

С.М. Єсаулов, А.В. Коваленко, О.Ф. Бабічева, Д.М. Хуружа

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ЛОКАЛЬНІ ЗАСОБИ ТЕПЛООВОГО ДІАГНОСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ СПРАВНОСТІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

У цій роботі показані рішення питань, що виникають при розробці бортових засобів діагностичного контролю справності електрообладнання, в якій представлені результати дослідження компонентів теплового діагностичного експерта. Особливу увагу приділено питанням підготовки інформаційних повідомлень від прийомних елементів, які в умовах чинників, що заважають можуть істотно спотворювати дані.

Ключові слова: технічна діагностика, контроль, електромеханічне обладнання, електродвигун, датчик, мікроконтролер, моделювання, технічний експерт, алгоритм, програмування.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

В даний час в міському електротранспорті абсолютно не використовується діагностичне обладнання, а розробки в цій сфері перебувають в стані певного застою. Більшість транспортних засобів, продовжують застосовувати, звичні оку і, можливо, вдалі прийоми використання локального контрольно-вимірювального обладнання, розроблені багато десятків років тому. Так, наприклад, автоматичні вимикачі, скромні набори індикаторів про включенні і виключенні обладнання, які є невід'ємною частиною панелі керування водія транспорту, сьогодні, як мінімум, морально застаріли. До того ж, не можна в епоху мікросхематехніки продовжувати використовувати застарілі досягнення електронної промисловості.

Всі провідні світові виробники вже давно і успішно використовують цифрові засоби і мікропроцесори в своїх виробках, устаткуванні і продукції. Зокрема, замість класичних електромагнітних пристроїв застосовуються мікропроцесорні модулі, що служать для автоматичного аналізу теплових режимів, включення, виключення, оповіщення при неприпустимих умовах експлуатації техніки із застосуванням кольорових індикаторів і дисплеїв, що повідомляють про перевантаження, зникнення напруги, функціонуванні виконавчих пристроїв тощо [1, 2]. Неможливість в попередні часи створити локальні засоби технічної діагностики справності обладнання, що експлуатується триває, хоча можливості сучасної електроніки в цій області вже не мають меж, яка може забезпечити ретельний багатофункціональний параметричний контроль справності бортового обладнання та передбачити небезпеку розвитку можливих неполадок техніки в

реальному часі. Головним призначенням таких пристроїв є можливість збереження дорогого устаткування, від перевантажень та інших чинників, результати впливу яких необхідно систематично контролювати і передбачати.

Головні несправності транспортних засобів, а саме електричного транспорту в основному стосуються механічного і електричного обладнання. Оскільки механічне обладнання більш помітне і усі поломки можна розглянути візуальним оглядом, з цієї причини і в депо є спеціальні місця для цього і додаткові якісь засоби діагностичного контролю обладнання, а електрообладнання в цьому відношенні відрізняється тим, що заглянути всередину нього не вдається, і особливо у тих випадках, коли усі можливі дефекти протягом часу накопичуються і пристрій виходить з ладу. Найбільш коштовними є електродвигуни, тому у світовій практиці досить багато різноманітних інформаційних повідомлень і розробок, що стосуються діагностики цього обладнання. Більша частина статорів електродвигунів, що виходять з ладу складають до 40%, ротори – до 10%, а поломки підшипників приблизно 50% [3–5].

З усіх несправностей статорів 80% припадає на міжвиткові замикання, що викликають місцевий нагрів. Тому тепловий контроль є одним з важливих аспектів при діагностуванні електрообладнання, особливо під час експлуатації транспортних засобів. У світовій практиці ці події розглянуті достатньо детально [6, 7].

Вибір параметрів для діагностичного контролю електрообладнання транспорту доцільно проводити з позиції аналізу всіх можливих ремонтів відповідно до тієї статистики, що публікується. Оскільки дефекти розвиваються протягом тривалого періоду, тому періодичний контроль стану машини дозволяє

прогнозувати терміни служби, проводити ремонт або заміну електрообладнання, що зручніше усього робити при плановій зупинці транспорту.

