

НАУКОВА РОБОТА

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ «АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ»

НАПРЯМ КОНКУРСУ «АВТОМОБІЛЬНА ЕЛЕКТРОНІКА»

НА ТЕМУ:

**«ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
АВТОМОБІЛІВ ЗАСТОСУВАННЯМ НОВИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ
СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ»**

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. На сьогоднішній день існують різноманітні діагностичні стенди, мотор-тестери, які дозволяють проводити роботи з пошуку порушень регулювання та усунення несправностей у різних системах, вузлах двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), і в тому числі в системі запалювання. Але практично у всіх діагностичних засобах реалізується в основному два способи діагностики систем запалювання. Перший спосіб діагностики системи запалювання дозволяє визначити дефект елемента знятого з автомобіля. Другий спосіб, реалізований у найбільш поширених мотор-тестерах для діагностики систем запалювання полягає в порівнянні перехідних процесів, що відбуваються в різних вузлах, з еталонними.

Недоліками першого способу є: висока трудоемність, пов'язана з зняттям елементів із автомобіля та подальшої їх встановлення на стенд, тривалість у часі, необхідність у спеціальних навиках та знаннях принципу роботи стендів при їх експлуатації, невисока точність постановки діагнозу. Недоліками другого способу діагностики є більша частина неавтоматизованості процесу діагностики та високої залежності діагнозу від кваліфікації, досвіду та психофізіологічного стану оператора. Вірогідність встановлення невірного діагнозу в цьому випадку дуже велика. Даний спосіб діагностики може бути позбавлений таких недоліків у разі розробки алгоритмів та технологій на базі сучасних персональних комп'ютерів (ПК).

Таким чином, розробка достовірного та оперативного методу диференціальної діагностики системи запалювання (СЗ) бензинових двигунів з використанням сучасних комп'ютерних технологій має актуальність.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – поліпшення якості технічного обслуговування системи запалювання автомобілів на основі методу диференційної діагностики.

Для дослідження мети в магістерській роботі вирішуються наступні **завдання:**

1. Аналіз стану питання щодо діагностування системи запалювання автомобільного двигуна.
2. Теоретичні основи технічного діагностування елементів системи запалювання.
3. Методика теоретичних та експериментальних досліджень.
4. Результати дослідження диференціального діагностування системи запалювання.

Об'єкт дослідження – процес функціонування системи запалювання в умовах її експлуатації.

Предмет дослідження – характеристики напруги в низьковольтних та високовольтних колах системи запалювання.

Методи дослідження передбачали математичне моделювання та експериментальні дослідження функціонування системи запалювання.

Практичне значення одержаних результатів складає розроблений метод диференційної діагностики системи запалювання, завдяки якому підвищується точність постановки діагнозу за рахунок зниження (у порівнянні з існуючими методами) помилок першого роду до 18 % та помилок другого роду від 6 до 8 %. Даний спосіб діагностики може бути впроваджений в технологічний процес технічного обслуговування автомобілів на автотранспортних підприємств.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА.....	6
1.1 Аналіз системи запалювання як об'єкта діагностування.....	6
1.2 Стан технічної діагностики системи запалювання.....	7
1.3 Виявлення і статична оцінка параметрів технічного стану системи запалювання і її елементів в процесі експлуатації автомобілів.....	10
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ.....	14
2.1 Розпізнавання станів системи запалювання на основі аналізу діагностичних ознак першого і другого роду.....	14
2.2 Вибір методу розпізнавання станів системи запалювання.....	15
2.3 Математична модель системи запалювання, як об'єкта діагностування .	18
2.3.1 Теоретичні передумови розробки математичних моделей елементів системи запалювання.....	18
3 МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
3.1 Розробка локального діагностичного комплексу для диференціального діагностування системи запалювання.....	24
3.2 Діагностичне обладнання.....	26
3.3 Методика експериментальних досліджень зв'язків діагностичних ознак з параметрами технічного стану.....	27
3.4 Визначення параметрів технічного стану системи запалювання.....	28
ВИСНОВКИ.....	30
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	31

ВСТУП

За обсягами перевезень у транспортній системі країни перше місце належить автомобільному транспорту. На автомобільний транспорт припадає приблизно 80% усіх перевезень господарського комплексу держави.

Однак під час реалізації транспортних процесів конструктивні елементи автомобілів з причин проходження у них природних процесів зношування тертям, корозії, втоми матеріалів, старіння втрачають (частково чи повністю) працездатність. В результаті погіршуються експлуатаційні властивості. Середній нормативний термін служби, наприклад, вантажних АТЗ становить 10 років, хоча фактичний може перевищувати його у 2 рази. Ці терміни можуть бути досягнуті, якщо користувачі АТЗ не тільки будуть у нормативних межах використовувати їх безпосередньо, але й виконувати якісно весь перелік профілактичних ремонтно-обслуговувальних дій, обумовлених в інструкціях з експлуатації автомобілів, чи відповідним положенням про технічне обслуговування (ТО) і ремонт (Р). Отже, у життєвому циклі автомобілів передбачено і виконання комплексу робіт у вигляді діагностичних робіт, ТО та Р тощо. Власне усе це спрямовано на забезпечення високої ефективності комерційної експлуатації автомобілів та безпеки транспортних процесів.

Послаблення виробничо-технічної бази (ВТБ) більшості автотранспортних підприємств, відсутність достатніх коштів та неможливість постійного оновлення автомобільного парку призвело до зниження коефіцієнта технічної готовності автотранспортних засобів. Що в свою чергу призводить до порушення процесів перевезення.

Одним з найважливіших напрямків підвищення ефективності експлуатації автомобілів є розробка та впровадження нових методів та засобів технічної діагностики.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА

1.1 Аналіз системи запалювання як об'єкта діагностування

СЗ двигуна призначена для генерації імпульсів високої напруги, що викликають запалювання робочої суміші в камері згоряння двигуна, синхронізація цих імпульсів з роботою двигуна та розподілу імпульсів запалювання по циліндрам двигуна. Від потужності згоряння і моменту запалювання робочої суміші в значній мірі залежить потужність, економічність і стійкість роботи ДВЗ, а також токсичність відпрацьованих газів (ВГ). На долю систем запалювання припадає до 70 % від усіх несправностей та порушень регулювання систем бензинового ДВЗ, що призводить до зміни концентрації ВГ, зниження потужності двигуна, підвищення витрати палива (до 6-8%) [1].

З середини 60-х років автомобілі почали оснащувати системами запалювання, що працюють на напівпровідникових приладах такі як: контактно-транзисторні, безконтактні з магнітоелектричним датчиком, безконтактні з датчиком Холла та ін. З 80-х років почалося застосування мікропроцесорних систем запалювання. [2]

На автомобілях, що експлуатуються в нашій країні, наявні кілька типів систем запалювання. Це, перш за все класична батарейна система запалювання, безконтактно-транзисторна система і мікропроцесорна система керування системами запалювання та живлення.

На 2015 рік в Україні налічується близько 9,2 млн. автомобілів, причому спостерігається їх істотний ріст – більше 10 відсотків в рік. Із цього числа автомобілів більшість – близько 6,9 млн. приходить на легкові автомобілі, 250 тис. автобусів та 1,3 млн. вантажних автомобілів (рис 1.1). Причому, близько 50 % всіх легкових автомобілів мають вік від 10 і більше років, близько 30 % – автомобілі з віком від 5 до 10 років, і лише 20 % це автомобілі до 5 років.

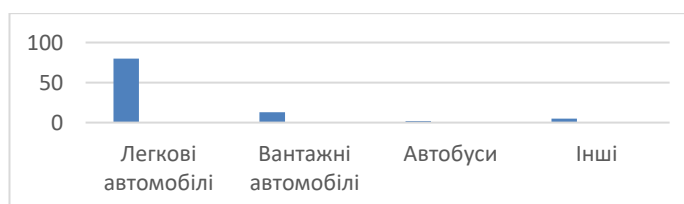


Рисунок 1.1 – Розподіл автомобільного парку України у відсотках

Можна стверджувати, що найбільшого поширення на автомобілях у нас в країні отримали батарейна контактна система запалювання – 66 % бензинових легкових автомобілів і 46 % бензинових вантажних автомобілів та безконтактнотранзисторна система – 27 % легкових та 43 % вантажних автомобілів.

