

УДК 658.51

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.182830

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ПРОЄКТАХ ІНФРАСТРУКТУРИ ТРАНСПОРТУ**

**Голуб Г. М., Кульбовський І. І., Скляренко І. Ю., Бамбура О. В., Ткачук М. С.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ПРОЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТА**

**Голуб Г. М., Кульбовский И. И., Скляренко И. Ю., Бамбура О. В., Ткачук Н. С.**

## **RESEARCH OF METHODS FOR IDENTIFICATION OF EMERGENCY MODES OF POWER SUPPLY SYSTEM IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS**

**Holub H., Kulbovskiy I., Skliarenko I., Bambura O., Tkachuk M.**

*Об'єктом дослідження є режими роботи системи електропостачання залізничного транспорту. Класичною є класифікація аварійних режимів, що ґрунтується на визначенні пошкодження по кожному з фідерів або фаз. До основних причин аварійних режимів відносять різного роду короткі замикання, що виникають внаслідок пошкодження ізоляції фаз, обривів та перенапруг. Пошкодження обладнання відбувається із-за природного старіння ізоляції, атмосферних впливів або механічних пошкоджень, комутаційних перенапруг.*

*В ході дослідження використовувалися системний підхід, методи системного аналізу, теорії множин, сучасні методи обробки зображень та інтелектуальної обробки даних, із забезпеченням властивостей масштабованості розроблюваних методів.*

*Досліджено методи для алгоритмічних рішень та представлені математичні моделі обробки та організації інформаційного простору, представленого множинами багатовимірних масивів даних з прив'язкою до часової області, яка формується на ієрархічних рівнях корпоративної комп'ютерної системи діагностики. Розглядуваний інформаційний простір у вихідному виді утворює дані, які розглядаються у якості параметричних зображень процесів, отримуваних від мікропроцесорних пристроїв реєстрації параметрів систем. Це пов'язано з тим, що методи ідентифікації аварійних режимів електроенергетичних систем на основі відповідних параметричних зображень процесів дозволяють отримувати схожі за структурою алгоритми ідентифікації режимів для енергосистем різного типу та призначення.*

Завдяки цьому забезпечується попередня обробка даних для зведення параметричного зображення аварійного режиму до стандартної форми матричного представлення у частотній області. У порівнянні з аналогічними методами, це забезпечує такі переваги, як можливість роботи системи діагностики як в «off-line», так і в «on-line» режимах. А реалізація алгоритмічних рішень може бути забезпечена як на нижньому рівні систем діагностики, так і на верхніх рівнях ділянок електропостачання, а також на корпоративному рівні і характеризуватися властивостями масштабованості та гнучкості відносно розглянутих ділянок енергосистем.

**Ключові слова:** алгоритми ідентифікації режимів, система електропостачання залізничного транспорту, комп'ютерні системи, інформаційний простір.

Объектом исследования являются режимы работы системы электроснабжения железнодорожного транспорта. Классической является классификация аварийных режимов, основанная на определении повреждения по каждому из фидеров или фаз. К основным причинам аварийных режимов относят разного рода короткие замыкания, возникающие вследствие повреждения изоляции фаз, обрывов и перенапряжений. Повреждения оборудования происходят из-за естественного старения изоляции, атмосферных воздействий и механических повреждений, коммутационных перенапряжений.

В ходе исследования использовались системный подход, методы системного анализа, теории множеств, современные методы обработки изображений и интеллектуальной обработки данных, с обеспечением свойств масштабируемости разрабатываемых методов.

Исследованы методы для алгоритмических решений и представлены математические модели обработки и организации информационного пространства, представленного множествами многомерных массивов данных с привязкой к временной области, которая формируется на иерархических уровнях корпоративной компьютерной системы диагностики. Рассматриваемое информационное пространство в исходном виде образует данные, которые рассматриваются в качестве параметрических изображений процессов, получаемые от микропроцессорных устройств регистрации параметров систем. Это связано с тем, что методы идентификации аварийных режимов электроэнергетических систем на основе соответствующих параметрических изображений процессов позволяют получать похожие по структуре алгоритмы идентификации режимов для энергосистем различного типа и назначения.

