

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ MONITORING, DIAGNOSTICS AND MANAGEMENT OF ENERGY PROCESSES AND EQUIPMENT

УДК 62-833.4

С.В. Зайченко, проф. д-р, ORCID 0000-0002-8446-5408
Р.Д. Куліш, аспірант, ORCID 0000-0003-0647-1578
Д.Г. Дерев'янка, доцент, к.т.н., ORCID 0000-0003-4963-2490
Н.І. Жукова, доцент, к.т.н., ORCID 0000-0002-4215-6981
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОБҐРУНТУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

В роботі представлено загальну концепцію створення системи діагностування основних структурних елементів і аналізу станів автономних джерел електричної енергії на базі ДВЗ. Проведено аналіз конструктивних особливостей найбільш поширених на ринку України резервних джерел електричної енергії на базі ДВС. Проведений аналіз конструктивних особливостей автономних джерел живлення дозволив розробити логічну модель об'єкта дослідження. Розроблена логічна схема дослідження дозволяє встановити взаємозв'язок між основними структурними елементами системи, а також визначити можливі стани системи. Для визначення кінцевої кількості діагностичних параметрів серед нескінченної кількості можливих комбінацій фізичних параметрів, що характеризують систему, запропоновано інформаційний критерій. У якості інформаційного критерію запропоновано поняття ентропії К. Шеннона. Застосування даного критерію дозволило встановити діагностичні параметри, які з найбільшою ефективністю знижують ступінь невизначеності системи. Діагностичний параметр, який має найменшу остаточно ентропію системи і максимально впливає на стан автономного джерела електричної енергії на базі ДВЗ, визначає технічний стан карбюратора.

Ключові слова: система діагностування, джерело електричної енергії, двигун внутрішнього згорання, генератор

Вступ

Сучасний етап розвитку енергетики характеризується широким застосуванням альтернативних та відновлюваних джерел енергії. Такі системи в цілому є складними за своєю структурою і мають високу питому вартість електричної енергії. Доступність відновлюваних джерел енергії дозволяє використовувати їх як автономні, проте ефективність і надійність повністю залежить від циркадних ритмів і сезону. Вказані особливості суттєво обмежують застосування альтернативних джерел енергії у якості надійного автономного джерела живлення електричною енергією [1,2]. Наявність надійного резервного джерела живлення електричною енергією на сучасному підприємстві є запорукою безпечної і якісної роботи.

Єдиним надійним і економічно ефективним рішенням резервування джерел живлення залишаються енергетичні установки на базі двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). Використання даного типу обладнання для генерації електричної енергії військовими та судновими енергетичними установками є свідченням його найвищої надійності і безпечності серед можливих варіантів автономного живлення [3-5].

Частота використання резервного джерела живлення залежить від надійності основної системи енергозабезпечення і може коливатись від поодиноких пусків за рік до щоденного використання. При

© С.В. Зайченко, Р.Д. Куліш, Д.Г. Дерев'янка, Н.І. Жукова, 2020

цьому показник готовності обладнання суттєво знижується як в першому випадку за рахунок інтенсивного зношування, так і в другому внаслідок інтенсивного старіння полімерних елементів системи і погіршення якості паливно-мастильних матеріалів, що призводять до відкладень в каналах вузлів живлення ДВЗ, розмагнічування ротора тощо. Вказані процеси, що проходять у автономних джерелах живлення на базі ДВЗ, потребують постійного контролю для можливості використання даного обладнання у якості резервного джерела живлення електричною енергією. Рішенням даної задачі є розробка системи діагностування автономних джерел енергії на базі ДВЗ.

При вирішенні задачі визначення технічного стану автономних джерел енергії на базі ДВЗ дослідники в залежності від поля своєї діяльності приділяють увагу механічній(ДВЗ) або електромеханічній частині(альтернатор) об'єкту[6]. Розглядаючи тільки частину об'єкту, виділяються можливі стани і діагностичні показники, які можуть визначати стан лише окремої складової частини. Таким чином для визначення стану об'єкта необхідно реалізувати цілий комплекс перевірок для окремих складових, що суттєво збільшує час і вартість діагностування. Мінімізувати витрати процесу діагностування можливо при розгляді об'єкта в цілому з визначенням його структури, можливих станів і необхідних перевірок.

