

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ

MONITORING, DIAGNOSTICS AND MANAGEMENT OF ENERGY PROCESSES AND EQUIPMENT

УДК 62-833.4

DOI 10.20535/1813-5420.4.2023.290898

Д.А. Яковлев¹, аспірант, ORCID 0000-0002-8176-6627

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МУЛЬТИСЕНСОРНА СИСТЕМА ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ WI-FI

Сучасний етап розвитку промисловості характеризується дедалі більшою потребою у системах контролю за станом та ефективним функціонуванням електрообладнання. Поломка або не запланована зупинка двигуна електромеханічної системи супроводжуються значними економічними втратами для підприємств. Тому сучасний етап розвитку промисловості характеризується дедалі більшою потребою у системах контролю за станом та ефективним функціонуванням електрообладнання.

Як результат через швидкий розвиток технологій точного виробництва було проведено багато досліджень у сфері мультисенсорних вимірювань та технологій злиття даних з метою покращення можливостей моніторингу з точки зору точності вимірювань та інформаційного багатства, тим самим підвищуючи ефективність та точність виробництва. У мультисенсорній системі кожен датчик самостійно вимірює певні параметри. Потім система використовує відповідний алгоритм обробки сигналів, щоб об'єднати всі незалежні вимірювання в повний набір результатів вимірювань.

Точна оцінка технічного стану дає змогу спрогнозувати термін наступного ремонту обладнання, підвищує надійність та ефективність його роботи, знижує збиток від простою обладнання внаслідок аварій, витрати на ремонт та відновлення працездатності, знижує витрати на обслуговування та експлуатацію обладнання.

У цій статті представлений огляд інтелектуальної мультисенсорної системи процесу моніторингу та технологічного стану електрообладнання. Яка в режимі реального часу за допомогою датчиків дає можливість отримати інформацію з навколишнього середовища, та робити висновки про стан діагностованого обладнання. Технологія інтелектуальної мультисенсорної системи для ідентифікації та оцінки технічного стану електротехнічного обладнання має перспективи широкого застосування у галузях промисловості. Завдяки максимально компактним розмірам установки, маємо можливість проводити виміри в важко доступних місцях, без виводу обладнання з роботи, що мінімізує втрати від простою. Також використання даної системи дозволяє виявити розвиток дефекту на ранніх стадіях розвитку, що перешикоджає і значно зменшує вартість ремонту енергетичного обладнання при виході з справного стану.

Ключові слова: джерело енергії, автономне електропостачання, мультисенсорна система, оцінка технічного стану, інтелектуальна система, дистанційне діагностування.

Вступ

Через все більш жорсткі вимоги до екології, промислові виробництва змушені будуватися на значній відстані від населених пунктів. Що створює власникам фірм не бажанні додаткові витрати на доставку та проживання працівників на виробництві, завдяки розвитку швидкості та стабільності інтернету де далі більше виробництв переходять на дистанційне керування.

Водночас актуальною є проблема високої аварійності електроустаткування, оскільки значна частина устаткування керується дистанційно і немає можливості замітити малі не суттєві несправності. Електричні машини використовуються в приводах практично у всіх областях техніки і технологічного

оснащення виробництва. Раптова відмова або позапланова зупинка електрообладнання для підприємства супроводжуються значними економічними втратами. Особливо великі втрати на великих енергетичних установках і об'єктах, тому технічна діагностика в цій області досить розвинена і є обов'язковою для попередження відмов і своєчасного ремонту.

Метою дослідження є розроблення концепції будови електронного носа для діагностування електроприводів з використанням Wi-Fi.

В даній статті зазначений опис електронний ніс Wi-Fi технології мультисенсорного вимірювання та злиття даних. Розглянуто архітектуру мультисенсорної вимірювальної системи. На додаток до мультисенсорної системи вимірювання, узагальнено відповідні методи та алгоритми злиття даних. Подальші погляди на багато сенсорний моніторинг та технологію злиття даних включені в кінці цієї статті.