Благодаря этому обеспечивается предварительная обработка данных для возведения параметрического изображения аварийного режима к стандартной форме матричного представления в частотной области. По сравнению с аналогичными методами, это обеспечивает такие преимущества, как возможность работы системы диагностики как в «off-line», так и в «on-line» режимах. А реалізація алгоритмічних рішень може бути

обеспечена как на нижнем уровне систем диагностики, так и на верхних уровнях участков электроснабжения, а также на корпоративном уровне и характеризоваться свойствами масштабируемости и гибкости относительно рассматриваемых участков энергосистем.

**Ключевые слова:** алгоритмы идентификации режимов, система электроснабжения железнодорожного транспорта, компьютерные системы, информационное пространство.

## 1. Вступ

Сьогодні диктує нові умови щодо ефективної експлуатації систем електропостачання, які передбачають забезпечення надійного та безперебійного електропостачання. Випадки порушення нормальних режимів роботи системи розглядаються як аварії або нештатні режими, в залежності від характеру їх протікання, ступеня пошкодження обладнання та наслідків. Основним завданням оперативно-диспетчерського керування режимами систем та її енергетичних об'єктів є забезпечення постійного спостереження за параметрами режиму, а також передбачення можливих недопустимих змін в роботі систем. На основі значень параметрів режимів здійснюється оперативна ідентифікація стану з метою формування керуючих дій для перерозподілу енергетичних потоків, запобігання виникненню або локалізації аварійних ситуацій [1]. Варто зауважити, що в реальних умовах експлуатації, система живлення залізниці неповністю укомплектована необхідними системами моніторингу та не є повністю автоматизованою, що ускладнює задачі розпізнавання режиму електричних мереж. З розвитком комп'ютерних та інтелектуальних технологій зростає рівень автоматизації керування системами та об'єктами. При цьому задачі ідентифікації режимів вирішуються інтелектуальними комп'ютерними системами, які, для реалізації необхідної функціональності, здійснюють обробку даних із територіально розподілених енергетичних об'єктів [2].

Досвід вчених [3–5] показує, що підходи та методи ідентифікації аварійних режимів системи електропостачання дозволяють отримати хорошу точність та ефективність на нижніх рівнях ієрархії системи. А узагальнити результати розробок та передати відповідну інформацію на більш високі рівні ієрархії системи не дозволяють.

На сьогоднішній час рішення задач ідентифікації має значну науково-практичну цінність саме на системних рівнях [6]. Тому актуальним є необхідність поєднання даних від різних реєстраторів та інших пристроїв моніторингу, обробки значних обсягів інформації і її синхронізації та систематизації. При цьому *об'єктом дослідження* є режими роботи системи електропостачання залізничного транспорту. А *мета роботи* полягає в дослідженні методів ідентифікації аварійних режимів системи електропостачання за їх параметричними зображеннями, на основі теорії множин, сучасних методів обробки зображень та інтелектуальної обробки даних, із забезпеченням властивостей масштабованості розроблюваних методів та уніфікованості алгоритмів ідентифікації. При цьому, бажані властивості

досягаються шляхом ефективного цільового поєднання вказаних підходів та теоретичних положень.

## 2. Методика проведення дослідження

Рішення задачі ідентифікації аварійних режимів лежать в області певної класифікаційної системи, що охоплює повний спектр можливих ситуацій, та є методичною основою для застосування превентивних, ліквідаційних і ремонтних заходів. Крім того, від достовірності результатів ідентифікації аварійних режимів залежать результати оперативного визначення місця пошкодження. При цьому інтелектуальний аналіз даних відіграє фундаментальну роль в розвитку сучасних систем, а саме системи електропостачання залізничного транспорту [7]. До основних проблем, в першу чергу, слід віднести виокремлення корисної інформації із наявних зареєстрованих даних – параметрів струмів напруг режимів або із даних, отримуваних в реальному часі.