Метою цієї роботи є дослідження і моделювання несправностей компонентів електроустаткування, які можна визначити за допомогою засобів теплового контролю і реалізувати у вигляді бортового діагностичного модуля на транспортному засобі.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо деякі варіанти стендового діагностичного обладнання для контролю справності електромеханічного обладнання. Найчастіше таке спеціальне обладнання передбачає демонтаж, наприклад, електродвигуна, виконання необхідних підключень до вимірювальних засобів стенду, здійснення алгоритму тестування для отримання необхідного обсягу інформації [8].

Найбільш привабливі зараз – це дистанційні засоби. Варіант візуального контролю достатньо привабливий і простий, але на жаль складно піддається автоматизації з причини сканування картинки і накладення ідентичних зображень під час перевірок змін, що зробити не вдається, оскільки об'єкт сканування в реальному часі завжди зміщується, а це призводить до суттєвих помилок [9, 10].

Електричні несправності не проявляють себе до фактичної відмови, дуже погано піддаються діагностуванню без спеціалізованого обладнання, при цьому тепловий контроль такого устаткування обов'язково передбачається і здійснюється в системах автоматичного керування різною електромеханікою. Ця обставина привертає увагу фахівців, оскільки можливості сучасної електроніки постійно зростають, що дозволяє розширювати відомі функції засобів теплового контролю, які включають реалізацію можливості діагностування неполадок при ненормованому нагріві експлуатованого устаткування в реальному часі.

Тому питання своєчасного діагностування залишається актуальним. У цьому легко переконалися, якщо продивитись технічну літературу, в якій є повідомлення про розробку таких приладів різноманітними ведучими фірмами [5, 8, 11]. Під час аналізу літератури прийшлося зупинитись на розробках діагностичних комплектів компанії SKF Explorer [11]. Розробки цієї компанії для діагностики, переважно, механічних пристроїв дозволяють отримати інформацію до декількох десятків параметрів про роботу системи мережа – двигун – навантаження (рис. 1). При цьому багато електричних параметрів можуть викликати інтерес і при діагностиці електротехнічного устаткування.

Комплекти SKF Explorer дозволяють прогнозувати технічний стан машин, що грає велику роль для передбачення можливих неполадок з подібними властивостями у популярному електрообладнанні.

Методи експрес-діагностики, що передбачені вітчизняним стандартом і правилами експлуатації трамвая і тролейбуса у сучасних європейських вимогах знаходять застосування, особливо в автомобільному транспорті [3, 7, 8, 10, 12, 13].

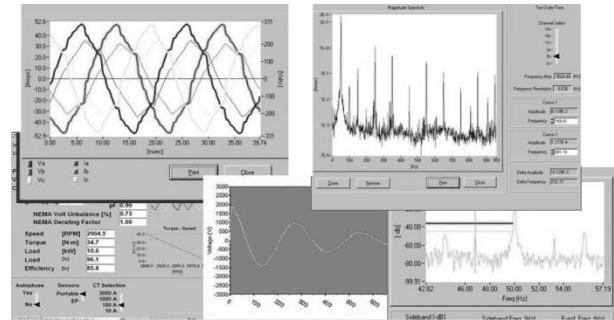


Рис. 1. Інтерфейси результатів комп'ютерного діагностування електричних машин

Перспектива застосування обладнання для точного і якісного діагностування на електротранспорті, звичайно, змушує звертати увагу на розробки в цій області, що більш усього орієнтовані на прогнозування можливих несправностей устаткування і своєчасну ліквідацію поломок. Очевидно, що попереднє діагностування для виявлення причин поломок, планування ремонту, підбору вітчизняних і зарубіжних деталей, особливо для закордонної техніки, потребує для підприємств також участі у дилерських мережах. Таким чином, аналізуючи закордонний досвід і сучасні розробки діагностичних приладів для контролю можливих несправностей в електрообладнанні були розглянуті різні технічні рішення, реалізація яких припускає застосування цифрової електронної техніки [11–14].

Для проведення експериментів і реалізації макетів діагностичних пристроїв зручно скористатися доступними у продажу електронними компонентами, які адаптовані для застосування спільно з мікроконтролерами (МК) або мікрокомп'ютерами.

Приклади компактних компонентів для вирішення таких задач представлені на рис. 2. Є плати для формування інформаційного сигналу, серійний перетворювач напруги, та ін.