Найбільш використовуваною системою запалювання для вантажних автомобілів є безконтактна система з керуванням від індуктивного датчика.

Головна перевага електронної системи запалювання (рис. 1.2), це застосування напівпровідникових приладів, які працюють як керуючі ключі, які слугують для переривання струму в первинній обмотці котушки запалювання (КЗ).

Електрична схема підключення комутатора системи запалювання з датчиком Холла показана на рис. 1.3.

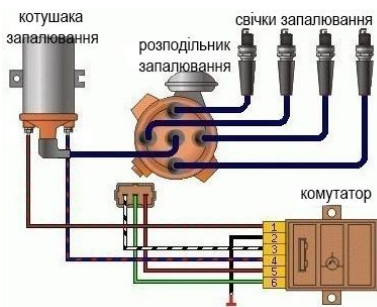


Рисунок 1.2 – Схема безконтактної системи запалювання

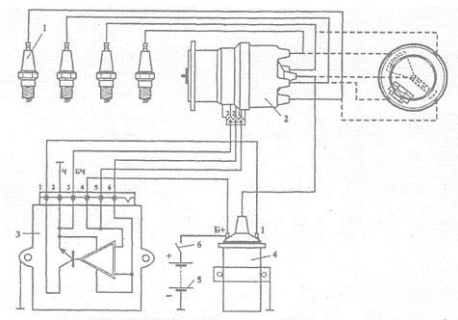


Рисунок 1.3 – Електрична схема підключення комутатора в системі запалювання з датчиком Холла: 1 – свічки запалювання; 2 – розподільник запалювання; 3 – комутатор; 4 – катушка запалювання; 5 – акумуляторна батарея; 6 – замок запалювання

1.2 Стан технічної діагностики системи запалювання

В даний час існують різноманітні діагностичні стенди та мотор-тестери, які дозволяють проводити роботи по пошуку порушень регулювання та усунення несправностей у різних системах, вузлах ДВЗ, і в тому числі в системі запалювання. Але практично всі стенди реалізують в основному два способи діагностики систем запалювання.

"Автомастер АМ1" – сучасний діагностичний комплекс на базі персонального комп'ютера, що має модульну структуру, який дозволяє в повній комплектації

здійснювати діагностику всіх типів бензинових (карбюраторних і інжекторних) і дизельних двигунів як вітчизняних автомобілів, так і іномарок. Окрім широкого спектру двигунів, що діагностуються, комплекс має ряд беззаперечних переваг. Серед них: наявність гнучкого набору модулів (в т.ч. дизельний модуль, газоаналізатор, сканер тощо); наявність у складі комплексу програмного забезпечення, що дозволяє вести легко доповнювану довідкову базу даних по автомобілях і клієнтах.

Ще один вимірювальний комплекс для діагностики систем ДВЗ це «Мотортестер». Основна частина діагностичного комплексу включає: стійку, консоль з платами узгодження і вимірювань, системний блок з комп'ютером і програмою «Мотортестер», принтер, монітор, що встановлюється на стійці, комплект датчиків і сполучних кабелів.

Сканер ВАЗ/ГАЗ та сканер VAG — це додаткове програмне забезпечення для діагностики автомобілів певних автомобілебудівних заводів: ВАЗ, ГАЗ, УАЗ (ВАЗ/ГАЗ) та Volkswagen, Audi, Seat, Skoda (VAG).

Відомий метод діагностики системи запалювання, реалізованого в стенді СПЗ - 16МЕ, який дозволяє визначити дефект елемента СЗ знятого з автомобіля.

Другий спосіб, реалізований у найбільш поширених моторних випробувань для діагностики систем запалювання є КАД-300 (Росія) та SUN SMP-4000 (США), полягає в порівнянні перехідних процесів, що відбуваються в різних вузлах, з еталонними. Ідея даного способу полягає в тому, що характерні криві напруги перехідних процесів виводяться на екран осцилографа, і, порівнюючи отримані форми кривих з еталонними, можна практично виявляти будь яку несправність системи.

Як вже зазначено вище, постановка діагнозу здійснюється шляхом аналізу характеристик первинної та вторинного напруги в СЗ. Ці дії виконує оператор. Оператор є ключовим з'єднанням у постановці діагнозу.

Із цього слідує, що всі недоліки, що притаманні оператору, можуть відбитися на якості діагностики. Вказані недоліки, обумовлені впливом людського фактору, які разом з недоліками методу діагностики, полягають в

наступному: невисока оперативність діагностики. Оператор потребує часу для аналізу отриманої інформації, проведення додаткових вимірів і тестових впливів; низька ефективність діагностики інших типів систем запалювання. Відомо, що метод спостереження характеру протікання напруги в колах СЗ не дає однозначного відповіді про несправні елементи даних систем. Тому для діагностики СЗ які оснащені електронними блоками або працюють на базі мікропроцесорної техніки необхідні додаткові діагностичні прилади; низька ефективність діагностики в разі повної відмови системи запалювання (ДВЗ не запускається). Наявність несправностей, що призводять до повного порушення функціонування ініціалізації систем, робить неможливим постановку діагнозу за допомогою спостереження осцилографом; можливість діагностики переважно сталих режимів роботи СЗ. У разі виникнення "плаваючих" несправностей та короткочасних збоїв у роботі СЗ надзвичайно важко помітити зміни в характеристиках їх напруги.

Безумовно, технічний прогрес у галузі комп'ютерних технологій дозволив розробити ряд засобів діагностики СЗ, в яких намагаються враховувати ряд перерахованих недоліків. Такі прилади, як правило, об'єднують у собі можливості комп'ютера та осцилографа. До такого приладу можна віднести мотортестер SMP-4000 фірми SUN – один з кращих у своєму класі приладів найвищої групи складності [3-6].

Відмінною особливістю цього приладу є наявність певного алгоритму реалізованого на програмному рівні, що дозволяє виконувати найпростіший аналіз вимірюваних в процесі діагностування параметрів. Програма, закладена в цей прилад, проводить вимірювання параметрів роботи різних систем ДВЗ на певному ряді тестових впливів (запуск двигуна, холості або підвищені оберти, режим прискорення і т.д.) Далі, виміряні параметри порівнюються з даними, що містяться в базі даних приладу.

З приладів подібного рівня слід виділити діагностичний комплекс КАД-300. Комплекс призначений для перевірки технічного стану чотиритактних

бензинових і газових ДВЗ з числом циліндрів до восьми, оснащених іскровим запалюванням різних систем (контактних, безконтактних, мікропроцесорних).

Таким чином, проведений аналіз методів і засобів діагностики СЗ показує, що необхідний новий метод діагностування який дозволяв би зменшити вплив людського фактору на точність постановки діагнозу і так само володів би високою оперативністю і достовірністю, що власне можливо реалізувати на базі сучасних комп'ютерних технологій. Для розробки методу диференціального діагностування СЗ необхідно мати інформацію про динаміку зміни параметрів технічного стану її елементів в процесі експлуатації, а також виявити ті з них, які найбільш схильні до таких змін. На підставі викладеного, було проведено пошук, спрямований на вимір і аналіз параметрів технічного стану СЗ вантажних і легкових автомобілів з бензиновими двигунами, в процесі їх експлуатації.

1.3 Виявлення і статистична оцінка параметрів технічного стану системи запалювання і її елементів в процесі експлуатації автомобілів

Для виявлення та статичної оцінки параметрів технічного стану елементів СЗ був проведений пошуковий експеримент, метою, якої було виявлення та аналіз параметрів технічного стану які виходять за рамки значень встановлених заводом виробником.

Обсяг вибірки, необхідний для проведення експерименту, визначався за стандартною методикою методом послідовних наближень. Допустима сумарна похибка засобів вимірювань не перевищує 5 % [7, 8].

Для елементів електронної безконтактної СЗ з датчиком Холла характер несправностей показаний на рис. 1.4.