Система електропостачання залізниць характеризується специфічними структурними та параметричними особливостями, їй властиві істотні перехідні режими, а також «рухомі навантаження». Тому задачі визначення виду та місця пошкодження є більш складними в порівнянні з енергосистемами загального призначення, що також доповнюється підвищеними вимогами щодо оперативності знаходження місця пошкодження.

## 3. Результати досліджень та обговорення

Для ідентифікації аварії у кожній множині виділяється мінімальний базис параметрів, якого достатньо для ідентифікації. Для комплексного вирішення задачі ідентифікації аварійних режимів встановлення причин аварій, ідентифікації нештатних режимів, а також реалізації можливості превентивного керування, необхідним є обробка інформації відносно аналогових сигналів, що характеризують режими роботи системи [8].

Розроблюванні алгоритми розпізнавання аварійних режимів повинні здійснювати «on-line» або (та) «off-line» ідентифікацію з врахуванням значень та динаміки зміни параметрів режиму, виду системи електропостачання та конфігурації електричної мережі [9].

Для формалізованого представлення аварійного режиму, приймемо наступні позначення:

$A = \{A\}$  – множина аварійних режимів, які можуть виникнути в системі;

$A_p$  – множина аварійних режимів, які відбулись і були сприйняті системою;

$A_n$  – множина аварійних режимів, які ще не відбулися.

Виходячи з даних позначень, множина аварійних режимів  $A$ , є об'єднанням двох пересічних підмножин, які можуть виникнути в системі, математична модель якої:

$$A = A_p \cup A_n. \quad (1)$$

Аварійні режими, які відносяться до множини  $A_p$ , при повторному виникненні ідентифікуються системою. Елементи множини аварійних режимів  $A_n$  також можуть бути розпізнані системою, якщо їх характеристики є наперед відомими.

Кожен аварійний режим  $A_i$  представляється множиною змінних у часі параметрів або множиною сигналів, яку можна вважати параметричним зображенням режиму.

Оскільки, для обробки множини дискретних сигналів можуть використовуватися прості методи логічних умов та висновків, в рамках даної роботи, для ідентифікації аварійних режимів приймаються до розгляду лише множини аналогових сигналів [10].

Таким чином, для довільного аварійного режиму можна записати:

$$A = \{u_j^i(t)\}, 0 \leq t \leq T, \quad (2)$$

де  $u_j^i(t)$  – амплітуда аналогового  $j$ -го сигналу ( $j=1..m$ ,  $m$  – кількість сигналів, що характеризують аварію)  $i$ -ї аварії у момент часу  $t$ ;  $T$  – тривалість аварійного режиму.

Зміна  $j$ -го аналогового сигналу, на протязі аварійного режиму  $T$ , характеризується масивом значень  $u_j^i(t)$  сигналу в часовій області:

$$u_j^i(t) = \{u_j^i(t_1), u_j^i(t_2), \dots, u_j^i(T)\}. \quad (3)$$

Тобто кожен аварійний режим можна подати, як:

$$A_i = \bigcup_j u_j^i(t). \quad (4)$$

Вся сукупність можливих аварійних режимів (1) характеризується змінами аналогових сигналів. При цьому підмножини аварій із загальною множиною (1) характеризуються однаковими підмножинами сигналів (2). З цього приводу процес ідентифікації аварійного режиму можливо скоротити за рахунок виділення загальних ознак. Для зменшення часу на ідентифікацію визначається загальна множина параметрів для всіх аварійних режимів згідно виразу:

$$A_s = \bigcap_i A. \quad (5)$$

Якщо  $A_s = \{\emptyset\}$ , то проводиться пошук аварійних режимів, що мають спільні параметри, по яким визначається група, для подальшої ідентифікації. В реальних умовах експлуатації не можливо здійснити опис всіх аварійних режимів  $A_n$ , тому опису підлягають множини  $A_p$ , а система послідовно навчається з настанням