За основу був взятий метод передачі фіксованих повідомлень. Комплект складався з датчиків температури, яких може бути декілька, але вибирався варіант, в якому була можливість інформаційне повідомлення передавати на відстань [15] за допомогою передаючого пристрою.

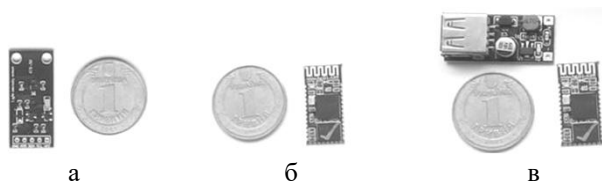


Рис. 2. Приклад компонентів для діагноз-експерта:
 а – плата вимірювальних схем для підключення датчиків, б – плата передаючого пристрою для підключення формувача інформаційних сигналів від датчиків, в – плата передаючого пристрою і автономного джерела живлення для формувачів «параметр – частота»

Задовільні результати були отримані, коли застосовувався комплект обладнання з комп'ютером [16, 17].

Для застосування мініатюрних засобів діагностики з використанням малопотужних мікроконтролерів алгоритми вирішення задачі пошуку несправностей слід скоротити до обсягів, що реалізуються цифрою технікою з обмеженими функціональними можливостями. Стосовно до процесорів з RISC-архітектурою [13, 14] було розглянуто варіант використання декількох датчиків для контролю нагріву електрообладнання, які дозволять отримати інформацію для реалізації в подальшому тільки з дискретною моделлю пошуку несправностей із заздалегідь відомою помилкою.

В такому випадку вектор ознак розпізнавання технічного стану визначався набором вхідних сигналів, що в найпростішому випадку визначався тільки бінарними значеннями (0, 1). У загальному вигляді можливі теплові режими електрообладнання можна уявити, використовуючи в якості вхідних діагностичних ознак вхідні змінні, використані при реалізації плану експериментальних досліджень різних теплових режимів [16, 17]. Ці дані представляли масив вихідної інформації для вибраних точок контролю температури $X = [X_{11} \dots X_{nm}]T$.

Таким чином, задаючи теплові характеристики можна отримати їх взаємозв'язок з технічним станом обладнання, оскільки весь набір n -мірних векторів, що відносяться тільки до одного діагностованого пристрою [17, 18] у вигляді матриці:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & \dots & x_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$m = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) : \mu_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{ik}, \quad (2)$$

де m – число образів, що становлять оригінальний клас поломок з вектором середніх значень m , що

буде відмінною рисою оригінального комплекту обладнання.

Для різних комплектів, очевидно, потрібно застосовувати різні нормовані вхідні ознаки:

$$x' = 1 - \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (3)$$

де x' – нормоване значення признака x ;

x_{\max}, x_{\min} – можливі, максимальний і мінімальний рівні ознаки.

Використання бінарних величин дозволяє спростити рішення задачі апроксимації результатів, оскільки всі величини змінюються тільки в одному діапазоні варіювання від 0 до 1.

Завдяки матриці можна отримати декілька параметрів відгуку або вихідних даних $Y = [Y_1 Y_2 Y_3 Y_4]T$, які будуть виконувати роль розрахункових величин для непрямого оцінювання можливих несправностей устаткування. Так, для п'яти точок контролю температури (два датчика на двох підшипниках і три на корпусі електричного двигуна) ідентифікаційні коди можуть мати вигляд: $Y_1 = [1 0 0 0 0]T$ – «норма»; $Y_2 = [0 1 0 0 0]T$ – «нагрів корпусу статора»; $Y_3 = [0 0 1 0 0]T$ – «нагрів корпусу підшипника»; $Y_4 = [0 0 0 1 0]T$ – «небезпечний нагрів»; $Y_5 = [0 0 0 0 1]T$ – «не визначено», супроводжувані формуванням додаткових сигналів оповіщення.

Аналогічний прийом можна застосувати і для бінарної мережі. Розглядаючи добуток кожного вхідного сигналу на відповідний елемент вектору вагових коефіцієнтів $w = (w_1, \dots, w_n)$ [5, 13, 15]. При цьому додатковий ваговий коефіцієнт w_0 для постійного одиничного вхідного сигналу визначає в просторі ознак зміщення розділяючої площини для даного класу розпізнавання образів.