З наведених даних видно, що найчастіше спостерігаються такі несправності як, порушення в роботі і регулювання свічок запалювання. Причому в порушеннях регулювань переважають збільшення зазорів – 35%, в той же час така несправність як збільшений нагар на свічках запалювання зустрічається рідше, ніж в контактній-батарейній системі запалювання – 30 %. це пов'язано з тим, що електронна система запалювання має більш високу напругу

роботи. Такі несправності як, несправності датчика виявлені всього у 4 % автомобілів – що підтверджує надійність датчиків.

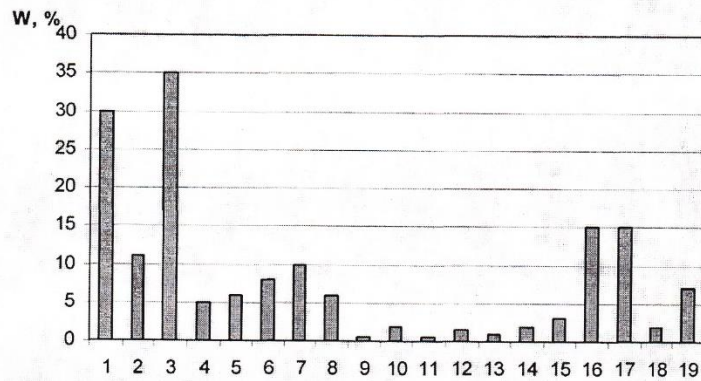


Рисунок 1.4 – Розподіл частоти несправностей СЗ: 1 – нагар на свічах запалювання;

2 – малий зазор між електродами свічки запалювання; 3 – великий зазор між електродами свічки запалювання; 4 – не працює свічка запалювання; 5 – обрив свічкових високовольтних дротів (ВВД); 6 – обрив центрального ВВД; 7 – Підвищений опір свічкових ВВД; 8 – підвищений опір центрального ВВД; 9 – збільшено зазор між ротором; 10 – витік струму через ротор; 11 – витік струму через кришку розподільника; 12 – обрив дротів датчика; 13 – несправність датчика; 14 – люфт підшипника; 15 – несправність котушки запалювання; 16 – несправність комутатора; 17 – неправильно встановлення кута випередження запалювання; 18 – несправний відцентровий автомат випередження запалювання; 19 – несправний вакуумний автомат випередження запалювання

Висока напруга СЗ збільшує відсоток несправностей високовольтної частини. Так, як найчастіше зустрічаються обриви ВВД або збільшення їх опору – 31 %. Те саме можна сказати і до котушок запалювання.

Несправності комутатора зустрічаються досить часто – 15 %. Проведені дослідження показали, що в експлуатації перебувають досить багато автомобілів в працездатному стані, але з деякими відхиленнями в роботі комутаторів.

До таких відхилень можна віднести порушення роботи блоку накопичення енергії. Несправності такого роду призводять до порушень розподілу часу віддачі до часу накопичення – T_o/T_n . Зменшення ємності конденсатора призводить до зміни цієї характеристики (рис. 1.5).

Зміна співвідношення часу віддачі до часу накопичення впливає на енергію розряду, що позначається на якості запалювання і відповідно на рівень токсичності ВГ. Порушення роботи таких блоків як, блок обмеження величини струму, призводить до передчасного виходу з ладу деяких елементів СЗ –

катушки, або вихідного транзисторного каскаду комутатора. При цьому порушення в роботі цього блоку, як правило, на працездатність системи практично не впливає, до моменту раптової відмови. У 23 несправних комутаторів з 46 крім інших несправностей були виявлені саме порушення в роботі цього блоку, що очевидно і послужило першопричиною виходу їх з ладу. У 12 комутаторів були виявлені несправності елементів захисту вихідного каскаду – також причина передчасного відмови транзистора. У більшості вироблених комутаторів керування вихідним каскадом здійснюється за допомогою інтегральної мікросхеми, яка реалізує всі функції комутатора.

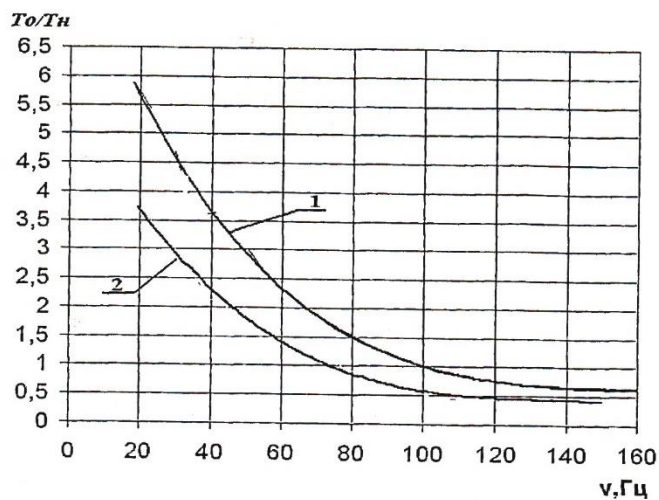


Рисунок 1.5 – Залежність T_0/T_n від частоти імпульсів v : 1 – при номінальній ємності конденсатора; 2 – при зменшенні ємності на 14 %

На рис 1.6 представлена структурна схема комутатора безконтактної системи запалювання з керуванням від датчика на Холла.

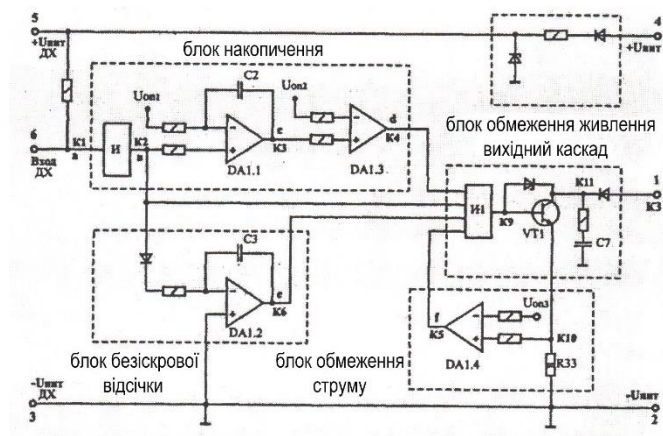


Рисунок 1.6 – Структурна схема комутатора

Комутатор має ряд функцій виділених на структурній схемі в окремі функціональні блоки. Блок регулювання накопичення забезпечує зміну часу накопичення енергії в КЗ по відношенню до часу її віддачі. Тим самим, регулюється процес енергозапасання і енерговіддачі КЗ в залежності від частоти обертання колінчастого вала (зміни часу періоду накопичення-віддача).

В даний час промисловість випускає велику кількість різноманітних комутаторів для електронних систем запалювання з датчиком Холла. Розрізняються вони не тільки виробниками, але наявністю або відсутністю ряду функцій, такий як, наприклад нормування вихідного імпульсу. Спільними для всіх типів комутаторів є наявність у вихідному колі потужного транзистора, здатного комутувати струми амплітудою до 10А в індуктивному навантаженні колекторного кола.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ

2.1 Розпізнавання станів системи запалювання на основі аналізу діагностичних ознак першого і другого роду

На підставі проведених досліджень [9-17], можна відзначити, що в основі реалізованих методів і засобів діагностування закладений принцип зв'язку параметрів технічного стану (ПТС) з параметрами робочого процесу на які він впливає. Такі параметри називають діагностичними (ДП) і являють собою придатні для вимірювання фізичні величини функціонально пов'язані з параметрами технічного стану. Таким чином процес діагностування зводиться до встановлення значень ПТС по його ДП відповідно до їх функціональної зв'язком. Крім того, всі діагностичні параметри повинні задовольняти таким вимогам як -інформативність, однозначність, стабільність і чутливість.

Але існують складні об'єкти, ПТС які, можуть і не мати ознак або параметрів відповідаючих зазначеним вимогам. При цьому виникає завдання з розпізнавання стану об'єкта, яке має вирішувати сам оператор-діагност, здебільшого покладаючись на свої знання і досвід. Як вже зазначалося в першому розділі це веде до помилок при постановці діагнозу, збільшення трудомісткості діагностування, витрат і т.д.

Діагностичні ознаки стосовно до СЗ складаються з основного широкоінформативного сигналу, яким є тимчасові характеристики напруги первинного і вторинного ланцюга.

