

**Обладнання для виробництва і ремонту**  
**засобів транспорту. Сервісне обслуговування і технічний**  
**огляд автомобілів**

УДК 629.03

DOI: 10.30977/VEIT.2018.13.0.108

**СИНТЕЗ ЕКСПЕРТНОЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ СИСТЕМИ**  
**ЕЛЕКТРОПРИВОДУ АВТОМОБІЛЯ**

**Бороденко Ю. М.<sup>1</sup>,**

**<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

***Анотація.** Розглянуто питання побудовання діагностичної системи електроприводу автомобіля з використанням експертної програми. Описана процедура формування бази знань експертної системи. Наведено функціональну схему інтегрованої системи самодіагностики.*

***Ключові слова:** електропривод, вентиляна машина, тягова акумуляторна батарея, перетворювач напруги, спектральний аналіз, діагностична система, експертна програма.*

**Вступ**

Поновлення якісного складу автотранспортних засобів відбувається все більш інтенсивніше. Автомобілі з електричним приводом (ЕП) в цій гонці, займають перші позиції. Така тенденція визначає актуальність оперативного контролю технічного стану автомобілів даного класу в процесі їх експлуатації.

На борту сучасних автомобілів використовуються інтегровані діагностичні системи, здатні виконувати пасивні (інформування) і активні (підтримка працездатності) функції під час транспортного процесу. Основу таких систем складають мікропроцесорні пристрої, в яких втілені експертні програми. В даній статті розглянуто питання, пов'язані з розробкою аналогічної системи самодіагностики, стосовно силової частини ЕП автомобіля.

**Аналіз публікацій**

Діагностичні системи для перевірки механічних та електричних систем сучасного автомобіля, які базуються на електричних вимірюваннях, можна класифікувати за декількома загальними ознаками: ступенем автоматизації (неавтоматичні, автоматизовані або автоматичні); способом реалізації (електронні, комп'ютеризовані або комп'ютерні); містом базування (зовні, інтегровані); призначенням (інформаційні, самодіагностики, адаптації, резервування). Сучасні бортові діагностичні системи надаються як програмні продукти комп'ютерної діагностики, що інтегруються в автомобільні системи керування [1, 2].

Експертна система (ЕС) – програма, що використовує експертні знання спеціалістів для

забезпечення ефективного рішення неформалізованих задач в інтерактивному режимі. Для неформалізованих задач характерні певні ознаки: завдання не можуть бути задані в числовій формі; мету не можна виразити в термінах точно визначеної цільової функції; не існує алгоритмічного рішення задачі; наявність ознак помилковості, неоднозначності і суперечливості вихідних даних. Програми ЕС використовуються в системах керування та засобах комп'ютерної діагностики автомобілів [3].

Оперативний контроль діагностичних параметрів ЕП дозволяє своєчасно встановити факт наявності несправності, локалізувати місце пошкодження і вплинути на систему з метою уникнення аварійної ситуації. Найбільш детальну інформацію про технічний стан електричної машини можна отримати методом спектрального аналізу струмів в колах його живлення [4].

В [5, 6] проведені віртуальні дослідження електричних процесів в силових колах системи ЕП з вентиляним синхронним двигуном, який живиться від високовольтної акумуляторної батареї (ВАБ). Доведено, що параметри, які характеризують спектральний склад функції струму розряду тягової ВАБ, як найкраще задовольняють вимогам, що висуваються до діагностичних параметрів з позицій інформативності, чутливості та технологічності вимірювання. Наступним кроком в [7, 8] проведено дослідження Matlab-моделей систем ЕП в статусі двигуна та генератора, як об'єктів діагностики, шляхом спектрального аналізу функції струму в колі ВАБ. Вигляд спектрограм,

отриманих за результатами моделювання, виправдовує напрямок досліджень.