Науково-прикладне завдання:

- визначити можливі стани електропривода;
- для кожного стану електропривода визначені характерні газові випаровування;
- підібрати комплект датчиків які з високою точністю визначають концентрацію компонентів у повітрі;
- розробити алгоритм роботи комплексу обладнання технічного діагностування на оснiвнi роботи принципiв нейронної системи i електронних газових датчикiв;
- перевірити розробленій діагностичний комплекс електронних аналізаторів газів для визначення стану автономного генератора електричної енергії на базі двигуна внутрішнього згорання.

Об'єктом дослідження є інтелектуальна мультисенсорна системи для ідентифікації та оцінки технічного стану електротехнічного обладнання.

Предметом дослідження є система контролю за технічним станом та ефективним функціонуванням електрообладнання.

Методи дослідження. Використовуємо дослідження у сфері мультисенсорних вимірювань та технології злиття даних з метою покращення можливостей моніторингу з точки зору точності вимірювань та інформаційного багатства, тим самим підвищуючи ефективність та точність виробництва, а також аналіз мультисенсорних систем. Викладено особливості побудови системи вимірювання та моніторингу.

Виклад основного матеріалу.

Електронний ніс — електронний прилад, призначений визначення запахів чи при смаків. За останнє десятиліття «електронні сенсорні» або «е-сенсорні» технології зазнали серйозного розвитку з технічної та комерційної точок зору. Термін «електронний сенсор» означає здатність відтворювати людські почуття під час використання сенсорних масивів та відповідних систем розпізнавання. Починаючи з 1982 [1] проводилися дослідження з розвитку технології електронного носа, яка могла б виявляти та розпізнавати запахи та присмаки. Етапи процесу розпізнавання аналогічні до людського нюху: виконується ідентифікація, порівняння, кількісне визначення та інші процеси, включаючи зберігання та пошук даних. Проте гедоністичні оцінки специфічні лише людського носа, оскільки пов'язані з суб'єктивним думкою. Ці пристрої пройшли серйозний розвиток і використовуються у промислових цілях.

В даний час до систем функціональної діагностики двигуна пред'являються такі вимоги:

- Простота в управлінні при практичній експлуатації в умовах складної обробки діагностичної інформації;
- Застосування цифрових інформаційних технологій, універсальних алгоритмів та швидкодіюча апаратура;
- Автоматизація процедур накопичення, систематизації та класифікації статистичних даних випробуваного електродвигуна в цілому;
- Мінімальна маса системи.

Для того, щоб діагностична система працювала з максимальною ефективністю, в кожному конкретному випадку необхідно вирішити задачу вибору мінімально достатньої кількості діагностичних параметрів. Розглянемо структурну схему для електродвигуна на базі синхронного електродвигуна, який набув популярності в останні за рахунок програм по відновлювальній енергетики і розвитку машинобудівництва.

Електродвигун має кілька важливих компонентів які включають в себе:

Ротор - це рухома частина електродвигуна. Він обертає вал, який забезпечує механічну потужність, згадану вище.

2) Статор є нерухомою частиною електромагнітного кола і зазвичай складається з обмоток або постійних магнітів. Сердечник статора складається з багатьох тонких металевих листів, які називаються шарами.

3) Підшипники. Ротор електродвигуна підтримується підшипниками, які дозволяють йому обертатися навколо своєї осі. Ці підшипники, у свою чергу, спираються на корпус двигуна. Вал двигуна

проходить через підшипники до зовнішньої частини двигуна, де прикладається навантаження. Оскільки сили вантажу діють за межі зовнішнього підшипника, вантаж називають «звісаючим».

