNTU. (in Ukraine)
8. *Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku*. (2018). Kyiv. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-r#Text> (in Ukrainian)
9. Moiseienko, V. I., Chehodaiev, B. V., & Kotov, M. O. (2018). *System for determining the quality of maintenance of railway automation devices* (Ukrainian Patent No. 123221). (Ukrpatent). (in Ukrainian)
10. Taranenko, S., & Golubieva, S. (2022). Using the fault tree as a logical-probabilistic method for analysis of ship electric motors. *Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series "Transport Systems and Technologies,"* 1(40), 149-158. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-13> (in Ukraine)
11. Anderson, J. (2003). *Discrete Mathematics With Combinatorics*. Prentice Hall. (in English)
12. Cui, T., & Li, S. (2020). *Space Fault Tree Theory and System Reliability Analysis*. EDP Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-2504-2> (in English)
13. Kabir, S. (2017). An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis. *Expert Systems with Applications*, 77, 114-135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.01.058> (in English)
14. Malovichko, V., Rybalka, R., Malovichko, N., & Honcharov, K. (2022, Oct.). Determining the Set of Elements for Automatic Monitoring and Diagnosing the Relay Interlocking System. In *Proceedings of 26th International Scientific Conference. Transport Means 2022* (Pt. II, pp. 509-514). Kaunas, Lithuania. (in English)

Надійшла до редколегії: 14.02.2025

Прийнята до друку: 16.06.2025