### Мета досліджень та постановка задачі

Дослідження за даним напрямком складаються з декількох етапів: аналізу структури ЕП, як об'єкту діагностики; побудування імітаційних моделей і моделювання експлуатаційних режимів ЕП; формування бази знань ЕС; реалізації вимірювального каналу та аналізатору спектру поточних даних (системи моніторингу). Метою досліджень на даному етапі є синтез діагностичної системи для ідентифікації технічного стану ЕП автомобіля. Первинними задачами, при цьому, є визначення процедури формування бази знань ЕС і побудування функціональної схеми діагностичної системи.

Процедура формування бази знань ЕС полягає у спостереженні спектрального складу функції струму у колі живлення ЕП і накопичення діагностичної інформації під час імітації пошкодження її елементів в експлуатаційних режимах. При вирішенні другої задачі слід передбачити виконання декількох активних функцій діагностики: аварійне відключення електроживлення під час пуску ЕП; тестування ЕП на режимі холостого ходу; адаптацію керуючих впливів і резервування функціональних блоків під час транспортного процесу.

Реєстрація несправності під час пуску дозволяє уникнути важких наслідків. Тестування на режимі холостого ходу запобігає аварійній ситуації, що може виникнути під час

руху автомобіля. Моніторинг технічного стану системи під час транспортного процесу, забезпечує аварійний режим функціонування ЕП.

### Характеристика об'єкту діагностики

Як об'єкт діагностики в роботі розглядається система ЕП автомобіля з одною вентиляційною електричною машиною подвійної дії GM. Така система здатна функціонувати у двох статусах – приводу (двигуна) і енергетичної установки ЕУ (генератору). В першому випадку, система живиться від первинного джерела напруги ВАБ. У статусі ЕУ система реалізує рекуперативний процес заряду ВАБ за рахунок енергії гальмування та руху накатом.

Експлуатаційні режими ЕП задаються положенням педалей акселератора (ДПА) та гальм (ДПГ). Для узгодження напруги живлення споживачів та джерел енергії (ВАБ і GM) використовуються чотири перетворювача напруги: інвертор; випрямляч; перетворювач, що підвищує постійну напругу (ППН); перетворювач, що знижує постійну напругу (ПЗН). Керування вентиляційною машиною GM забезпечує контролер КЕМ на підставі сигналів з датчиків ДПА, ДПГ ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ), кутового положення і швидкості обертання валу машини  $\omega$ . Вихідні напруги DC/DC перетворювачів ППН і ПЗН регулюються частотними сигналами  $f_1$  і  $f_2$ , які надходять з КЕМ. Швидкісний режим електродвигуна визначається сигналами комутації інвертора  $f_n$ . (рис. 1).