4) Обмотки – це дроти, укладені в котушки, зазвичай обгорнуті навколо багатополосового магнітного сердечника з м'якого заліза, щоб утворити магнітні полюси під час живлення струмом

5) Повітряний зазор. Хоча повітряний зазор не є фізичним компонентом, він є відстанню між ротором і статором. Повітряний зазор вашого двигуна має важливий вплив і, як правило, є якомога меншим, оскільки великий зазор сильно негативно впливає на продуктивність.

6) Комутатор — це механізм, який використовується електродвигуном для перемикання вхідного сигналу, більшості двигунів постійного струму та деяких двигунів змінного струму.

7) Контактні кільця - вид електричних контактів, виготовлених у вигляді кільця до якого притискаються щітки, що передають енергію

8) Щітковий вузол - забезпечує передачу енергії від провідника на контактні кільця.

9) Провідник - матеріал, що проводить електричний струм.

10) Система охолодження.

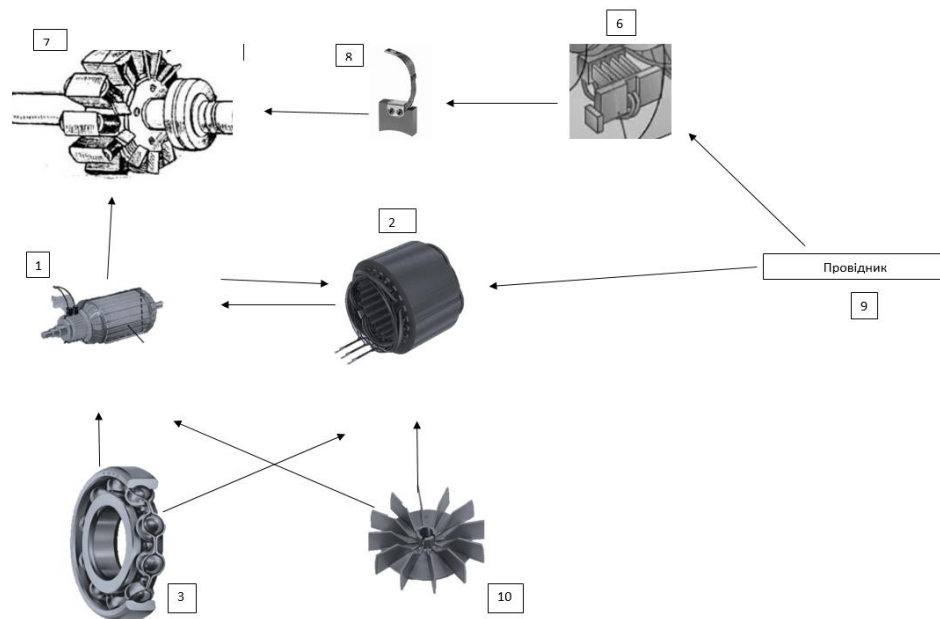


Рисунок 1 – Компоненти електродвигуна

Зазвичай для цієї задачі використовують повітряне охолодження за рахунок вентилятора в вигляді крильчатки встановленої на вал двигуна, яка нагнітаючи повітря, відводить тепло за межі агрегату. Щоб двигун міг працювати в обох напрямках, крильчатки бувають дво-направленими, виготовляють їх із міцного пластику, алюмінію чи сталі. Корпус двигуна зазвичай має ребра, розташовані по шляху руху повітря, що значно покращує охолодження мотора. Проте існують і інші системи охолодження наприклад водяна система яка дозволяє зменшити розміри електродвигуна та збільшити струми та моменти за рахунок більш швидшого охолодження.

Одним з головних критеріїв вибору діагностичного параметру системи серед можливих фізичних параметрів, які характеризують технічний стан, є інформативний. Діагностичний параметр, вибраний за інформативним критерієм, дозволяє з найбільшою вірогідністю визначити стан об'єкта, що досліджується.