При зміні параметрів технічного стану системи певні області характеристик змінюються, що є непрямыми ознаками порушень в її роботі. Причому, конкретні зміни ПТС як правило пов'язані з однією певною або групою областей мінливих також своїм певним чином. Таким чином, будь-які зміни на областях характеристик несуть в собі діагностичну інформацію. Кожну таку область можна характеризувати певними параметрами або ознаками її зміни. Такі ознаки і є діагностичні, а області – області локальних діагнозів.

Існуючий метод візуального спостереження осцилограм первинного і вторинного кола напруг в СЗ має досить велику похибку, трудомісткість та ін., про що вже говорилося вище. Це пов'язано, перш за все, з тим, що в сучасних СЗ ряд змін ПТС спотворюють області локальних діагнозів аналогічно і мають схожі діагностичні ознаки, що відповідно ускладнює розпізнавання несправності.

При діагностуванні необхідно виділити явні (найбільш значимі ознаки) і характеризуються ними ПТС з тим, щоб усунути їх вплив на ознаки що явні (менш значущі), ступінь значимості яких, збільшуючись, підвищує їх інформативність. Очевидно, що такий аналіз за ступенем значущості ознак виконувати оператору-діагносту досить складно, але наявність математичного опису цього процесу дозволило б використовувати можливості сучасних ПК. Що істотно знизить трудомісткість і підвищить оперативність процесу діагностування.

Таким чином, робочою гіпотезою було припущення про те, що диференціальне діагностування складних технічних систем таких як, наприклад електронна СЗ, можна виконувати на основі аналізу поєднань діагностичних ознак і симптомів які не мають однозначних зв'язків з ПТС.

2.2 Вибір методу розпізнавання станів системи запалювання

При діагностуванні складного технічного об'єкта перевага завжди необхідно віддавати ознакам першого роду, як найбільш інформативним і які характеризують конкретні несправності. Це власне і визначає завдання розпізнавання, яке полягає в поступовому підвищенні значущості ознаки.

Сформовані безліч діагностичних ознак можуть бути основою для постановки діагнозу методом вагового перебору сукупностей діагностичних ознак першого і другого роду, і складанням діагностичних матриць. Структура алгоритму цього методу показана на рис. 2.1.

При постановці діагнозу з використанням цього методу, реєструються вихідні діагностичні параметри, що представляють собою багатоінформативні характеристики. На цих характеристиках виділяються області з характерними

діагностичними ознаками – області локальних діагнозів і відповідно діагностичні ознаки.

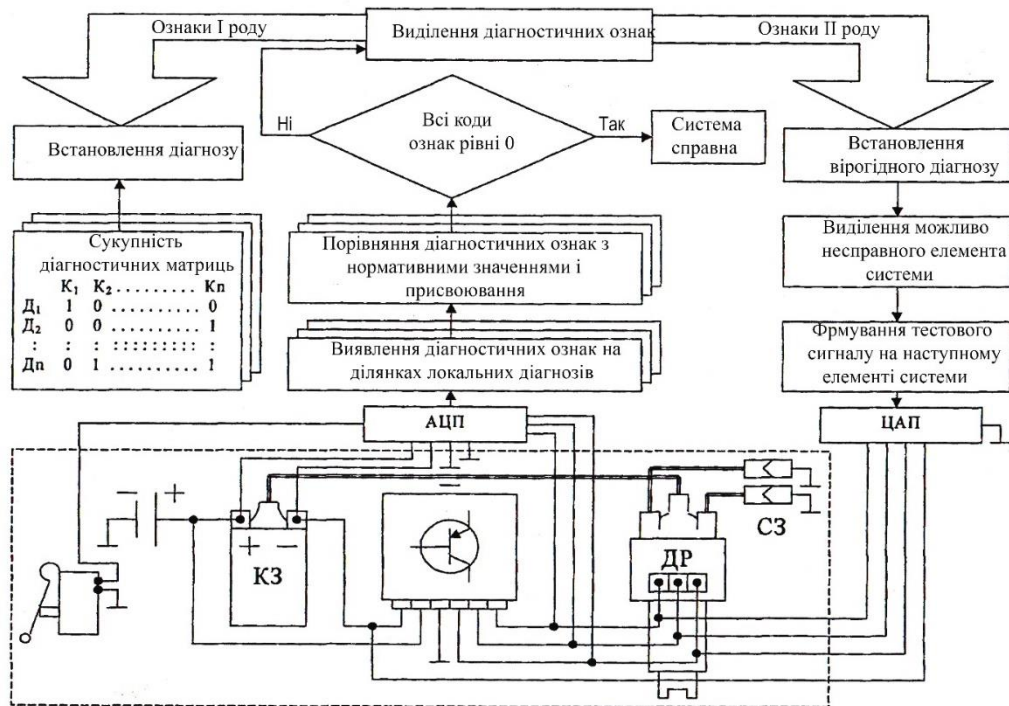


Рисунок 2.1 – Структурна схема постановки діагнозу, яка реалізує алгоритм покрокового аналізу діагностичних ознак по ступені їх значущості

Далі діагностичні ознаки порівнюються з нормативними значеннями і перетворюються в бінарні або дихотомічні 0 – в межах нормативного значення, -1 – нижче допустимого нормативного значення, +1 – вище допустимого нормативного значення.

Наступним етапом виділяються ознаки, безсумнівно, які підтверджують певну несправність, тобто ознаки першого роду. При наявності таких ознак, ставиться діагноз за класичною схемою із застосуванням діагностичної матриці. Діагностична матриця складається на підставі дослідження впливу зміни ПТС елементів СЗ на діагностичні ознаки. У стовпчиках матриці записуються найбільш інформативні діагностичні ознаки першого роду.

Для зручності розпізнавання, діагностичні ознаки представляються у вигляді кодів, що характеризують стан елементів СЗ. У разі відсутності ознак першого роду проводиться попередня постановка діагнозу з використанням

діагностичної матриці з ознаками другого роду. Ця група ознак аналізується в залежності від свого вагового значення і ймовірності прояви. У разі прояву несправності за ознаками першого роду, необхідно усунути несправність і повторити діагностування.

Далі алгоритм повторюється. При повторному діагностуванні ознаки другого роду, що мали ступінь вище одиниці – ознаки, притаманні при двох несправностях, стають ознаками першого роду, внаслідок вилучення одного з несправностей на першому кроці алгоритму діагностування.

Знову аналізуючи ознаки першого роду, уточнюємо або спростовуємо поставлений діагноз. І далі переходимо до другого етапу аналізу діагностичної матриці з ознаками другого роду. І цей порядок знову може повторюватися до повного виключення ознак другого роду і постановки вичерпного діагнозу.

В алгоритмі діагностування, на рис. 2.1 передбачено формування тестового сигналу від виключеного елемента системи «підозрюваного» в несправності. Тестовий сигнал формується за допомогою ПК і подається в розрив ланцюга системи за допомогою цифроаналогового перетворювача (ЦАП). Такий підхід дає переваги не тільки як метод діагностування по неоднозначним ознаками, а й дозволяє проводити діагностування при повністю непрацездатній системі запалювання, навіть при не працюючому двигуні. Крім того, в алгоритмі передбачено розгляд ознак і приналежності їх до роду в залежності від режиму роботи системи. Для цього в алгоритмі вводиться можливість запам'ятовування характеристик напруг для перехідних режимів роботи, наприклад при розгоні двигуна, або при прояві ознак одноразових і хаотичних – що робить їх спостереження абсолютно неможливим для оператора.

При реалізації описаного методу постановки діагнозу необхідно вирішити такі завдання: побудувати розрахунковими методами характеристики напруг первинного та вторинного кола СЗ, і варіюючи параметрами технічного стану отримати функціональні зв'язку діагностичних ознак з ПТС; визначити нормативні значення діагностичних ознак першого і другого роду; скласти

діагностичні матриці, з найбільш інформативними ознаками, для проведення діагностування СЗ.

Для вирішення цих завдань було розроблено математичну модель процесу функціонування СЗ яка застосовується на сучасних автомобільних двигунах.