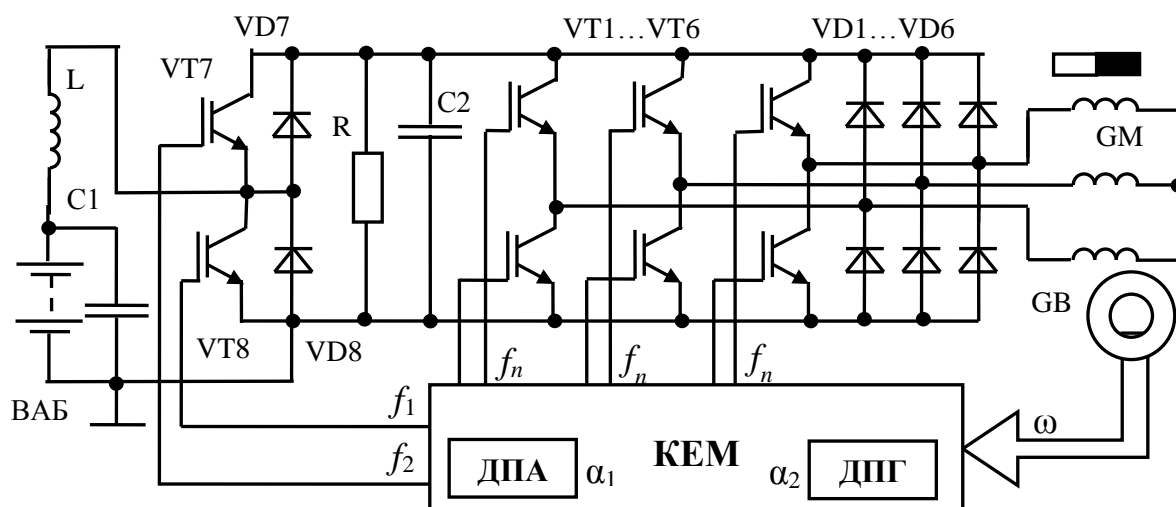


Рис. 1. Схема електричних силових кіл системи електропривода

На схемі позначено: L – індуктивний реактор; VT1...VT6 – транзисторні ключі інвертора; VD1...VD6 – трьох-фазний випрямляч; VT7 – транзисторний ключ ПЗН; VT8 – транзисторний ключ ППН.

В статусі двигуна період робочого циклу електричних процесів в схемі ППН визначається часом перемикання струму в реакторі L транзисторним ключем VT8. Під час замкнутого стану ключа до реактора підведена напруга ВАБ під дією якої в колі виникає струм, що зростає з часом до сталого значення. На час розмикання ключа реактор індукує імпульси підвищеної електрорушійної сили (ЕРС). Інтегруючий конденсатор C2 на виході схеми перетворювача підтримує постійну напругу на рівні амплітудних значень. Діод VD7 виключає розряд конденсатора C2 через транзисторний ключ, під час його відчиненого стану. Діод VD8 захищає транзисторний ключ VT8 від імпульсної перенапруги, що виникає внаслідок комутації струму в реакторі L. Буферний конденсатор C1 згладжує кидки напруги в колі живлення під час перехідних процесів. Діоди випрямляча VD1...VD6 в режимі двигуна забезпечують захист транзисторів інвертора від перенапруги, що виникає внаслідок комутації струму в обмотках електричної машини.

В статусі генератора, мост VD1...VD6 виконує функції випрямляча трьох-фазної напруги, яку виробляє електрична машина. Оптимальний режим зарядки ВАБ в статусі генератора підтримується ключем VT7 перетворювача ПЗН. Зниження напруги та відповідно

зарядного струму ВАБ відбувається за рахунок зростання індуктивного опору реактора L в наслідок підвищення частоти перемикання ключа VT7.

### Формування бази зразкових даних

Основу ЕС складає база знань, яка призначена для зберігання довгострокових даних, що описують об'єктну область і правила доцільних перетворень даних цієї області. Аналіз об'єктної області в ЕС здійснюється шляхом вибору адекватного рішення із бази знань при надходженні бази даних, які визначають окремі факти, що характеризують об'єкти, процеси та явища в предметній області.

Стосовно діагностики автомобіля, як об'єктна область розглядається мехатронна система, а як предметна – її технічний стан. В такому разі, як база знань розглядаються допустимі (еталонні) значення діагностичних параметрів і алгоритми функціонування справної системи (далі по тексті – база даних), а як база даних – поточні (фактичні) значення діагностичних параметрів і алгоритми функціонування системи по факту їх реалізації (далі по тесту – поточні дані). Зрозуміло, що вся поточна інформація про стан мехатронної системи, яка надходить та зберігається в ЕС являє параметри електричних величин (сигналів), які аналізуються в інтерпретованому (кодовому) виді шляхом порівняння. При цьому, можна розглядати і апаратну складову ЕС. Узагальнена схема процесу формування бази знань для ідентифікації технічних станів (справного і несправних) ЕП показана на рис. 2.