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження є розробка нової системи технічного діагностування на основі визначення основних діагностичних структурних елементів і станів автономних джерел енергії на базі ДВЗ з врахуванням особливостей взаємодії електромеханічної і механічної складових.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувались наступні задачі:

- Розробка структурної схеми джерел енергії на базі ДВЗ з врахуванням особливостей взаємодії електромеханічної і механічної складових, що дозволить встановити взаємні впливи різних частин об'єкту дослідження на його стан;
- Визначення можливих станів автономних джерел енергії на базі ДВЗ;
- Встановлення необхідних перевірок для визначення станів автономних джерел енергії на базі ДВЗ.

Матеріал і результати дослідження

При розробці структурної схеми автономного джерела електричної енергії(АДЕЕ) на базі ДВЗ розглянемо типову конструкцію яка знайшла найбільше застосування на підприємствах і в приватних господарствах. Прототипом більшості станцій, які присутні на ринку України, є бензинові генератори Honda потужністю 2,5-5 КВт. Дана лінійка генераторів використовує чотириохтактний двигун внутрішнього згорання з повітряним охолодженням серії GX об'ємом від 163 до 389см³. Особливістю даного типу двигунів є відсутність системи змащування під тиском - змащування відбувається розбризкуванням. В основі паливної системи використовується поплавковий карбюратор серії P19. Газорозподільна система містить бокове двоклапанне SOHC управління з нижнім розподільчим валом і постійними фазами. Більшість генераторів використовує у якості альтернатора синхронний електрогенератор з автоматичним регулятором напруги(AVR), який містить обмотки ротора і статора. Частота обертання ротора електрогенератора підтримується за допомогою відцентрового регулятора частоти, пов'язаного з карбюратором. Можливі різні варіації компоновки окремих вузлів, так наприклад, конструкція двигуна дозволяє переобладнання паливної системи на змішану систему: паливо і газ. Система пуску двигуна також може бути різною: ручний пуск, електричний або комбінований. У якості системи запалювання використовується електронна схема з закріпленням на маховику магнітом. Оскільки основним призначенням даних автономних джерел є резервне забезпечення електричною енергією, можлива комплектація блоком автоматичного пуску.

На основі аналізу роботи автономних джерел електричної енергії на базі ДВЗ розроблена логічна модель (рис. 1.). З структури логічної схеми слід відзначити взаємний вплив блоків двигуна і альтернатора, що підтверджує необхідність розглядати систему цілісно.

Для того, щоб діагностична система працювала з максимальною ефективністю, в кожному конкретному випадку необхідно вирішити задачу вибору мінімально достатньої кількості діагностичних параметрів[7]. 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 АДЕЕ на базі ДВЗ (рис. 1). Система, що розглядається, складається з $N=16$ елементів. За можливі стани прийемо відмову кожного елемента. Контроль стану автономного джерела плануємо за кількістю параметрів рівному кількості елементів $k=16$. 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 елемента для попереднього розгляду прийемо:

Таблиця 1. – Таблиця станів

Діагностичний параметр Z_k	Стани																$H\left(\frac{A}{Z_k}\right)$
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3,662
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3,662
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3,662
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3,011
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3,662
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3,011
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3,011
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3,011
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,662
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,662
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,662
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,662
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,662
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,662
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	∞

На основі розрахунків побудовано діаграму ентропії системи, яка дозволяє встановити інформативну значимість діагностичного параметру.