Для вибору діагностичного параметру скористаємось структурною схемою (рис.1). Система, що розглядається, складається з N=8 елементів. За можливі стани приймемо відмову кожного елементу. Контроль стану електродвигуна плануємо за кількістю параметрів рівному кількості елементів. Слід відмітити, що в загальному випадку кожний з елементів може мати декілька діагностичних параметрів. В результаті дослідження відмов елементів системи створена таблиця станів (табл. 1). Вірогідність відмов кожного елементу для попереднього розгляду приймемо:

$$P(S_i) = \frac{1}{N} = \frac{1}{8} \quad (1)$$

Вихідна ентропія системи визначається кількістю можливих станів:

$$H(S_i) = \sum_{i=1}^n P(N_i) \log_2 P(N_i) = -8 * (1/8) * \log_2(1/8) = 3, \text{ біт} \quad (2)$$

Позначимо через m_1 - число одиниць в кожному рядку таблиці, m_0 - число нулів в тому ж рядку.

Залишкова невизначеність при контролі кожного параметра на першому кроці обчислюється за формулою.

$$H\left(\frac{A}{Z_k}\right) = \frac{m_1}{N} \log_2 m_1 + \frac{m_0}{N} \log_2 m_0 \quad (3)$$

Таблиця 1 – Таблиця станів

Діагностичний параметр Z_k	стан								$H(A/Z_k)$
	A_8	A_7	A_3	A_1	A_2	A_6	A_9	A_{10}	
1	0	1	1	1	1	1	1	1	2,456436
2	0	0	1	1	1	1	1	1	2,188722
3	0	0	0	1	1	1	1	1	2,045566
4	0	0	0	0	1	1	1	1	2
5	0	0	0	0	0	1	1	1	2,045566
6	0	0	0	0	0	0	1	1	2,188722
7	0	0	0	0	0	0	0	1	2,456436
8	0	0	0	0	0	0	0	0	3

Отримуємо наглядну діаграму (рис.2), з якої видно що для оптимального діагностування достатньо знати 5 параметрів для такого типу двигуна.

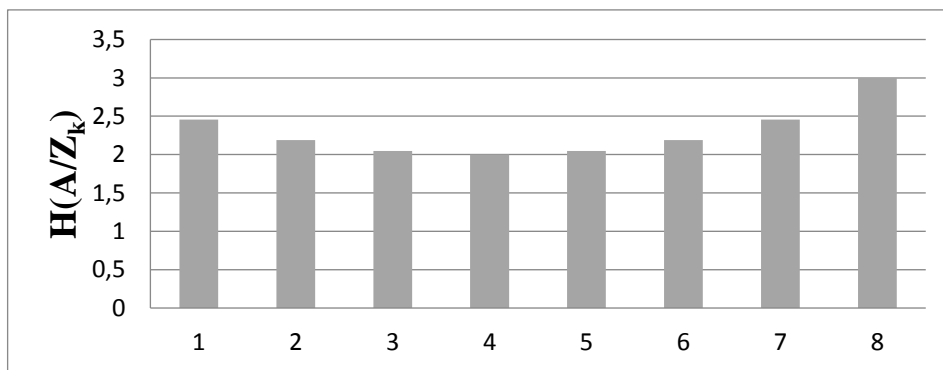


Рисунок 2 – Діаграма ентропії системи

Принцип роботи системи.

Електронний ніс для діагностування електроприводу з Wi-Fi рис. 3 був розроблений для кількісної оцінки та кваліфікації стану електроприводу з можливістю передачі даних на відстань. Для діагностичного обладнання існує ряд вимог. Основними з яких є компактність та простота використання. Звідси випливає основна концепція дизайну установки полягає в інтеграції на одній платі всіх компонентів (тобто джерело живлення, матриця датчиків, Wi-Fi модуль, SD карта, мікро контролер тощо) та установка в компактний корпус.