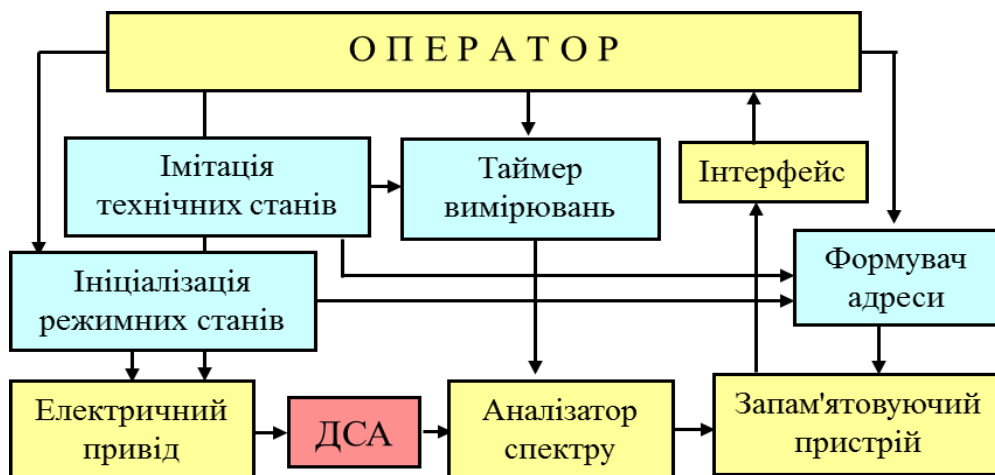


Рис. 2. Схема процесу формування бази зразкових даних

Оператор послідовно імітує несправності системи ЕП шляхом розмикнення кіл (режим холостого ходу) та перемикання елементів

(режим короткого замикання) та забезпечує функціонування ЕП у експлуатаційних режи-

мах автомобіля. Моніторинг режимного та технічного станів ЕП здійснюється за допомогою датчика струму акумуляторної батареї (ДСА) у вигляді періодичного сигналу, який конвертується аналізатором спектру. Таймер вимірювань, нормований оператором, призначає необхідну тривалість часу аналізу функції струму. Відповідно до режиму функціонування ЕП і заданому пошкодженню, оператор визначає адресу запису спектрограми у двовірному форматі. Перша координата, формованої таким чином характеристичної карти, визначає чарунку пам'яті де зберігається інформація про діагностичний параметр за ознакою режимного стану, а друга – за ознакою технічного стану на час проведення експерименту.

Таким чином, об'єм пам'яті, потрібної для зберігання бібліотеки зразкових значень параметрів, визначається переліком режимних станів (кількістю функціональних тестів) і технічних станів (кількістю можливих несправностей). Для ЕП розглядаються чотири режими (функціональні тести) у статусі двигуна і два режими у статусі генератора: холостий хід та пуск електродвигуна без навантаження і під визначеним навантаженням; обертання електродвигуна під стаціонарним навантаженням; підключення ВАБ до генератора під напругою; заряд ВАБ фіксованим значенням струму в режимі рекуперації.

Формування бази знань можна проводити двома шляхами – натурального експерименту на фізичному рівні або віртуальних досліджень імітаційної моделі. В першому випадку, потрібно мати реальний автомобіль з ЕП (об'єкт діагностики), на якому забезпечуються необхідні режими функціонування (ініціалізація режимних станів) та є можливість послідовно спричиняти пошкодження елементів електричних кіл та їх відновлення (імітація технічних станів) без важких наслідків та марних втрат. Крім того, потрібна апаратура для реалізації вимірювального каналу (інтегрований датчик ДСА), перетворення сигналу (аналізатор спектру, таймер вимірювань) і збереження отриманої інформації (формуваць адреси, запам'ятовуючій пристрій, інтерфейс користувача).

На етапі попередніх досліджень при розробці діагностичної системи доцільним є другий підхід – віртуальні дослідження де витратна частина розробки зводиться до наявності персонального комп'ютера ПК з відповідним програмним забезпеченням ПЗ.