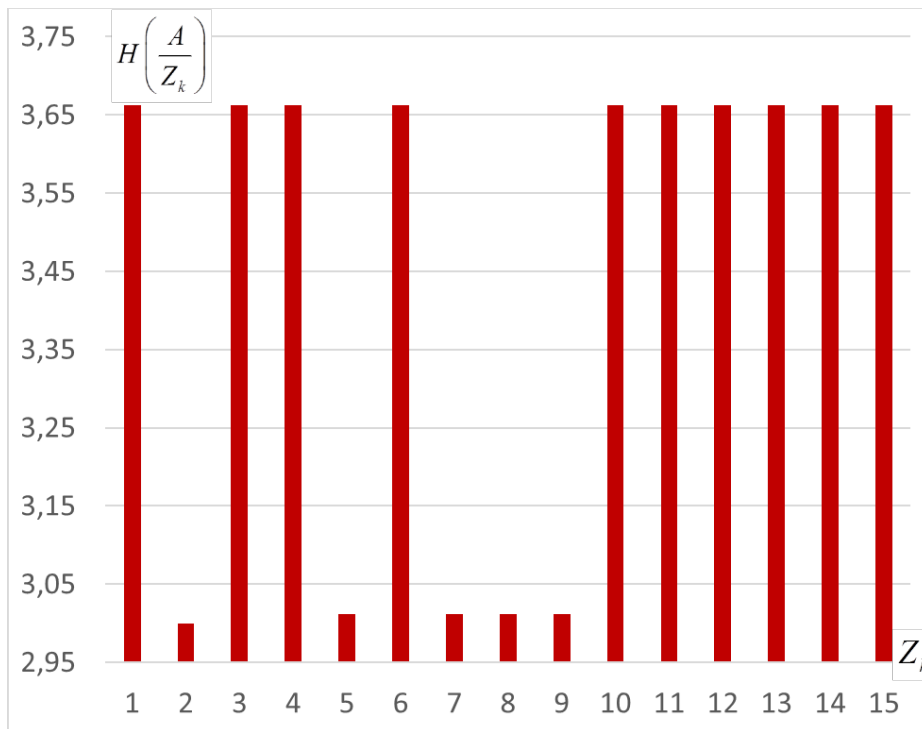


Рис. 2 Діаграма ентропії системи

Роботу системи газорозподілу і циліндро-поршневої групи можна оцінити за величиною струму стартера при роботі двигуна в компресорному режимі.

Справність роботи регулятора частоти обертання можливо оцінити шляхом аналізу кривої генерованої напруги.

Основною причиною несправної роботи заліза ротора є його розмагнічування. Діагностичним параметром відсутності або низького значення напруженості магнітного поля є низьке значення напруги на обмотках статора.

Висновки

1. Розроблена структурна схема автономного джерела енергії на базі ДВЗ з урахуванням особливостей взаємодії електромеханічної та механічної складових, що дозволяє встановити взаємні впливи різних частин об'єкту дослідження на його стан.

2. Створено таблицю можливих станів системи при дефекті одного вузла. У припущенні рівновірогідного виникнення відмов елементів системи, визначено такі, що мають найбільший вплив на невизначеність стану системи. При створенні системи технічного діагностування їх стан має визначатись першочергово (карбюратор, система газорозподілу, циліндро-поршнева група, регулятор частоти обертання, залізо ротора). Проте, для безоperatorного діагностування найбільш вірогідно, що кількість таких елементів буде збільшено.

3. На основі критерію інформативності визначено необхідні діагностичні параметри системи і необхідні перевірки, які з максимальною ефективністю зменшать ступінь ентропії системи.

Список використаної літератури

1. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії [Текст] : навч. посіб. / І. О. Сінчук [та ін.] ; під ред. д-ра техн. наук, проф. Сінчука О. М. - Кременчук : Щербатих О. В., 2013. - 192 с. : рис. - Бібліогр.: с. 187-191. - 300 прим. - ISBN 978-617-639-043-5

2. Абрашин В.О., Новіченок С.М. Можливості застосування альтернативних джерел електричної енергії у збройних силах України - Системи озброєння і військова техніка, 2010, № 3(23) – с. 7 - ISSN 1997-9568

3. Гаспарян Т. Г. Двигатель внутреннего сгорания // Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2017); URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/4341616

4. Гильмияров Е.Б., Цветков В.В. Многокритериальный подход к выбору судовой энергетической установки. - Вестник МГТУ, том 9, №3, 2006. - с. 12 - URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v09_3_n23/articles/17_gilmi.pdf

5. Правила классификации и постройки морских судов – Российский морской регистр судоходства, том 2, 2003. - с. 618 - ISBN 5-89331-085-3 - URL: http://old.msun.ru/folders/edu_lit/kaf/sv/data/addition/Registr/Registr.pdf

6. Maughan C. V., 2005. 'Root-cause diagnostics of generator service failures'. Electrical Insulation, 1988, Conference Record of the 1988 IEEE International Symposium on (IEEE Int Symp Electr Insul). URL: https://www.researchgate.net/publication/224622606_Root-cause_diagnostics_of_generator_service_failures

7. Четвергов В.А., Овчаренко С.М., Бухтеев В.Ф. Техническая диагностика локомотивов / под ред. В. А. Четвергова. - М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. - 371 с. - ISBN 978-5-89035-752-6.

8. Zaichenko S. et al. 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.

9. Zaichenko S. et al. 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.

10. Zaichenko S. et al. Determination of the Diagnostic System Inertial Parameters for Power Generating Station Combustion Engine //2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2019. – С. 88-91.