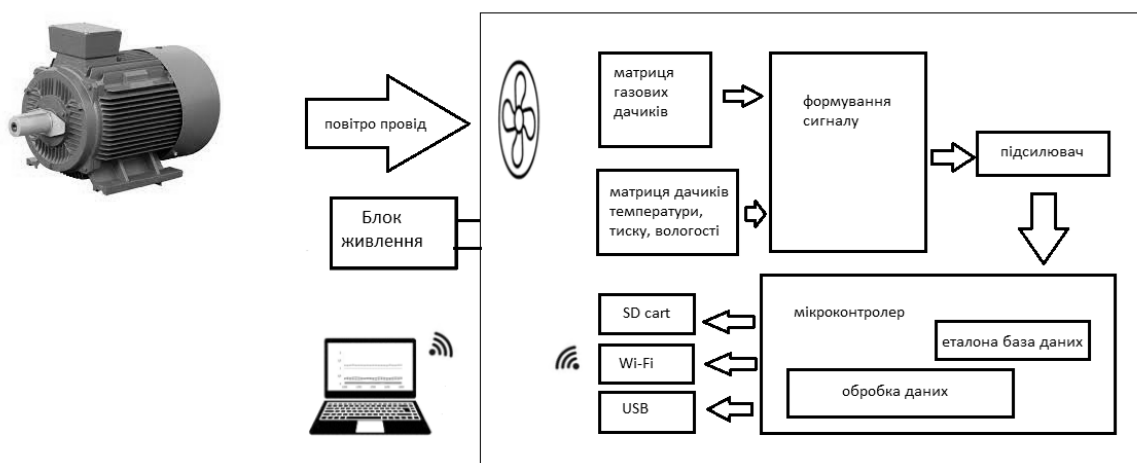


Рисунок 3 - Блок схема

Розроблена система має покращені технічні та експлуатаційні характеристики:

1. Широка номенклатура датчиків та широкий перелік вимірюваних параметрів забезпечують достовірність опису фізичних процесів двигуна та формування повної сукупності вимірювальної інформації, необхідної для функціональної діагностики технічного стану двигуна.

2. Застосування модуля бездротової передачі дозволяє:

– знизити вартість та масо габаритні параметри системи, підвищити надійність передачі даних за рахунок передачі результатів вимірювань датчиків фізичних величин бездротовим каналом;

– збільшити площі та кількість контрольованих об'єктів за рахунок великої кількості каналів передачі;

– збільшити продуктивність системи за рахунок великої швидкості передачі даних.

3. Побудова системи на основі вимірювальних модулів PXI компанії National Instruments, які мають високу продуктивність, забезпечує можливість роботи в режимі реального часу, реєстрацію даних при багатоканальних вимірах електричних сигналів, що характеризуються широкими динамічними та частотними діапазонами, складною формою та високою точністю вимірювань, а також легкість керування великою кількістю датчиків.

4. Метрологічний діагностичний самоконтроль, що реалізується за рахунок вхідних до складу системи цифрових датчиків та спеціального програмно-алгоритмічного забезпечення, забезпечує самодіагностику стану системи, підвищуючи надалі надійність та достовірність діагностики стану двигуна

5. Застосування та розробка нових цифрових датчиків дозволяють отримати повну та достовірну інформацію про технічний стан двигуна.

Нано-сенсорна нейроподібна система "Електронний ніс" включає такі компоненти :

- систему повітропровід для доставки газової проби з аналізованого повітряного об'єму до сенсорної матриці.;

- матрицю високочутливих напівпровідникових детекторів - аналізаторів складу газової фази;

- аналоговий перетворювач вихідного сигналу сенсорів у цифровий код АЦП Е-24. Його характеристики: вісім каналів (одночасно працюють чотири канали); тип/розрядність АЦП сигма-дельта АЦП AD 7714/24 біта; діапазон вхідного сигналу $\pm 2,5$ (програмно встановлюваний коефіцієнт посилення від 1 до 128); частота перетворення, максимальна, 1 кГц; споживання не більше 4 мА (живлення від СОМ-порту при підключенні до порту RS-232, у якого відсутнє двополярне живлення, для роботи з модулем знадобиться зовнішній блок живлення +12 В); габарити 122×70×28 мм;

Термометри опору, що встановлюються в даний час на агрегатах двигуна, що відрізняються високою вібронпруженістю, не забезпечують вимоги щодо вібраційних впливів. В даний час є всі підстави та гарантований заділ для створення нового аналога, але з габаритними розмірами, що відповідають термопарам ТТ135 та ТТ142.