Згідно методики досліджень, імітаційні

моделі ЕП будуються окремо для статусу двигуна і статусу генератора. Для визначених режимів ЕП проводиться спектральний FFT-аналіз функції струму батареї. Чутливість діагностичного параметру, в такому разі, визначається розбіжністю амплітуд та фазових зсувів окремих гармонік спектру для заданого режиму ЕП, а інформативність – розбіжністю спектрограм обраного режиму для різних технічних станів (справного та несправних). Результати попередніх досліджень, з цього приводу, показують, що для кожного режиму функціонування і технічного стану ЕП слід обирати певні формати спектрограм. Такий підхід дозволяє відокремити на спектрограмах характерні (з домінуючою амплітудою) складові (комбінації складових) за якими ідентифікуються несправні стани системи.

Як найбільш ймовірні несправні стани силового кола при структурній ідентифікації можна розглядати значний перелік апаратних пошкоджень: пробой (короткі замикання) та перегорання (обриви) напівпровідникових приладів; обриви пасивних елементів і короткі замикання монтажу; обриви обмоток вентиляційної машини. До цього переліку можна додати стани при параметричній ідентифікації несправностей, такі як виткові замкнення в обмотках вентиляційної машини та відхилення параметрів пасивних елементів від нормованих значень.

Таким чином, враховуючі контрольовану кількість режимів функціонування (режимних станів) системи електроприводу  $N$  й кількість можливих пошкоджень (технічних станів)  $n$  маємо значний перелік спектрограм, які розглядаються, як база зразкових даних (база знань) експертної системи самодіагностики. Якщо, кількість гармонік, розглянутих в кожній спектрограмі технічного стану, позначити числом  $m$ , то загальний формат (об'єм пам'яті) потрібний для зберігання бібліотеки станів за амплітудним показником визначиться перемноженням  $F=2 \times N \times n \times m$ . Подвоєння формату пояснюється необхідністю зберігати граничні значення (коридор допусків) амплітуди кожної гармоніки. Загальний об'єм пам'яті у кодовому наданні, при цьому, залежить від обраної розрядності коду інтерпретованої амплітуди окремих гармонік. Якщо технічні стани ідентифікувати ще й за фазовим зсувом окремих гармонік спектру, можна значно підвищити інформативність спектрограм. Однак при цьому, відповідно, формат бібліотеки даних і об'єм пам'яті для її зберігання значно зростає.

### Побудування функціональної схеми діагностичної системи

При апаратній реалізації системи цифрової обробки сигналу на схемі розглядають функціональні блоки, при програмній – програмні

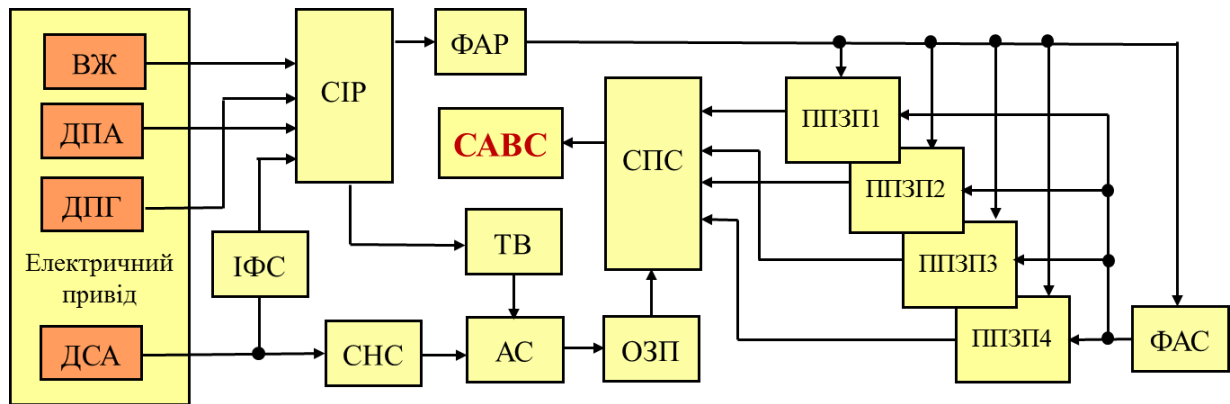


Рис. 3. Функціональна схема експертної діагностичної системи електроприводу

На рисунку, крім згаданих раніше, позначено функціональні блоки (програмні модулі): ВЖ – вимикач живлення; ІФС – інтегратор функції струму; СІР – схема ідентифікації режиму; СНС – схема нормалізації сигналу; ФАР – формувач адреси режиму; ТВ – таймер вимірювань; АС – аналізатор спектру; СПС – схема порівняння сигналів; ОЗП – оперативно-запам'ятовуючий пристрій; ППЗП – постійно програмований запам'ятовуючий пристрій; ФАС – формувач адреси стану; САВС – схема аварійного відключення і сигналізації.