У матричній формі результат роботи пристрою можна представити як $Y = f(S)$, $ST = wTxT$, де w – матриця вагових коефіцієнтів N (w_{ij} – ваговий коефіцієнт i -ї ознаки з j -м на приймальний пристрій). В такому випадку передбачається, що для отримання елементів вектору Y функція f застосовується до кожного елементу вектору S . Мінімальний обсяг вихідної інформації в цьому випадку також обумовлений застосуванням електронних формувачів виключно бінарних сигналів. Оскільки вихідні дані будуть з'являтися лише при ненормованих теплових режимах в окремих частинах електрообладнання, то результатом таких подій для бінарних вхідних і вихідних векторів послужить деяка корекція вагових коефіцієнтів (3) виду [15, 18]:

$$w_{ij}^{(l)} = w_{ij}^{(l-1)} + \Delta_j \cdot x_i, \quad (3)$$

де

$$\Delta_j = \begin{cases} 0, & \text{якщо } y_j = t_j \\ 1, & \text{якщо } y_j = 0, t_j = 1. \\ -1, & \text{якщо } y_j = 1, t_j = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Приклад інтерфейсу програми (рис. 3) ілюструє як змінюється інформаційний сигнал при зміні температури на фоні приблизно такого ж відтінку, що підтверджує можливість його прийому в умовах перешкод.

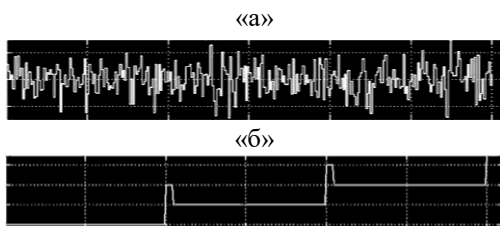


Рис. 3. Формування інформаційних сигналів: а – датчик – перетворювач «температура – напруга»; б – дискретний перетворювач при ненормованому тепловому режимі

Ряд експериментів і отриманих результатів підтвердив, що доцільно аналізувати не всі дані, отримані з датчиків, а тільки ті, що виходять за межі допустимої варіативної зони. Виявилось, що в експериментах, які проводились групами, таких сигналів була невелика кількість. Це полегшує обробку інформації і, звичайно, сам діагностичний пристрій орієнтований на аналіз сигналів перевищення нормованих рівнів.

Стосовно до мікроконтролерів, розглянуті приклади вказують, що при температурі, що змінюється і залежить від навантажень і багатьох сторонніх чинників, що впливають на електрообладнання, діагностичний засіб теплового аналізу справності компонентів обладнання завжди буде мати інформаційні хаотично мінливі аналогові й дискретні величини обсягом L-елементів [4, 15–17].

При комп'ютерних варіантах досліджень [17, 19, 20] виконувалися алгоритми попередньої обробки даних з використанням форматів int і float, які тепер застосовуються і в мікроконтролерах

Для підвищення достовірності одержуваних даних був розроблений і випробуваний алгоритм для аналізу даних, одержуваних з електродвигуна, який експлуатується у відомих реальних умовах при змінних навантаженнях. При цьому передбачалося в умовах перешкод виконати селективний відбір вихідних даних з потоку можливих вимірів контрольованої величини. Спочатку всі вихідні дані T_i порівнювалися з нормованим значенням, заданим

вимогою $T_{к0}$ допустимих теплових умов експлуатації обладнання [4]. В результаті цього непрямым шляхом визначалися реальні відхилення параметра при змінній температурі нагріву обладнання $\pm \Delta T_i$, а знак різниці величин дозволяв визначати напрямок зміни теплового процесу, що відбувається при нагріванні; $\Delta T_i > 0$ або охолодженні $\Delta T_i < 0$, відповідно.

Всі допустимі виміряні величини надалі ігноруються і в подальшому при аналізі теплових подій не беруть участь. Таким чином, тільки ненормовані величини повинні зберігатися обчислювальним пристроєм для подальшої обробки їх при ідентифікації теплових подій.