6. Широкий набір функцій обробки даних про параметри або діяльність рухової установки дозволяє отримувати різноманітну спеціальну обробку, що пройшла інформацію, необхідну щодо розширеного аналізу технічного стану двигуна.

7. Дружній інтерфейс відображення інформації забезпечує обслуговуючий персонал найбільш повною інформацією про параметри або діяльність рухової установки.

8. WiFi-роутер для передачі даних по швидкісній.

9. Sd карта для зберігання давних вимірювань і еталонних показників та на випадок перебою зв'язку з інтернетом.

Для обробки даних які надходять від датчиків використовуємо блоки нейронної мережі прямого поширення (НЕП). Якщо є збіг, то для кожної групи інформаційних ознак tn отримуємо макрошар, що містить нейрону мережу з макрошарами (НММ) в залежності від кількості збігів. Так, як рішення приймається завдяки наявності інформації про дефекти в кожному з наявних N слоїв НСМ, тоді вона повинна містити $N+1$ шар. Де вихідний шар призначений для керування рішеннями в кожному наступному. Структурна схема нейронної мережі показана на Рис. 4.

Рис. 4. Структурна схема нейронної мережі з макрошарами для інтелектуальної мультисенсорної системи для ідентифікації та оцінки технічного стану електротехнічного обладнання. Кожна НМС налаштовується за алгоритмом зворотного поширення помилки. Спочатку налаштовуються нейронні мережі першого шару. Потім вже вихідний шар. Для роботи НМ необхідна база даних, у якій виділено три блоки: - база даних; - база моделей нейронних мереж ; - база навчальних вибірок. База даних містить інформацію про стандарти концентрації речовин в повітрі, які необхідно аналізувати та призначені для формування навчальних вибірок.

Висновок

Розроблена система значно перевершує аналоги за максимальною кількістю аналогових та цифрових вимірювальних каналів та цифрових датчиків, що дозволить проводити комплексну автоматизацію процесів тестування електроприводу, знизити кількість відмов, що припадають на рухові установки з рідинними двигунами, скоротити масштаб руйнувань, розширити можливості аналізу стану

обладнання без необхідності відключення та збереження конструкцій установки. Завдяки максимально компактним розмірам установки, маємо можливість проводити виміри в важко доступних місцях, без виводу обладнання з роботи, що мінімізує втрати від простою. Також використання даної системи дозволяє виявити розвиток дефекту на ранніх стадіях розвитку, що перешкоджає і значно зменшує вартість ремонту енергетичного обладнання при виході з справного стану.

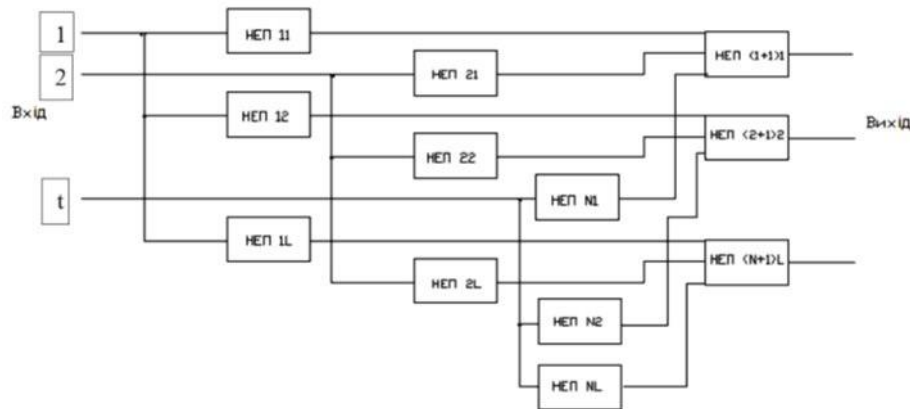


Рисунок 4 - Структурна схема нейронної мережі з макрошарами

Список використаної літератури.