Під час експлуатаційних режимів автомобіля з органів керування ЕП (ВЖ, ДПА, ДПГ) і датчика ДСА надходять сигнали до блоку СІР, який ідентифікує поточний режимний стан за допомогою внутрішньої ЕС (відокремлення тестових ситуацій). При цьому, завдяки блоку ІФС аналоговий сигнал інформує про середнє значення (ступень навантаження електродвигуна) та направлення струму у колі ВАБ (статус ЕП).

Одночасно, нормований (блок СНС) сигнал з ДСА надходить в аналізатор спектра АС. Сигнал про наявність тестової ситуації з СІР запускає таймер ТВ, який регламентує тривалість аналізу спектра в АС. Отримана спектрограма поточного режиму деякий час зберігається в ОЗП. В цьому же циклі, двійковий код номеру режимного стану з СІР через ФАР формує код адреси ППЗП де зберігається база еталонних даних поточного режиму. Адресний сигнал з ФАР запускає послідовний перегляд (сканування) адрес обраного номера ППЗП де зберігаються еталонні спектрограми

модулі. У будь-якому випадку функціональна схема бортової експертної діагностичної системи ЕП автомобіля має вигляд певної структури (рис. 3).

технічних станів системи ЕП на заданому поточному режимі. Сканування починається з спектрограми, що характеризує справний стан.

Таким чином на схему порівняння СПС, з одного боку подається спектрограма фактичної функції струму ВАБ на поточному режимі, з іншого, – послідовно надходять еталонні спектрограми з відповідного номеру ППЗП. Вразі, якщо спектрограми збігаються, на виході СПС формується сигнал, в якому міститься інформація про технічний стан системи ЕП.

Якщо система справна (збіг на першому порівнянні) сигнал з СПС ігнорується. Вразі наявності визначеної несправності, відповідний код надсилається в пам'ять помилок (як в системах самодіагностики) і на сигналізатор інформаційної системи водія. Поряд з цим, код несправності надходить в блок САВС, через який реалізуються активні функції системи самодіагностики (резервування, відключення живлення, адаптація сигналів керування).

### Висновки

Базу зразкових даних діагностичної експертної системи можна формувати двома методами – натурального експерименту та віртуальних досліджень. Процес формування бази знань, в останньому випадку, передбачає суб'єктивні дії оператора або реалізацію на програмному рівні в автоматичному режимі.

Функціональна схема інтегрованої системи самодіагностики ЕП складається з чоти-

рхох основних частин: вимірювальної (ідентифікація режиму); частини, що аналізує сигнал (АЦП); бібліотеки параметрів (бази даних); прийняття рішення (забезпечення аварійного режиму).

Експертна діагностична система запропонованої структури здатна вирішувати декілька задач пасивної і активної діагностики: визначати несправний елемент ЕП; забезпечувати аварійний режим функціонування шляхом резервування апаратних елементів та програмного заміщення втраченої інформації; встановлювати причини та закономірності прояву несправності елементів на експлуатаційних режимах; мінімізувати негативні наслідки пошкоджень елементів та монтажу; упереджувати аварійний стан системи.