нового аварійного режиму. Згідно даних умов та суджень загальна множина параметрів, яка визначається, залежить від часу експлуатації системи. Процес визначення множини параметрів  $A_3(t)$  проводиться постійно з надходженням параметрів кожного нового аварійного режиму:

$$A_3(t_{l+1}) = A(t_{l+1}) \cap A_3(t_l), \quad (6)$$

де  $A(t_{l+1})$  – множина параметрів нового аварійного режиму, що надійшов у момент часу  $t_{l+1}$ ;  $A_3(t_l)$  – множина, отримана в результаті перетину (5) на момент часу  $t_l$ .

$$A_3^1(t_l) = A_3(t_{l+1}) \leq A_3(t_l). \quad (7)$$

Отже, формується перша множина  $A_3^1(t)$ , отримана шляхом перетину множин параметрів режимів, що відбулися.

У випадку, якщо в результаті (7) буде пуста множина:

$$A_3(t_{l+1}) = \{\emptyset\}, \quad (8)$$

то

$$A_3(t_{l+2}) = A(t_{l+2}) \cap A_3(t_l), \quad (9)$$

починає формуватися друга множина перетину.

Здійснюється процес пошуку аварійного режиму, множини параметрів яких дають не пустий перетин з множиною даного аварійного режиму, при цьому процес формування множини  $A_3^2(t)$ , як і множини  $A_3^1(t)$ , триває постійно. З надходженням параметрів нового аварійного режиму  $A_i(t_{l+p})$ , для якого виконуються наступні співвідношення:

$$\begin{cases} A_i(t_{l+p}) \cap A_3^1(t_l) = \{\emptyset\}, \\ A_i(t_{l+p}) \cap A_3^2(t_l) = \{\emptyset\}, \end{cases} \quad (10)$$

починає формуватись нова загальна множина шляхом визначення перетинів з іншими множинами параметрів аварійних режимів, що відбулися.

Таким чином, при ідентифікації в реальному часі, постійно формується множина:

$$A_3^\Sigma(t) = \{A_3^i(t)\}. \quad (11)$$

Всі елементи множини (11) змінюються в часі і процес зміни відбувається з надходженням нового аварійного режиму, який ще не відбувся за весь час роботи системи.

Для прискорення процесу ідентифікації проводиться розподіл елементів множини  $A_3^{\Sigma}(t)$  по кількості охоплених аварійних режимів найбільш загальною характеристикою, які закріплюються за ними. З надходженням аналогових сигналів, які свідчать про аварійний режим, що відбувся вперше, формується множина параметрів для подальшого порівняння з елементами множини  $A_3^{\Sigma}(t)$ . При цьому, елементи множини (11) розташовуються у послідовність в порядку спадання кількості елементів множини.

$$A_3^1(t) > A_3^2(t) > L > A_3^n(t). \quad (12)$$

Отже, спочатку порівнюється перша множина, шляхом визначення перетину і відповідно належності аварійного режиму до існуючих:

$$A_i(t_{l+1}) = \begin{cases} 1, \text{ при } A_i(t_{l+1}) \cap A_3^1(t_l) = A_3^1(t_l), \\ 0, \text{ в інших випадках.} \end{cases} \quad (13)$$

Одиниця вказує на те, що  $A_i(t_{l+1})$  належить до групи аварійних режимів, які формують, нуль вказує на необхідність порівняння з наступною множиною  $A_3^2(t)$ . Таким чином, визначення групи, до якої належить аварійний режим, здійснюється формуванням множини:

$$A_i(t_{l+1}) = \begin{cases} A_3^k(t_l), \text{ при } A_i(t_{l+1}) \cap A_3^k(t_l) = A_3^k(t_l), \\ 0, \text{ в інших випадках,} \end{cases} \quad (14)$$

де  $k$  – вказівник групи аварій, перетин множин яких дає  $A_3^k(t)$ .

#### 4. Висновки

Проаналізовано методику побудови узагальнених класифікаційних систем аварійних режимів, для використання в комп'ютерних системах діагностики тягових енергосистем залізниці.

Досліджено методи ідентифікації аварійних режимів системи електропостачання залізниці, які дозволяють ідентифікувати режими, дозволяють будувати рішення, які володіють бажаними властивостями масштабності, адаптованості та гнучкі відносно структури діагностованих енергосистем.