2.3 Математична модель системи запалювання як об'єкта діагностування

Питанням моделювання електронних СЗ присвячені роботи [10-17]. У цих роботах розглянуті робочі процеси основних електронних елементів входять до складу СЗ. З усіх елементів СЗ найбільш складним з точки зору моделювання є комутатор. У самому ж комутаторі найчастіше розглядаються робочі процеси інтегральної мікросхеми та вихідного каскаду. Вище вже зазначалося, що математична модель повинна відповідати цілям і завданням, які ставить перед нею дослідник. В даному випадку необхідно при моделюванні з'ясувати вплив зміни ПТС елементів системи на її вихідні характеристики. При моделюванні необхідно враховувати, що в результаті деяких особливостей СЗ до неї не можна цілком застосувати теорію моделювання викладену для контактної-батарейних СЗ.

2.3.1 Математичне моделювання системи запалювання

Сама по собі СЗ являє собою електричний ланцюг, сформований у вигляді системи автоматичного керування. Розрахунок нелінійних електричних ланцюгів, до складу якої входить такий елемент, як інтегральна мікросхема дуже складний і необхідний, як правило, в разі її проектування. У практиці діагностування її робота може моделюватися як деякі передавальні функції керування. Таким чином, з огляду на вимоги до моделювання викладені вище набагато доцільніше використовувати при моделюванні процесу функціонування СЗ теорію автоматичного керування.

При математичному моделюванні врахуємо поставлені завдання, і розділимо роботу СЗ на дев'ять етапів (рис. 2.2): 1 – етап накопичення енергії – режим насичення транзистора. У цей період відбувається зростання магнітного

поля в котушці запалювання, присутнє деяке підвищення напруги внаслідок насичення транзисторного ключа; 2 – етап переходу транзистора з режиму насичення в активний режим. Даний режим характеризується функцією обмеження струму в КЗ. По досягненню обмежувального значення струму транзисторний ключ частково замикається, переходячи в активний режим – режим регульовальної гілки своєї характеристики; 3 – етап активного режиму транзистора. Характеризує період роботи транзисторного ключа в активному режимі; 4 – етап відсічення транзистора. Період, в якому відбувається розрив первинного кола КЗ; 5 – етап падіння напруги в первинному ланцюзі. Даний етап характеризує процес горіння іскри на свічці запалювання і викликані цим затухаючі коливання; 6 – етап закінчення горіння іскри; 7 – етап розсіювання енергії в КЗ; 8 – етап розмикання ланцюга; 9 – етап переходу транзистора з режиму відсічення в режим насичення.

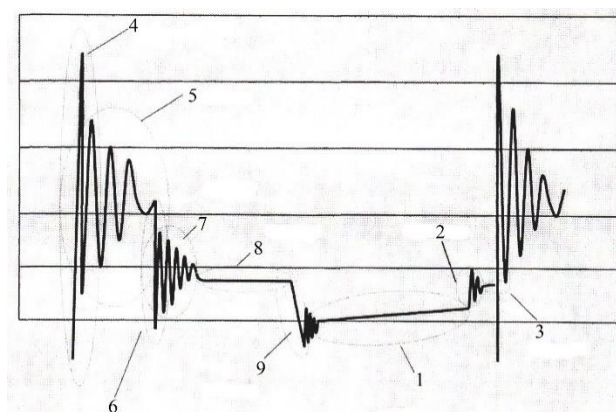


Рисунок 2.2 – Осцилограма первинної напруги безконтактної СЗ з датчиком Холла

Розглядаючи несправний стан системи, модель дозволить визначати функціональні зв'язки параметрів технічного стану з діагностичними ознаками.

В якості вихідного транзистора в комутаторах часто використовуються складові транзистори в схемі Дарлінгтона [18].

Зовнішня схема такого транзистора захищена від перенапруг, що виникають по ланцюгах живлення, внутрішнім стабілітроном, який обмежує напругу база-емітер транзистора. Зовнішній дільник напруги R_1 , R_2 визначає напругу обмеження:

$$U_{\text{ор(14)}}(B) = (22,5/R_1 + 5 \times 10^{-3}) R_2 + 22,5. \quad (2.1)$$

В самій інтегральній схемі Дарлінгтона захист першого транзистора відбувається стабілітроном VD1 та VD2 від імпульсів оберненої полярності (рис. 2.3).

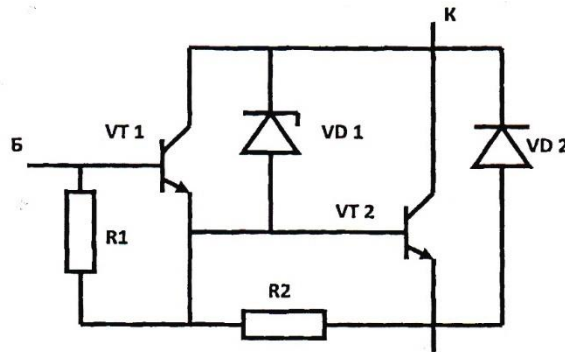


Рисунок 2.3 – Принципова електрична схема транзистора КТ897, КТ 898

Як показують більшість досліджень при моделюванні транзисторних ланцюгів доцільно користуватися схемами заміщення. При складанні схеми заміщення прийняті наступні допущення: параметри КЗ (індуктивність, взаємоіндуктивність обмоток, ємність вторинного кола) приймаються незалежними від часу і сили струму; розподілена ємність вторинної обмотки у вторинному колі КЗ замінені ємністю C_2 ; розподілений опір первинного і вторинного кола замінені опорами R_1 і R_2 .

Для заміщення транзистора доцільно використовувати повносигнальну схему [12] заміщення транзистора рис. 2.4.

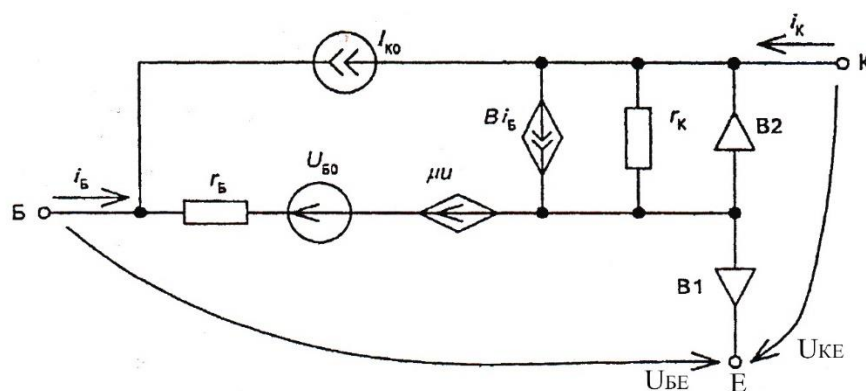


Рисунок 2.4 – Повносигнальна схема заміщення транзистора

У вихідному каскаді комутатора інверсний режим роботи транзистора виключений через наявність захисту від інверсного включення, тому схема несиметрична, нам можна використовувати не симетричну схему. При моделюванні СЗ можна не враховувати струм i_{k0} так як для розглянутої нами схеми він не значний. Також можна не враховувати вплив напруги $\mu u_{ке}$, (так як $\mu \approx 10^3$). Але при процесах, які швидко протікають, р-п переходи проявляють свої ємнісні властивості. Це необхідно врахувати, зашунтувавши колекторний перехід ємністю C_K .

Залежно від типу транзистора r_K має значення від декількох десятків МОм до декількох МОм; r_K - кілька десятків або сотень Ом; C_K - від декількох одиниць до декількох десятків або сотень пФ.

З урахуванням цього отримаємо наступну розрахункову схему (рис.2.5).

Невідомими, які потрібно визначити є струми гілок. Інші параметри відомі. Вони визначаються з параметрів реальної схеми.

У разі якщо в первинному колі є додаткова первинна ємність її значення додається до ємності колектора.

Закон зміни R_y підбирають виходячи з реального керуючого сигналу. Моделювання процесу функціонування здійснюється для ряду етапів.