### Література

1. Top 6 Car Diagnostic Software in 2017. / Матеріали сайту – 2018. – Режим доступу: <http://www.archer-soft.com/en/blog/>.
2. On-board diagnostics. / Матеріали сайту – 2018. – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/>.
3. Nana Yaw Asabere, Simonov Kusi-Sarpong. A Mobile Vehicle Expert System for the Automobile Industry / International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 Vol. 2, Issue 6, November- December 2012, pp.1108-1123. / Матеріали сайту – 2018. – Режим доступу: [www.ijera.com/papers/Vol2\\_issue6/FH2611081123.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol2_issue6/FH2611081123.pdf).
4. Dubravko Miljković, Hep, Zagreb Croatia. Brief review of motor current signature analysis. / Матеріали сайту – 2018. – Режим доступу: <https://hrcak.srce.hr/file/218882>.
5. Бороденко Ю.М. Якісний аналіз гармонійних процесів по колах живлення електроприводу автомобіля / Ю.М. Бороденко, О.А. Дзюбенко, О.Д. Приходько // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2015. – №7 – С. 158 – 163.
6. Бороденко Ю.М. Спектральний аналіз електричних процесів по колах живлення електроприводу автомобіля / Ю.М. Бороденко, Є.В. Трішкін // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2015. – №8. – С. 6 – 11.
7. Бороденко Ю.М. Ідентифікація несправностей електроприводу автомобіля з вентильним двигуном. // Весник ХНАДУ. Харьков: ХНАДУ, 2016. – вып. № 72. – С. 13 – 18.
8. Бороденко Ю.М. Ідентифікація несправностей енергетичної установки гібридного автомобіля. // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2016. – №9. – С. 27 – 31.

### References

1. Top 6 Car Diagnostic Software in 2017. Available at: <http://www.archer-soft.com/en/blog/> (accessed 6 June 2018).
2. On-board diagnostics. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/> (accessed 6 June 2018).
3. Nana Yaw Asabere, Simonov Kusi-Sarpong. A Mobile Vehicle Expert System for the Automobile Industry / International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 Vol. 2, Issue 6, November - December 2012, pp.1108-1123. Available at: [www.ijera.com/papers/Vol2\\_issue6/FH2611081123.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol2_issue6/FH2611081123.pdf) (accessed 6 June 2018).
4. Dubravko Miljković, Hep, Zagreb Croatia. Brief review of motor current signature analysis. Available at: <https://hrcak.srce.hr/file/218882> (accessed 6 June 2018).
5. Borodenko Yu.M. Yakisnyy analiz harmoniynykh protsesiv po kolakh zhyvlennya elektropryvodu avtomobilya / Yu.M. Borodenko, O.A. Dzyubenko, O.D. Prykhod'ko // Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii: elektronnoye nauchnoye spetsializirovannoye izdaniye. – Kh.: KHNADU, 2015. – №7 – С. 158 – 163. [Borodenko Yu.M. Qualitative analysis of harmonic processes in the circles of the electric drive of the car / Yu.M. Borodenko, O.A. Dzyubenko, O.D. Prykhod'ko // Car and electronics. Modern technologies: an electronic scientific specialized publication. – Kh.: KHNADU, 2015. - № 7 - С. 158 - 163.].
6. Borodenko Yu.M. Spektral'nyy analiz elektrychnykh protsesiv po kolakh zhyvlennya elektropryvodu avtomobilya / Yu.M. Borodenko, YE.V. Trishkyn // Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii: elektronnoye nauchnoye spetsializirovannoye izdaniye. – Kh.: KHNADU, 2015. – №8. – С. 6 – 11. [Borodenko Yu.M. Spectral analysis of electric processes in the circles of the electric drive of the car / Yu.M. Borodenko, Ye.V. Trishkin // Car and electronics. Modern technologies: an electronic scientific specialized publication. – Kh.: KHNADU, 2015. - №8. - С. 6 - 11.].
7. Borodenko Yu.M. Identifikatsiya nespravnostey elektropryvodu avtomobilya z ventyl'nyim dvyhunom. // Vesnik KHNADU. Khar'kov: KHNADU, 2016. – vyp. № 72. – С. 13 – 18. [Borodenko Yu.M. Identification of faults of the electric drive of a car with a brushless motor. // Vesnik Khnadu. Kh.: KHNADU, 2016. - вып. No. 72. - P. 13 - 18.].
8. Borodenko Yu.M. Identifikatsiya nespravnostey enerhetychnoyi ustanovky hibrydoho avtomobilya. // Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii: elektronnoye nauchnoye spetsializirovannoye izdaniye. – Kh.: KHNADU, 2016. – №9. – С. 27 – 31. [Borodenko Yu.M. Identification of malfunctions of the power unit of a hybrid