## Література

1. Kulbovsky, I., Sapronova, S., Holub, H., Tkachenko, V., Afanasieva, I., Safronov, O. (2019). Development of a Model for Managing the Quality of Repair and Maintenance of Rolling Stock in Transport Infrastructure Projects. *Transport means*, 201–206.
2. Стасюк, О. І., Буткевич, О. Ф., Левконюк, А. В. (2014). Підвищення надійності моніторингу допустимості завантажень контрольованих перетинів енергосистем. *Технічна електродинаміка*, 2, 56–67.
3. Качесов, В. Е., Квривишвили, Л. В. (2008). Распознавание однофазного дугового замыкания на землю и поврежденной фазы в распределительных сетях с изолированной нейтралью. *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего востока*, 1, 94–98.
4. Gayathri, K., Kumarappan, N. (2010). Accurate fault location on EHV lines using both RBF based support vector machine and SCALCG based neural network. *Expert Systems with Applications*, 37 (12), 8822–8830. doi: <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.016>
5. Кириленко, О. В., Блінов, І. В. (2008). Визначення місць пошкоджень на лініях електропередачі з використанням штучних нейронних мереж. *Електротехніка і енергетика*, 8, 9–12.
6. Калинюк, І. О. (2012). Аналіз параметрів нештатних режимів в електричних мережах залізниці. *Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки*, 1, 26–27.
7. Стасюк, О. І., Гончарова, Л. Л., Максимчук, В. Ф. (2012). Методи організації комп'ютерної мережі моніторингу параметрів режимів систем електропостачання. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 2, 35–40.
8. Kulbovskiy, I. I., Holub, H. M., Kyiashko, V. T., Andonova, S. (2018). Information model of railway transport power supply system computer monitoring data flow. *Metallurgical and Mining Industry*, 2, 31–36.
9. Білан, С. М., Моторнюк, Р. Л., Воронко, І. О. (2012). Програмне забезпечення для ідентифікації аварійних режимів електроенергетичних системах на основі спектральних характеристик. *Теорія прийняття рішень*. Ужгород, 31–32.
10. Стасюк, О. І., Тутик, В. Л., Гончарова, Л. Л., Голуб, Г. М. (2015). Математичні моделі і комп'ютерно-орієнтовані методи моніторингу і ідентифікації аварійних режимів тягових мереж. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 2, 7–13.

*The object of research is the operating modes of the railway power supply system. Classification of emergency conditions based on the determination of damage for each of the feeders or phases is classic. The main causes of emergency conditions include various kinds of short circuits arising from damage to the insulation of phases, breaks and overvoltages. Damage to equipment occurs due to the natural aging of insulation, weathering and mechanical damage, switching overvoltages.*



*A systematic approach, methods of system analysis, set theory, modern methods of image processing and intelligent data processing, ensuring the scalability of the developed methods are used.*

*The methods for algorithmic solutions are investigated and mathematical models of processing and organizing the information space represented by sets of multidimensional data arrays with reference to the time domain, which is formed at the hierarchical levels of the corporate computer diagnostic system, are presented. The considered information space in its original form forms data that are considered as parametric images of processes received from microprocessor-based devices for recording system parameters. This is due to the fact that the methods for identifying emergency modes of electric power systems based on the corresponding parametric images of processes make it possible to obtain similar in structure algorithms for identifying modes for power systems of various types and purposes.*

*This provides preliminary data processing for raising the parametric image of the emergency mode to the standard form of the matrix representation in the frequency domain. Compared with similar methods, this provides such advantages as the ability to run the diagnostic system both in «off-line» and in «on-line» modes. And the implementation of algorithmic solutions can be provided both at the lower level of diagnostic systems, and at the upper levels of power supply sections, as well as at the corporate level and can be characterized by the properties of scalability and flexibility with respect to the considered sections of power systems.*

**Keywords:** *mode identification algorithms, railway power supply system, computer systems, information space.*