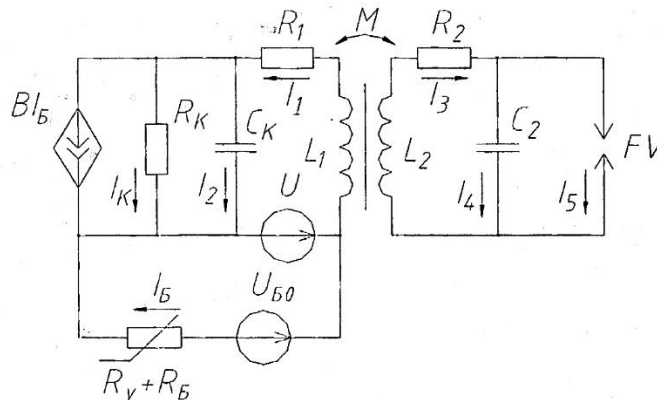


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема транзисторної СЗ: R_1 - опір первинного кола; R_2 - опір вторинного кола; R_K -опір колектора; R_B - опір бази; R_y - опір за допомогою якого здійснюється управління; C_K - ємність колектора; L_1, L_2 - індуктивності первинної і вторинної обмотки КЗ; M - взаємодуктивність обмоток КЗ; FV - розрядник; U, U_{B0} - джерела напруги; BI_B - залежне джерело струму (B - коефіцієнт передачі струму бази); $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_k, I_B$ - струми гілок.

На етапі горіння іскри (рис. 2.6) закон Кірхгофа для повних струмів і напруг (по першому і другому законам), після вибору позитивних напрямків для струмів маємо вигляд:

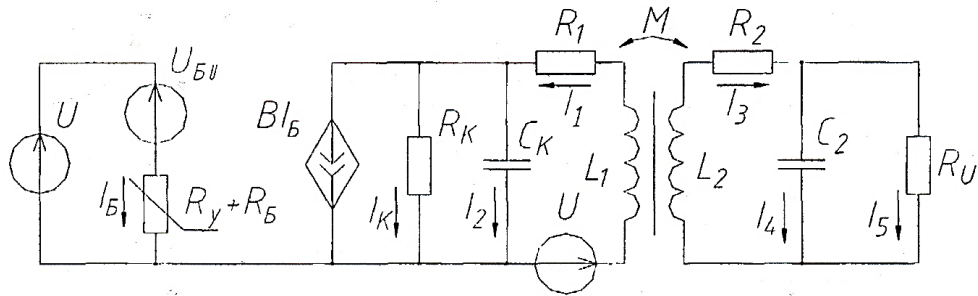


Рисунок 2.6 – Схема заміщення СЗ на етапі горіння іскри

Для післякомутаційної схеми (рис. 2.7) складають рівняння за законами Кірхгофа для повних струмів і напруг:

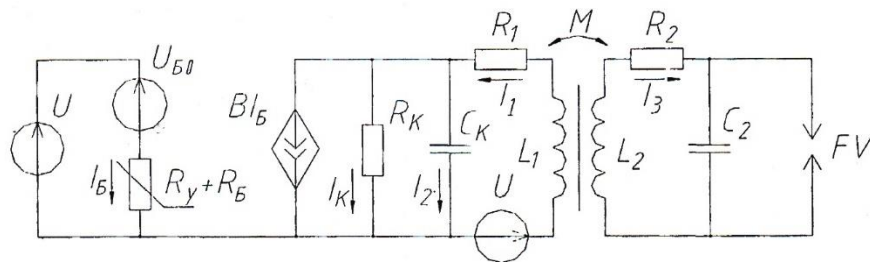


Рисунок 2.7 – Схема заміщення СЗ на етапі горіння іскри

Комутація на даному етапі - відмикання транзистора. До комутації був сталий режим. У вторинному колі післякомутації відбувається перезарядка розподілених ємностей. Після комутаційна схема (рис. 2.8):

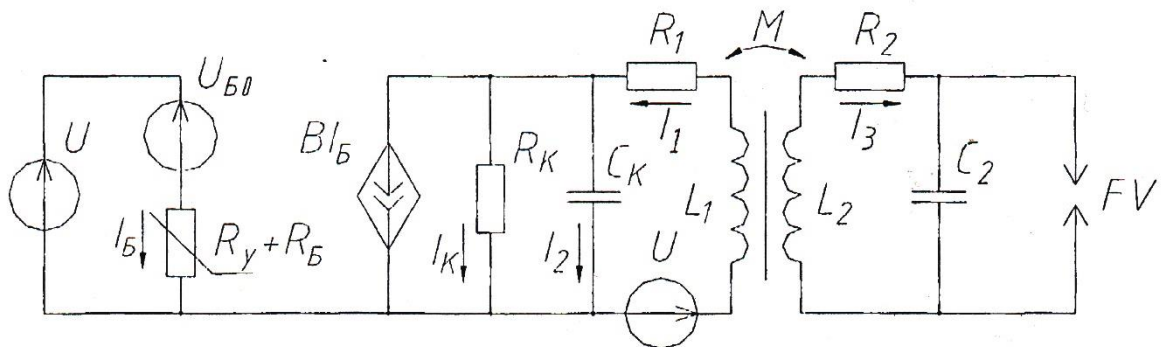


Рисунок 2.8 – Схема заміщення СЗ на етапі наростання струму в первинному ланцюзі

Рівняння для післякомутаційної схеми:

$$\begin{cases}
 I_1 - I_2 - I_k - BI_B = 0; \\
 L_1 \frac{dl_1}{dt} + R_1 I_1 + \frac{1}{C_k} \int I_2 dt + M_{12} \frac{dI_3}{dt} = U; \\
 \frac{1}{C_k} \int I_2 dt - R_k I_k = 0; \\
 (R_y + R_B) I_B = U - U_{B0}; \\
 L_2 \frac{dl_3}{dt} + R_2 I_3 + \frac{1}{C_2} \int I_4 dt + M_{21} \frac{dI_1}{dt} = 0;
 \end{cases} \quad (2.2)$$

Рішення систем у символічній формі занадто громіздке, тому рівняння потрібно вирішувати в чисельному вигляді. Для зниження трудомісткості обчислень необхідно використовувати ПК.

3 МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розробка локального діагностичного комплексу для диференціального діагностування системи запалювання

Для проведення експериментальних досліджень розроблено і виготовлено експериментальне обладнання.

Основу експериментального обладнання становить локальний діагностичний комплекс (ЛДК) на базі сучасних ПК. Комплекс дозволяє здійснювати вимірювання діагностичних параметрів.

Для реалізації методу диференціального діагностування, і проведення експериментальних досліджень, устаткування дозволяє виконувати наступні функції: вимір і реєстрація параметрів процесу функціонування (тимчасових характеристик напруги первинного і вторинного кола СЗ; забезпечення тестових сигналів; обробка, аналіз і зберігання отриманої інформації; здійснення постановки діагнозу.

Для реалізації даних функцій був розроблений діагностичний комплекс (рис. 3.1), який включає вимірювальний і комп'ютерний блоки.

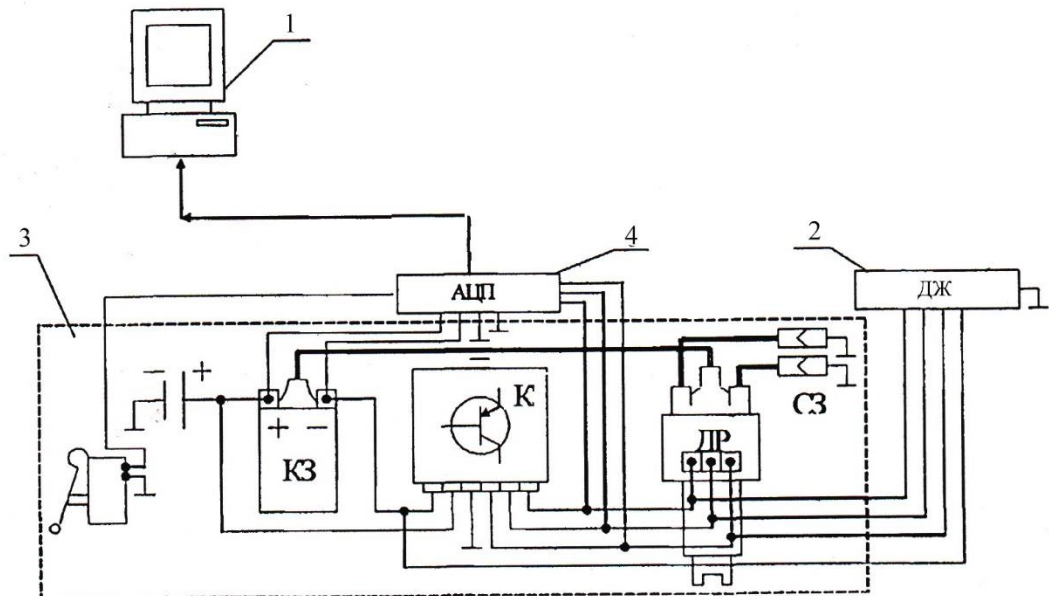


Рисунок 3.1 – Структурна схема діагностичного комплексу: 1 – ПК; 2 – джерело живлення; 3 – СЗ яка діагностується; 4 – АЦП

До складу вимірювального блоку також входять датчики: датчик високої напруги ємнісного типу ДВН-2Е (коефіцієнт розподілу дорівнює 1000) з похибкою вимірювання не більше 3,2 %, і індуктивний датчик для синхронізації первинного і вторинного сигналу ІД-1.