1. Denysiuk S. Assessment of consumers power consumption optimization based on demand side management // EUREKA: Physics and Engineering(2). – 2021. – С. 19-31.
2. Зайченко С. Зменшення ступені невизначеності технічного стану автономного джерела живлення/ С. Зайченко, Р. Куліш// Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали V міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квіт. 2021 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ Том 1, С. 175-178.
3. Zaichenko S. Determination of autonomous electrical energy source technical condition based on an internal combustion engine // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). – IEEE, 2020. – С. 305-308.
4. Zaichenko S. Autonomous electric power source energy efficiency improvement by internal combustion engine gases distribution control // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2020. – С. 262-265.
5. Zaichenko S. Substantiation of diagnostic parameters of autonomous sources of electric energy on the basis of the internal combustion engine at development of system of technical diagnostics // POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology. – 2020. – №. 3. – С. 29-34.
6. Saraoğlu H. M. Elektronik burun teknolojisi ve uygulama alanları. – 2008.
7. Saraoğlu H. M., A. O. Selvi, İnsan Nefesinden Kandaki Glikoz ve HbA1c Değerlerinin Elektronik Burun Kullanılarak Belirlenmesi, 18. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı (BİYOMUT 2014)
8. Saraoğlu H. M. ve Koçan M., “Diyabetli Kan Glukoz değerinin Nefes Kokusundan QCM Sensör Tabanlı Elektronik Burun Kullanılarak Belirlenmesi”, 15. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı (BİYOMUT 2010)
9. Saraoğlu H. M., Selvi A. O. Determination of glucose and HbA1c values in blood from human breath by using radial basis function neural network via electronic nose //2014 18th National Biomedical Engineering Meeting. – IEEE, 2014. – С. 1-4.
10. Зайченко С., Жукова Н., Яковлев Д., Шаленко В., & Корнійчук Б. (2021). Інтелектуальна мультисенсорна система для ідентифікації та оцінки технічного стану електротехнічного обладнання. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, (97), 62–67. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0501>
11. Зайченко С., Яковлев Д. Інтелектуальна мультисенсорна система для ідентифікації та оцінки технічного стану електротехнічного обладнання. XIV науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина» м. Київ, 2022 р. С. 160–163. URL: <https://en.iee.kpi.ua/files/2022/dopovidi2022.pdf>
12. Зайченко С., Яковлев Д. Інтелектуальна мультисенсорна система для ідентифікації та оцінки технічного стану електротехнічного обладнання. Інтелект молоді. Рациональне природокористування та новітні енергоефективні технології, м. Київ, 2022 р. С.57-58 URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50157>

D. Yakovlev¹, Ph. D student, ORCID 0000-0002-8176-6627

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

AN INTELLIGENT MULTI-SENSOR SYSTEM FOR IDENTIFICATION AND ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL EQUIPMENT USING WI-FI

The modern stage of industrial development is characterized by an increasing need for systems to monitor the condition and efficient functioning of electrical equipment. Breakdown or unplanned stoppage of an

electromechanical system engine is accompanied by significant economic losses for enterprises. Therefore, the current stage of industrial development is characterized by an increasing need for systems for monitoring the condition and efficient functioning of electrical equipment.

As a result, due to the rapid development of precision manufacturing technologies, many studies have been conducted in the field of multi-sensor measurement and data fusion technologies to improve monitoring capabilities in terms of measurement accuracy and information richness, thereby increasing production efficiency and accuracy. In a multi-sensor system, each sensor independently measures certain parameters. The system then uses an appropriate signal processing algorithm to combine all the independent measurements into a complete set of measurement results.