При цьому, важливо враховувати, що помітна різниця ненормованих величин побічно характеризує не тільки прояви можливих несправностей, а й змінні навантаження разом з наявними заважаючими факторами. З цієї причини вводився додатковий алгоритм селективного аналізу отриманих даних на тривалість в реальному часі їх щодо моделей для справного обладнання з примусовим охолодженням. Передбачалося, що тимчасово виявлені аномалії теплових процесів в обладнанні можна віднести до перешкод, а тривалі – до стійких ненормованих тенденцій.

Таким чином, алгоритмом була передбачена додаткова «фільтрація» всього підозрілого обсягу інформаційних повідомлень для формування масиву величин, який і приймався в якості вихідної інформації.

При повторних вимірах, якщо знаки змінних $\pm T_i$ зберігалися, то масив величин $\pm M_m$, перезаписувати за спаданням або зростанням компонентів. Таке сортування виключає помилку при подальшій обробці даних, тому що масив завжди буде спадати або зростати, відповідаючи процесам охолодження або нагрівання, відповідно. Для підвищення надійності отриманих результатів число перезапису масивів можна змінювати.

Розглянуті аналітичні прийоми аналізу даних можна реалізувати й іншими зручними програмними способами, але в будь-якому випадку до сортування величин повинен бути застосований «принцип флотації», при якому повинна виконуватися надійне «відбракування даних», що узгоджується з абсолютними величинами елементів в масивах, що належать одному з діаметрально протилежних теплових процесів.

З огляду на можливості МК слід враховувати, що фінальний набір параметрів m, n, int не повинен знижувати достовірність вихідної інформації при заданих початкових рівнях параметрів. Ця обставина обумовлена контрастністю теплових подій, істотно залежить від наборів вихідних величин, допустимих рівнів нагріву компонентів обладнання відповідного класу виконання, взаємозв'язком їх з

процесами теплообміну, що беруть участь в ньому елементів, які виконують роль природного тепловідведення або радіаторів. Очевидно, що всі ці властивості існують одночасно, впливаючи на інерційність процесів і, як наслідок, негативно впливають на цільову ідентифікацію теплової події, обумовленої визначенням виниклої несправності. Моделювання в середовищі Matlab дозволило отримати результати, які підтверджують можливість відрізнити теплові події при використанні алгоритмів сортування масивів даних (рис. 4, 5).

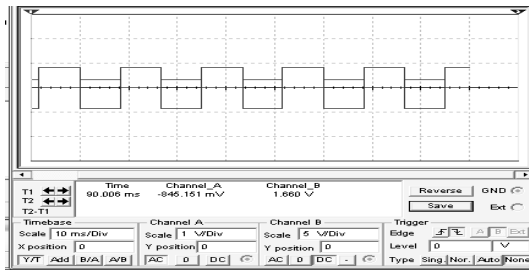


Рис. 4. Вихідні бінарні сигнали при нормованих теплових режимах експлуатації обладнання

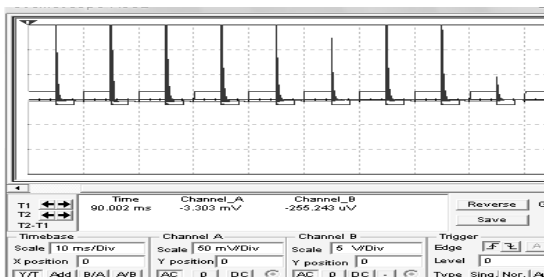


Рис. 5. Деформація бінарних сигналів при ненормованих теплових режимах експлуатації обладнання

Використання шкали ідентифікації можливих несправностей [4, 15, 17] для конкретних класів ізоляції, коли передбачаються теплові режими, умовно визначувані інтервалами варіювання: НН – недопустимий, Н – сталий, NORM – нормальний режим, CLD, DCL – охолодження. У реальному часі діагностичний пристрій дозволяє істотно розширити функціональні можливості традиційних засобів контролю температури, які широко застосовуються в електромеханічному обладнанні різного призначення.

Таким чином, розглянуті компоненти приладу, ілюструють можливість застосування їх при розробці компактних засобів діагностичного теплового контролю електрообладнання. Реалізація такого устаткування досягається шляхом розміщення декількох датчиків на його поверхні або окремих частинах. Мініатюрність і можливість розміщення датчиків на технологічному обладнанні не потребує

ніякого його доопрацювання і втручання в сам пристрій.