vehicle. // Car and electronics. Modern technologies: an electronic scientific specialized publication. – Kh.: KHNADU, 2016. - №9. – С. 27 – 31.

*Стаття надійшла в редакцію 6.06.2018 р.*

**Бороденко Юрій Миколайович**<sup>1</sup>, к. ф-м. н., доцент кафедри автомобільної електроніки, тел. 098-362-9112, docentmaster@gmail.com

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

### **Synthesis of the expert diagnostic system of the electric drive of the vehicle**

**Abstract.** *The trend in the development of vehicles with electric traction determines the urgency of operational control of the technical condition of vehicles of this class. The use of integrated diagnostic systems on the basis of expert programs on board the vehicle can reduce operating costs while maintaining it and increase traffic safety. The goal of the work, at this stage, is to synthesize the diagnostic system. Two problems are solved: determination of the procedure for forming the knowledge base of the expert system (data library) and constructing a functional diagram of the integrated system for monitoring the current values of the diagnostic parameters and identifying the technical state of the electric drive. The methodology of forming a data library consists of conducting a natural or virtual experiment. As the object of diagnostics, the power part of the electric drive system of the vehicle with one valve synchronous machine functioning in the status of the traction motor and generator is considered. The procedure for forming the knowledge base of the expert system is to register the spectral composition of the current function in the power supply circuit of the electric drive and to accumulate diagnostic information during the simulation of the damage to its elements in operating conditions. Monitoring of the mode and technical conditions of the electric drive is carried out on the basis of the parameters of the periodic signal of the contactless current sensor of the traction battery, which is converted by the spectrum analyzer and converted into coded information. The generalized scheme of forming the knowledge base of the expert system and the functional diagram of the integrated self-diagnostic system*

*for identifying the technical state of the electric drive are presented. The parameters of the general memory format required for storing the library data in the code representation are determined. At the preliminary stage of development, virtual studies of the simulation model of the electric drive built in the Matlab/Simulink program were performed to form the reference values base for the diagnostic parameter (spectrogram) of the expert system. The expert diagnostic system of the proposed structure is capable of solving several problems of passive and active diagnostics: determining the faulty element of the electric drive; provide an emergency mode of operation by reserving hardware elements and software replacement of lost information; to establish the causes and patterns of the manifestation of malfunctioning elements in operational modes; minimize the negative consequences of damage to components and installation; anticipate system emergency.*

**Key words:** *electric drive, brushless machine, traction battery, voltage converter, spectral analysis, diagnostic system, expert program.*

**Yuriy Borodenko**<sup>1</sup>, Assoc. Prof., Ph. D. (Phys.-Maht.), 098-362-9112, docentmaster@gmail.com

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, Yaroslava Mudrogo str. 25.

### **Синтез экспертной диагностической системы электропривода автомобиля**

**Аннотация.** *Рассмотрены вопросы построения диагностической системы электропривода автомобиля с использованием экспертной программы. Описанная процедура формирования базы знаний экспертной системы. Приведены функциональную схему интегрированной системы самодиагностики.*

**Ключевые слова:** *электропривод, вентильная машина, тяговая аккумуляторная батарея, преобразователь напряжения, спектральный анализ, диагностическая система, экспертная программа*

**Бороденко Юрий Николаевич**<sup>1</sup>, к. ф-м. н., доцент кафедры автомобильной электроники, тел. 098-362-9112, docentmaster@gmail.com,

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, ул. Ярослава Мудрого 25.