An accurate assessment of the technical condition makes it possible to predict the term of the next repair of the equipment, increases the reliability and efficiency of its operation, reduces the damage from downtime of the equipment due to accidents, the costs of repair and restoration of operability, reduces the costs of maintenance and operation of the equipment.

This article presents an overview of an intelligent multi-sensor system for monitoring the process and technological state of electrical equipment. Which in real time with the help of sensors makes it possible to obtain information from the environment and draw conclusions about the condition of the diagnosed equipment. The technology of an intelligent multi-sensor system for identification and assessment of the technical condition of electrical equipment has prospects for wide application in industries. Thanks to the most compact dimensions of the installation, we have the opportunity to take measurements in hard-to-reach places, without removing the equipment from work, which minimizes losses from downtime. Also, the use of this system allows detecting the development of a defect in the early stages of development, which prevents and significantly reduces the cost of repairing power equipment when it is out of service.

Keywords: *energy source, autonomous power supply, multi-sensor system, assessment of technical condition, intelligent system, remote diagnostics.*

References

1. Denysiuk S. Assessment of consumers power consumption optimization based on demand side management //EUREKA: Physics and Engineering(2). – 2021. – P. 19-31.
2. Zaichenko S. Reducing the degree of uncertainty of the technical state of an autonomous power source/ S. Zaichenko, R. Kulish// Applied scientific and technical research: materials of the V International. science-practice conference, April 5-7 2021 - Academy of Technical Sciences of Ukraine. - Ivano-Frankivsk Volume 1, pp. 175-178.
3. Zaichenko S. Determination of autonomous electrical energy source technical condition based on an internal combustion engine // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). - IEEE, 2020. - P. 305-308.
4. Zaichenko S. Autonomous electric power source energy efficiency improvement by internal combustion engine gases distribution control // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). - IEEE, 2020. - P. 262-265.
5. Zaichenko S. Substantiation of diagnostic parameters of autonomous sources of electric energy on the basis of the internal combustion engine at development of system of technical diagnostics // POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology. – 2020. – no. 3. – P. 29-34.
6. Saraoğlu H. M. Electronic technology and applications. - 2008.
7. Saraoğlu H. M., A. O. Selvi, İnsan Nefesinden Kandaki Glikoz ve HbA1c Değerlerinin Elektronik Burun Kullanılarak Belirlenmesi, 18. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Topulması (BİYOMUT 2014)
8. Saraoğlu H. M. and Koçan M., "Diyabetli Kan Glukoz geritinin Nefes Kokusundan QCM Sensör Tabanlı Elektronik Burun Kullanılarak Belirlenmesi", 15. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Topulması (BİYOMUT 2010)
9. Saraoğlu H. M., Selvi A. O. Determination of glucose and HbA1c values in blood from human breath by using radial basis function neural network via electronic nose //2014 18th National Biomedical Engineering Meeting. - IEEE, 2014. - P. 1-4.
10. Zaichenko S., Zhukova N., Yakovlev D., Shalenko V., & Korniyuchuk B. (2021). An intelligent multi-sensor system for identification and assessment of the technical condition of electrical equipment. Mining, construction, road and reclamation machines, (97), 62–67. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0501>
11. Zaichenko S., Yakovlev D. Intelligent multi-sensor system for identification and assessment of the technical condition of electrical equipment. XIV scientific and technical conference "Energy. Ecology. Human" Kyiv, 2022, pp. 160–163. URL: <https://en.iee.kpi.ua/files/2022/dopovid2022.pdf>
12. Zaichenko S., Yakovlev D. Intelligent multi-sensor system for identification and assessment of the technical condition of electrical equipment. The intelligence of youth. Rational use of nature and the latest energy-efficient technologies, Kyiv, 2022. P.57-58 URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50157>

Надійшла: 18.09.2023

Received: 18.09.2023