Інтерфейс для візуального спостереження процесу контролю справності устаткування на транспорті і сповіщення експерта у вигляді лаконічних табло представлений на рис. 6.

Весь алгоритм від отримання інформації до її візуалізації і простого сприйняття потребує великих потужностей процесорів цифрової техніки, а ті мікроконтролери, що мають і доступні до продажу з частотою від 16 до 150 МГц з такими завданнями навряд чи упораються [14].

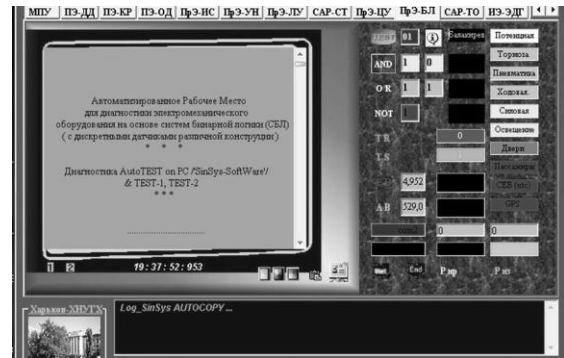


Рис. 6. Інтерфейс програми експерта несправностей устаткування на транспортному засобі

Скорочуючи завдання обробки і підготовки початкових даних, можна істотно скоротити алгоритми обробки початкових даних і знизити вимоги до обчислювальної техніки, хоча при цьому дещо знизиться якість отримуваних результатів, але можна вважати, що привабливість пропонованого компактного експерта теплових подій в електроустаткуванні завжди перевершуватимуть функціональні можливості відомих показуючих приладів, контролюючих температуру, і дискретних пристроїв теплового захисту в електротехнічних пристроях.

Очевидно, що експериментальну частину цієї роботи необхідно продовжувати в надії, що можна виконувати весь алгоритм діагностичного контролю в менших обсягах, але з використанням мікроконтролерів серійного виробництва.

Висновки

Вже отримані результати дозволяють зробити висновок, що для комунального транспорту таке обладнання цілком може знайти застосування без істотних капіталовкладень, тому що знадобиться нескладне розміщення на рухомих одиницях декількох датчиків з компактим вимірювально-діагностичним пристроєм.

Оскільки діагностика на транспорті стала справою обов'язковою, то вимоги міжнародних стандартів обов'язково поширяться і на муніципальний

транспорт, до цього потрібно, звичайно, бути готовим вже зараз.