Напруга з діагностованих ланцюгів об'єкта діагностування надходить в блок перетворювачів № 1 і потім в АЦП. Блок перетворювачів є подільник напруги для узгодження вихідної напруги датчиків з рівнем вхідної напруги.

Подільники, які використовуються в блоці перетворювачів, виконані за класичною схемою, для поділу напруги в ланцюзі низької напруги використовуються звичайні резистивні подільники, а для розподілу високовольтної напруги ємнісні-резистивні. Блок перетворювачів №2 є підсилювач струму і напруги відповідно до поданої сигналом з ЦАП ПК на АЦП.

В якості АЦП і ЦАП в комплексі застосовується плата АЦП-ЦАП L-783, виробника «L-Card». На платі встановлений один АЦП, на вхід якого за допомогою комутаторів може бути поданий сигнал з одного з 16 або 32 аналогових каналів з зовнішнього роз'єму.

У вимірювальному, комплексі в якості реєструючої та аналізуючої апаратури використовується ПК (ноутбук) на базі процесора Intel Core Dual з тактовою частотою 2,66 GHz з об'ємом оперативної пам'яті 4 Gb.

Специфікація USB дозволяє як «гаряче» підключення пристроїв до шини USB, з їх автоматичним розпізнанням, так і ввімкнення ПК з вже підключеним зовнішнім модулем. Для забезпечення роботоздатності модуля в операційній системі Windows необхідно встановити відповідний драйвер. Шина USB дозволяє користувачу працювати з периферійними пристроями в режимі Plug&Play. Ініціалізація програмних драйверів шини здійснюється операційною системою після розпізнання нового пристрою. При самому першому підключенні модуля до ПК операційна система дасть запит на файли драйвера для підключеного модуля. Користувачу потрібно вказати розміщення файла ldevusb.inf, що знаходиться на установочному диску. У випадку вдалої ініціалізації інформація про драйвер буде занесена в реєстр Windows, і при повторних сеансах роботи пристрій буде ініціюватися автоматично.

У випадку необхідності слід провести перезавантаження ПК. Також необхідною умовою роботи модуля є наявність файлу DLL бібліотеки `lusbapi.dll` в системній папці Windows. Для цього потрібно скопіювати даний файл з установочного диска в системну папку операційної системи.

Оскільки напруга вихідних сигналів датчиків та сигналу з комутатора СЗ лежать в межах допустимих робочих вхідних напруг, то підключення елементів СЗ здійснюється безпосередньо до АЦП. Датчики підключаємо за диференціальною схемою, оскільки при підключенні за однофазною схемою зі спільною землею AGND з'являється помітний взаємовплив сигналів з різних датчиків між собою, що створює перешкоди для отримання точного сигналу. Комутатор системи запалювання підключається до входів № 15, 33 роз'єму ANALOG I/O; котушка запалювання – до входів № 18, 36; датчик розподільник – до входів № 17, 35;

Для запису та обробки даних, отриманих з датчиків, використовується ПК. Для більшої зручності під час проведення експериментальних випробувань доцільніше використовувати ноутбук. АЦП/ЦАП підключається до ноутбука через інтерфейс USB.

3.2 Діагностичне обладнання

Для проведення досліджень по перевірці теоретичних передумов використовується установка яка моделює роботу СЗ стенд СПЗ-16МЕ.

Установка являє собою промисловий зразок стенду перевірки СЗ СПЗ-16МЕ з розширеними функціями. Зокрема видозмінений привід для установки переривників і розподільників з безконтактними датчиками, встановлений блок еталонних комутаторів і котушок запалювання досліджуваних систем. Установка дозволяє забезпечити роботу системи запалювання в режимі максимально наближеним до експлуатаційних.

Зібраний стенд за своєю схемою повторює безконтактну СЗ, в якій датчик Холла замінений генератором прямокутних імпульсів, який виробляє сигнал аналогічний датчику Холла. Розподільник запалювання і свічки замінені розрядником. Схема стенда наведена на рис. 3.3.

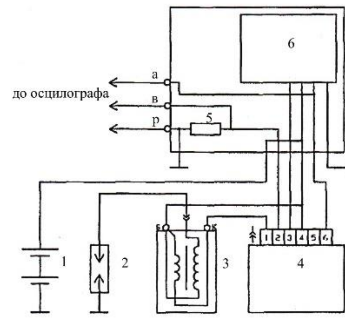


Рисунок 3.3 – Схема стенда для перевірки комутаторів: 1 – АКБ; 2 – розрядник; 3 – КЗ; 4 – комутатор; 5 – резистор 0,01 Ом; 6 – генератор прямокутних імпульсів; а – вихід для контролю роботи генератора; в – вихід для контролю роботи комутатора

Стенд складається з генератора прямокутних імпульсів 6 і резистора 5, розміщених в загальному корпусі, котушки запалювання 3, розрядника 2. Живлення стенду здійснюється від АКБ 1 або від джерела постійного струму з напругою 12 В. Для спостереження форми імпульсів вироблюваних комутатором використовується описаний вище комп'ютерний блок реєстрації.

3.3 Методика експериментальних досліджень зв'язків діагностичних ознак з параметрами технічного стану

Стенд СЗ СПЗ-16МЕ використовується в якості імітатора роботи СЗ, який дозволяє змінювати частоту обертання вала розподільника, вимірювати кути випередження запалювання за допомогою «обертового розрядника», кут замкнутого стану контактів та ін. Даний стенд дозволяє встановити на ньому елементи СЗ: КЗ, розподільник, високовольтні дроти з свічками запалювання.

Згідно зі схемою до досліджуваної СЗ під'єднують датчик високої напруги (ДВН) на центральний високовольтний дріт; до виходу «КЗ» котушки запалювання який йде до розподільника приєднують затискач; на високовольтний свічковий провід першого циліндра встановлюють імпульсний датчик (ІД). До датчика положення дросельної заслінки, також підключають затискач.

Випробування елементів СЗ проводиться при обертах електродвигуна (або ДВЗ) з частотою 1000 і 2000 об/хв, в два етапи. На першому етапі випробовуються працездатні елементи СЗ з параметрами технічного стану

рекомендованим заводом-виробником. На другому етапі проводять випробування зі зміненими параметрами технічного стану та непрацездатних елементів.

3.4 Визначення параметрів технічного стану системи запалювання

Для отримання системи параметрів технічного стану з відповідними діагностичними ознаками були отримані функціональні залежності СЗ, які наведено на рис. 3.3-3.5.