S. Zaichenko, prof. Dr., ORCID 0000-0002-8446-5408

R. Kulish, graduate student, ORCID 0000-0003-0647-1578

D. Derevyanko, Associate Professor, Ph.D., ORCID 0000-0003-4963-2490

N. Zhukova, Associate Professor, Ph.D., ORCID 0000-0002-4215-6981

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

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

The paper presents a method for selecting diagnostic parameters for creating a system for diagnosing autonomous sources of electricity based on an internal combustion engine (ICE). A literary search for autonomous sources of electricity was conducted. The expediency of using internal combustion engines as autonomous sources of electric energy is determined. The analysis of design features of the most widespread in the market of Ukraine reserve sources of electric energy on the basis of internal combustion engines is carried out. The analysis of the

design features of autonomous power supplies allowed a developing of a logical model of the object of study. The developed logical scheme of the research allows to establish the relationship between the main structural elements of the system, as well as to determine the possible states of the system. The consequences of the occurrence of a faulty state of each element on the other elements of the system are analyzed, and the results of the analysis are summarized in the table. An informative criterion is proposed to determine the finite number of diagnostic parameters among the infinite number of possible combinations of physical parameters that characterize the system. The concept of information entropy of K. Shannon is offered as an informative criterion. Equally probable cases of exit from the working condition of each of the elements of the system are considered. Applying the concept of Shannon's information entropy, the residual entropies of the system at the faulty state of one of the nodes of the autonomous power supply are determined. The criterion of informativeness is the value of residual entropy. The application of this criterion allowed determine of the elements of the system that most effectively reduce the degree of uncertainty of the system. The element of the system that has the lowest residual entropy has the maximum effect on the state of the autonomous power source based on the internal combustion engine. Based on the values of residual entropy, the nodes of the system are selected, the state of which should be primarily monitored by the diagnostic system. For such elements diagnostic parameters are defined, and ways of their reception are resulted.

Keywords: *diagnostic system, diagnostic parameter, power source, internal combustion engine, generator.*

REFERENCES

1. Netradytisyni ta vidnovlyuvani dzherela energii [Text]: navch. posib. / I. O. Sinchuk [et al.]; pid red. d-ra tekhn. nauk, prof. Sinchuka O.M. – Kremenchuk: Scherbatykh O. V., 2013. - 192 s.: rys. – Bibliogr.: s. 187-191. – 300 prym. – ISBN 978-617-639-043-5
2. Abrashin V.O., Novichonok S.M. Mozhivosti zastosuvannya alternativnikh dzherel elektrichnoi energii u zbroinikh silah ukrainy – Systemi ozbroynnja i viyskova tekhnika, 2010, № 3(23) – 7 s. - ISSN 1997-9568
3. Gasparyan T. T. Dvygatel vnutrennego sgoraniya // Bolshaya rossiyskaya enciklopediya. Electronnaya versiya (2017); https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/4341616
4. Gimiljarov E.B., Tsvetkov V.V. Mnogokriterialniy podhod k viboru sudovoi energeticheskoi ustanovki. – Vestnik MGTU, tom 9, №3, 2006 г. – 12 s. – URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v09_3_n23/articles/17_gilmi.pdf
5. Pravila klassifikatsii i postroiки morskikh sudov – Rossiyskiy morskoi registr sudohodstva, tom 2, 2003. – 618 s. - ISBN 5-89331-085-3 – URL: http://old.msun.ru/folders/edu_lit/kaf/sv/data/addition/Registr/Registr.pdf
6. Maughan C. V., 2005. ‘Root-cause diagnostics of generator service failures’. Electrical Insulation, 1988, Conference Record of the 1988 IEEE International Symposium on (IEEE Int Symp Electr Insul). URL: https://www.researchgate.net/publication/224622606_Root-cause_diagnostics_of_generator_service_failures.
7. Chetvergov V. A. et al. Technicheskaya diagnostika lokomotivov / Chetvergov V. A., Ovcharenko S. M., Bukhteev V. F. // pod red. V. A. Chetvergova. – M.: FGBOU “Uchebno-metodicheskiiy centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte”, 2014. – 371 s. - ISBN 978-5-89035-752-6.
8. Zaichenko S. et al. Determination of autonomous electrical energy source technical condition based on an internal combustion engine //2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). – IEEE, 2020. – C. 305-308.
9. Zaichenko S. et al. 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. – C. 262-265.
10. Zaichenko S. et al. Determination of the Diagnostic System Inertial Parameters for Power Generating Station Combustion Engine //2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2019. – C. 88-91.

Надійшла 28.10.2020
Received 28.10.2020