Література

1. Hennessy, J.L. *Computer Architecture: a quantitative approach*. — 4th. ed. / J.L. Hennessy, D.A. Patterson. — USA : Elsevier Science, 2006. — 705 p.
2. *The SPARC architecture manual: Version 8* / Englewood Cliffs, N.J. — USA : Prentice Hall, 1992. — 303 p.
3. Исмаилов, Ш.К. Тепловое состояние тяговых и вспомогательных электрических машин электровозов постоянного и переменного тока / Ш.К. Исмаилов. — Омск : ОмГУПС, 2001. — 175 с.
4. Єсаулов, С.М. Контроль і моделювання параметрів для теплової діагностики порушень силового електрообладнання / С.М. Єсаулов, О.Ф. Бабічева, М.М. Ковалик // *Комунальне господарство міст*. — 2019. — № 3(149). — С. 19–28. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2019-3-149-19-28>
5. Bellini, A. *Advances in diagnostic techniques for induction machines* / A. Bellini, F. Filippetti, C. Tassoni, G.A. Capolino / *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. — Vol. 55, No. 12. — 2008, pp. 4109–4126. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.2007527>
6. Левшина, Е.С. *Электрические измерения физических величин (Измерительные преобразователи) : учеб. пос. / Е.С. Левшина., П.В. Новицкий – Л. : Энергоатомиздат, 1983. — 320 с.*
7. Лутай, С.Н. *Методы и анализ диагностики асинхронных электродвигателей / С.Н. Лутай, В.В. Коломиец, Б.Б. Кобылянский, И.В. Булгакова // Электротехнические и компьютерные системы. — 2014. — № 15 (91). — С. 306–310.*
8. Яковлев, В.Ф. *Диагностика электронных систем автомобиля : учеб. пос. / В.Ф. Яковлев – М. : СОЛОН-Пресс, 2003. — 272 с.*
9. Єсаулов, С.М. *Автоматизація контролю справності устаткування на об'єктах електротранспорту / С.М. Єсаулов // Комунальне господарство міст. — 2007. — № 76. — С. 359–363.*
10. Зубоскал, В.В. *Нейромережеві моделі діагностики електродвигунів постійного струму / В.В. Зубоскал, О.М. Кравець // ІКСЗТ. — 2009. — № 4. — С. 7–11.*
11. *Беспроводная система текущего контроля V/T [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://promshop.biz/pdf/vt.pdf>*
12. Denton T. *Advanced Automotive Fault: Automotive Technology: Vehicle Maintenance and Repair. — Fourth Edition / T. Denton – Routledge. — 2017. — 365 p.*
13. Yesaulov S., Babicheva O. *Use of experimental software products in technical disciplines online courses // The I International Science Conference on Multidisciplinary Research, January 19–21, 2021, Berlin, Germany. — P. 992–995.*
14. *Сайт виробника. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://arduino-kit.com.ua/>*
15. Yesaulov, S. *Research and development of thermal diagnostics means of transportation equipment / S. Yesaulov, O. Babicheva // Technical research and development: collective monograph / Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V., — etc. — International Science Group. — Boston : Primedia eLaunch, 2021. p. 543–549 Available at: DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.I>*
16. Єсаулов, С.М. *Синтез компонентів теплового діагностичного експерта зі штучним нейроном / С.М. Єсаулов, О.Ф. Бабічева, Д.О. Акіншин // Комунальне господарство міст. Сер.: Технічні науки та архітектура. — 2021. — Том 1. — № 161. — С. 148–156. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-148-156>*
17. Єсаулов, С.М. *Підвищення ефективності теплового діагностичного контролю справності електродвигунів / С.М. Єсаулов, О.Ф. Бабічева, М.М. Ковалик // Комунальне господарство міст. Сер.: Технічні науки та архітектура. — 2020. — Том 4. — № 157 (2020). — С. 163–171. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-4-157-163-171>*
18. Соловьев, Н.В. *Введение в системы искусственного интеллекта / Н.В. Соловьев. — СПб.: ГУАП, 2008. — 104 с.*
19. *MATLAB. The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB. — The Math Works, Inc. — USA, 2000. — 89 p.*
20. *Simulink. Model-Based and System-Based Design. Using Simulink. The Math Works, Inc. USA, 2002. — 456 p.*

References

1. Hennessy, J.L. (2006). *Computer Architecture: a quantitative approach*. USA : Elsevier Science, 705.
2. Englewood Cliffs, N.J. (1992). *The SPARC architecture manual: Version 8*. USA : Prentice Hall, 303.
3. Ismailov, Sh.K. (2001). *Thermal condition of traction and auxiliary electric machines of DC and AC electric locomotives*. Omsk: OmGUPS, 175.
4. Yesaulov, S.M. (2019). *Control and modeling parameters for heat diagnostics of power electrical equipment failure*. Municipal economy of cities, Iss. 3(149), pp. 19–28. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2019-3-149-19-28>
5. Bellini, A. (2008). *Advances in diagnostic techniques for induction machines*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 12, pp. 4109–4126. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.2007527>
6. Levshina, E.S. (1983). *Electrical measurements of physical quantities (Measuring transducers): textbook*. Leningrad: Energoatomizdat, 320.
7. Lutai, S.N. (2014). *Methods and analysis of diagnostics of asynchronous electric motors*. Electrical and computer systems, No. 15 (91), pp. 306–310.
8. Yakovlev, V.F. (2003). *Diagnostics of electronic systems of the car: a tutorial*. Moscow: SOLON-Press, 272.
9. Yesaulov, S.M (2007). *Automation of control of serviceability of the equipment on objects of electric transport*. Municipal economy of cities, Iss. 76, pp. 359–363.
10. Zuboskal, V.V (2009). *Neural network models of diagnostics of direct current electric motors. — Information and control systems for railway transport, № 4, pp. 7–11.*
11. *Wireless monitoring system V / T. [Electronic resource]. — Access mode: <https://promshop.biz/pdf/vt.pdf>*
12. Denton T. (2017). *Advanced Automotive Fault: Automotive Technology: Vehicle Maintenance and Repair. — Fourth Edition*. Routledge, 365.
13. Yesaulov S., Babicheva O. (2021). *Use of experimental software products in technical disciplines online courses. — The I International Science Conference on Multidisciplinary Research, January 19–21, Berlin, Germany, p. 992–995*
14. *Products webpage. [Electronic resource]. — Access mode : <https://arduino-kit.com.ua/>*