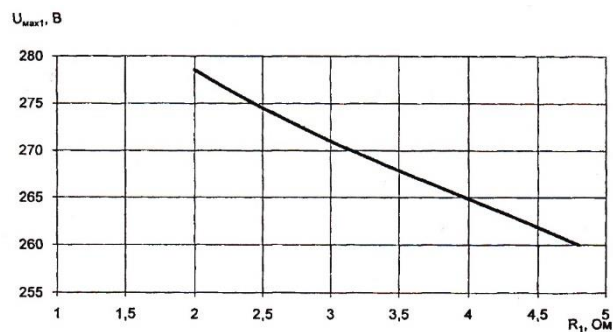


Рисунок 3.3 – Залежність максимальної напруги первинного кола від опору первинної обмотки КЗ

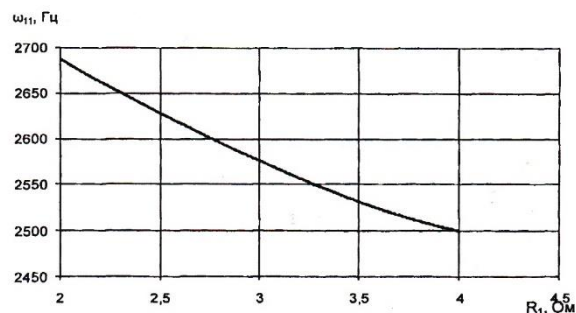


Рисунок 3.4 – Залежність частоти затухання першої гармоніки первинної напруги від опору первинної обмотки КЗ

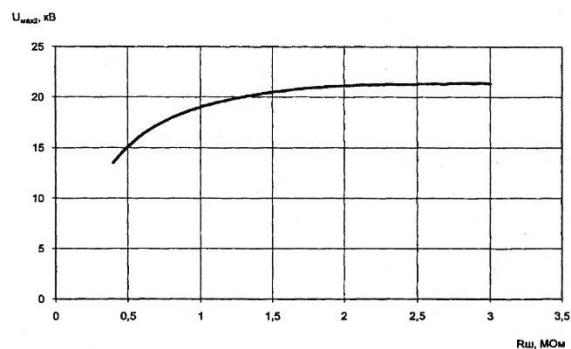


Рисунок 3.5 – Залежність максимальної вторинної напруги від шунтуючого опору свічки запалювання

В результаті проведеної апроксимації отриманих графічних залежностей, були отримані рівняння зв'язків діагностичних ознак з параметрами технічного стану СЗ.

- рівняння зв'язку між максимальною напругою первинного кола і опором первинної обмотки КЗ:

$$U_{\max 1} = -0,226 \cdot (R_1)^3 + 2,771 \cdot (R_1)^2 - 16,768 \cdot R_1 + 303,03.$$

Коефіцієнт достовірності апроксимації: $R^2=0,96$.

- рівняння зв'язку між частотою затухання першої гармоніки первинної напруги і опору первинного кола КЗ:

$$\omega_{11} = 2,667 \cdot (R_1)^4 - 29,333 \cdot (R_1)^3 + 135,33 \cdot (R_1)^2 - 404,67 \cdot R_1 + 3148.$$

Коефіцієнт достовірності апроксимації: $R^2=0,95$.

- рівняння зв'язку між максимальною вторинною напругою і шунтуючим опором свічки запалювання:

$$U_{\max 2} = 604,92 \cdot (R_{\text{ш}})^3 - 4903,2 \cdot (R_{\text{ш}})^2 - 13365 \cdot R_{\text{ш}} + 9591,5.$$

Коефіцієнт достовірності апроксимації: $R^2=0,98$.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз робіт в області теоретичних основ діагностування складних технічних систем показує, що в більшості випадків процес діагностування базується на зв'язку параметрів технічного стану і діагностичної ознаки при цьому їх зв'язок має виражену функціональність. Існуючі технології та засоби технічного діагностування СЗ як технічно складного об'єкта мають високу трудомісткість, надзвичайно високу залежність від людського чинника та високу вартість.

2. Теоретично обґрунтована можливість диференціального діагностування СЗ. Діагностування можна виконувати на основі аналізу ряду неявних діагностичних ознак на ділянках тимчасових характеристик СЗ з використанням сучасних комп'ютерних технологій. Розроблено математичну модель процесів функціонування СЗ. Запропонована математична модель дозволяє досліджувати процеси функціонування несправного, але працездатного стану системи, вивчати зв'язку параметрів технічного стану з діагностичними ознаками на областях локальних діагнозів.

3. Експериментальні дослідження процесу зміни і зв'язку діагностичних ознак з параметрами технічного стану СЗ і її елементів, базуються на використанні спеціально розробленого комп'ютерного діагностичного комплексу. Розроблено і виготовлено дослідницьке обладнання що дозволяє імітувати процеси функціонування елементів СЗ, а також спостерігати, обробляти і зберігати їх вихідні характеристики. Отримані за допомогою апроксимації графічних залежностей параметрів СЗ рівняння зв'язків діагностичних ознак з параметрами технічного стану СЗ.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Данов Б.А. Системы управления зажиганием автомобильных двигателей / Б.А. Данов. – М.: Горячая линия. Телеком, 2003. – 184 с.
2. Автомобильные двигатели. Системы управления и впрыск топлива: Пер. с англ. – СПб.: ЗАО "Альфамер Паблишинг", 1999. – 338 с.
3. Автомобильный справочник BOSCH: Пер. с англ. – М.: ЗАО КЖИ "За рулем", 2002. – 896 с.
4. Росс Т. Системы зажигания легковых автомобилей / Т.Росс. – М.: "За рулем", 1998. – 96 с.
5. Основы технической диагностики / Под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Машиностроение, 1976. – 462 с.
6. Акимов С.В. Справочник по электрооборудованию автомобилей / С.В. Акимов, А.М. Здановский. – М.: Машиностроение, 1994. – 541 с.
7. Бронштейн М.И. Электронное управление двигателем, трансмиссией и ходовой частью автомобиля: Учеб. пособие для студ. спец. "Электрические системы и комплексы автотранспортных средств" / М.И. Бронштейн. – Харьков: ХГАДТУ, 2001. – 150 с.
8. Воробьев В.А. Метрология и технические измерения в инженерной практике / В.А. Воробьев, В.П. Попов. – М.: МАДИ ГТУ, 2001. – 174 с.
9. Говорущенко Н.Я. Техническая кибернетика транспорта / Учебное пособие / Н.Я. Говорущенко, В.Н. Варфоломеев. – Харьков: ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
10. Грень Я.В. Вимірювання та аналіз нестаціонарних вібрацій методами цифрової обробки сигналів: Дис. ... канд. техн. наук: 05.11.01. – Львів, 1999. – 206 с.
11. Диагностический комплекс "Автосканер". Техническое описание. Руководство по эксплуатации. – Хмельницкий: ЧМП "Оупен Систем", 2001. – 28 с.
12. Диагностический мотор-тестер «Navigator». – Информационный лист фирмы «AFN» S. R. L., Кишинев, 2000.

13. Диагностический стенд "Спрут-Тестер". Техническое описание. Руководство по эксплуатации. – Луганск: НПО "Энергия", 2002. – 35 с.
14. Диагностическое и гаражное оборудование для станций технического обслуживания автомобилей. – Информационные листы и каталоги представительства концерна Роберт Бош Лтд в Украине. К., 2000.
15. Дмитренко А.В. Диагностика и ремонт электрооборудования, иностранных и отечественных автомобилей / А.В. Дмитренко. – Николаев: ЭТОН, 1999. – 80 с.
16. ДСТУ 3649 - 97. Средства транспортные дорожные. Эксплуатационные требования безопасности к техническому состоянию и методы контроля. – К.: Госстандарт Украины, 1998. – 17 с.
17. Кривошапов С.И. Разработка методики и алгоритма общего диагностирования автомобилей по изменению коэффициента полезного действия: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Харьков, 1999. – 168 с.
18. Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ / С.Л. Марпл. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
19. Опарин И.М. Теоретические основы разработки автомобильных бесконтактных и микропроцессорных систем зажигания: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Моск. гос. автомоб.-дор. ин-т. – М., 1995. – 41 с.
20. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранспорт України, 1998.
21. Попов О.Ю. Определение диагностических параметров электронной системы зажигания с низковольтным распределением энергии: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Моск. гос. автомоб.-дор. ин-т. – М., 1997. – 19 с.
22. Ребедайло В.М., Кукурудзяк Ю.Ю. Діагностування автомобілів цифровим аналізатором систем автомобіля "Автотест" // Автошляховик України / Науково-виробничий журнал / В.М. Ребедайло, Ю.Ю. Кукурудзяк. – К.: ДержавтотрансНДІпроект. – 2003. – №3 (173). – С. 22–23.
23. Руководство по электрическому оборудованию автомобилей: Пер. с англ. – СПб.: ЗАО "Альфамер Паблишинг", 2000. – 288 с.