15. Yesaulov, S., Babicheva, O. (2021). Research and development of thermal diagnostics means of transportation equipment. – Technical research and development: collective monograph / Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, p. 543–549.

DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.I>

16. Yesaulov, S., Babicheva, O., Akinshyn, D. (2021). Synthesis of thermal diagnostic expert components with an artificial neuron. Municipal economy of cities, Iss. 1.(161), pp. 148–156. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-148-156>

17. Yesaulov, S., Babicheva, O., Kovalik M. (2020). Improving the efficiency of thermal diagnostic monitoring of the health of electric motors. Municipal economy of cities, Iss. 4(157), pp. 163–171. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-4-157-163-171>

18. Soloviev, N.V. (2008). Introduction to artificial intelligence systems. – St. Petersburg : GUAP. – 104.

19. MATLAB. The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB. –The Math Works, Inc. – USA, 2000. – 89 p.

20. Simulink. Model-Based and System-Based Design. Using Simulink. The Math Works, Inc. USA, 2002. – 456 p.

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. О.М. Петченко, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ЄСАУЛОВ Сергій Михайлович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричного транспорту
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – ut9li@ukr.net

Автор: КОВАЛЕНКО Андрій Віталійович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричного транспорту
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – avmyk@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3915-6622>

Автор: БАБІЧЕВА Ольга Федорівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричного транспорту
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – olgafedorovna@outlook.com

Автор: ХУРУЖА Дар'я Миколаївна
студентка навчально-наукового інституту енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – darya.khuruza@kname.edu.ua

LOCAL MEANS OF THERMAL DIAGNOSTIC CONTROL OF ELECTRICAL EQUIPMENT FUNCTIONALITY

S. Yesaulov, A. Kovalenko, O. Babicheva, D. Khuruzha

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov, Ukraine

Attention is drawn to the lack in many municipal transport models of off-line testing engineering tools of onboard parameters and assessment of electromechanical equipment in real time. These development restraints are caused by stagnation of engineering decisions that can be eliminated with the help of the unlimited possibilities of modern microelectronics. It has been considered an example of thermal control of electrical equipment during its operations. The popularity of the thermal method of equipment control is confirmed by its application not only in transport, but also in electromechanical devices. It has been considered methods of using several thermal transducers for collecting data and forming matrices characterizing a certain class of breakdowns. The most important matrix is the initial one, which refers to the serviceable equipment at the beginning of equipment operations. Due to increased reliability of data, it is advisable to develop effective methods for selective selection of initial values. The paper drew attention to the possibility of solving such problems by software with the implementation of comparison methods, sorting options, etc. The peculiarity of algorithms development for such auxiliary operations is due to the possibility of creating data arrays for the practical identification of possible failures, both in individual parts of the equipment and in the set of components as a whole. It has been presented the results of the binary representation of intermediate and final information messages, which greatly simplify the implementation of diagnostic examination tools. Modeling in the Matlab environment confirmed acceptability of proposed engineering decisions adapted for their implementation by means of processors with RISC-architecture. Despite the fact that binary methods of breakdowns technical appraisal will always differ much more inaccuracy than those made on the basis of direct measurements, proposed autonomous local binary experts in onboard versions of their implementation in transport are less labor-intensive, do not require maintenance, are economical and may turn out to be good helpers to prevent possible equipment failures when operating vehicles on passenger service lines.

Keywords: technical diagnostics, control, electromechanical equipment, electric motor, sensor, microcontroller, simulation, technical expert, algorithm, programming.